Р.Я. Миньковская



Океанография морского устья рек Днепр и Южный Буг

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Р.Я. Миньковская

ОКЕАНОГРАФИЯ МОРСКОГО УСТЬЯ РЕК ДНЕПР И ЮЖНЫЙ БУГ

СЕВАСТОПОЛЬ
НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика"
2011

УДК 556.54
Океанография морского устья рек Днепр и Южный Буг. / Миньковская Р.Я.; НАН Украины, Морской гидрофизический институт. – Севастополь, 2011. – С. 515, библ. 153, ил. 167, табл. 75.

Морское устье рек Днепр и Южный Буг имеет большое хозяйственно-экономическое и экологическое значение. Последнее издание, посвящённое отдельным аспектам устьевой гидрологии этого крупного морского устья, вышло в 1964 г., когда климат, гидрометеорологический режим, качество воды и уровень хозяйственного освоения значительно отличались от современных. В последние 47 лет получены новые знания о структуре данного морского устья, особенностях гидрометеорологического и гидрохимического режимов, процессов, формирующих его режим. Поэтому возникла необходимость в комплексном изучении и описании современного состояния и качества воды, что может быть полезным для разработки мероприятий по перспективному использованию водных ресурсов, восстановлению и сохранению окружающей природной среды устья рек Днепр и Южный Буг.

Oceanography of the marine estuary of the Dnieper and Southern Bug rivers. / Minkovskaya R.Ya.; NAS of Ukraine, Marine Hydrophysical Institute. Sevastopol, 2011. pp. 515, Bibl. 153, ill. 167, Table 75.

The marine estuary of the Dnieper and Southern Bug rivers is of great economic and ecological importance. The last edition devoted to certain aspects of estuarine hydrology of this large marine estuary was published in 1964, when the climate, hydrometeorological regime, water quality and the level of economic development differed significantly from modern ones. In the last 47 years, new knowledge has been gained about the structure of this marine estuary, the features of hydrometeorological and hydrochemical regimes, and the processes that form its regime. Therefore, there is a need for a comprehensive study and description of the current state and quality of water, which can be useful for developing measures for the long-term use of water resources, restoration and conservation of the natural environment of the mouth of the Dnieper and Southern Bug rivers.

Рецензенты: Е.Е. Совга, Учёный секретарь МГИ НАНУ, доктор географ. наук;
А.В. Прусов, ведущий научный сотрудник МГИ НАНУ, кандидат физ.-мат. наук.

Утверждено к печати Учёным советом МГИ НАН Украины

© Морской гидрофизический институт НАН Украины, 2011
© Р.Я. Миньковская, 2011

ISBN 978-966-02-5956-0

СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения и условные обозначения.....5
Введение.....7
Глава 1. **Физико-географическая характеристика** 10
1.1. Общие сведения и районирование.....10
1.2. Геологические, геоморфологические и гидрогеологические условия.....17
1.3. Почвы и растительность.....41
1.4. Гидрографическая сеть.....48
1.5. Хозяйственное освоение.....58
1.6. Гидрометеорологическая изученность.....70
1.7. Климат.....82
Глава 2. **Водный режим**.....104
2.1. Сток воды.....105
2.1.1. Распределение стока воды р.Днепр по устьевым рукавам.....118
2.1.2. Экстремальный сток воды.....121
2.2. Уровень воды.....126
2.3. Режим течений.....146
2.4. Водный баланс.....162
Глава 3. **Наносы и донные отложения** 168
3.1. Мутность воды.....168
3.2. Прозрачность воды.....175
3.3. Гранулометрический состав наносов.....178
3.4. Распределение донных отложений.....183
3.5. Сток взвешенных наносов.....185
3.6. Баланс наносов.....188
Глава 4. **Температура воды и сток тепла** 190
4.1. Временная изменчивость температуры воды 193
4.2. Пространственная изменчивость температуры воды.....208
4.3. Сток тепла.....217
4.4. Баланс тепла.....226

Глава 5. **Минерализация и солёность воды** 232
5.1. Концентрация главных ионов 236
5.2. Сток минеральных веществ.....246
5.3. Солёность воды.....251
5.3.1. Временная изменчивость солёности воды.....253
5.3.2. Пространственная изменчивость солёности воды.....265
5.4. Зона распреснения 273
5.5. Баланс солей.....293
Глава 6. **Ледовый режим** 296
6.1. Фазы ледового режима 304
6.2. Ледовитость и толщина льда.....318
Глава 7. **Волнение** 337
Глава 8. **Гидрохимический режим и сток растворённых веществ**..351
8.1. Газовый состав и pH.....355
8.2. Главные элементы биогенного цикла.....363
8.3. Основные загрязняющие вещества 389
8.4. Сток биогенных и загрязняющих веществ.....415
8.4.1. Сток биогенных веществ.....418
8.4.2. Сток загрязняющих веществ.....427
Глава 9. **Устьевые процессы** 437
9.1. Взаимодействие и смешение вод.....438
9.2. Проникновение солёной воды 442
9.3. Перераспределение стока р.Днепр между рукавами.....453
9.4. Морфологические процессы.....456
9.5. Обменные процессы.....464
9.6. Тепловые и ледовые процессы.....474
Глава 10. **Опасные явления**.....479
10.1. Опасные гидрологические явления.....479
10.2. Экстремальное ухудшение качества воды.....490
Заключение……...503
Литература.....505

СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АБС	автономная буйковая станция
АП	аграрное предприятие
АЭС	атомная электростанция
БВ	биогенные вещества
БС	Балтийская система высот
В	восточный
вдхр.	водохранилище
в/п	водомерный пост
ГВК	Государственный водный кадастр
ГВО СССР	Главная высотная основа СССР
г/с	гидрометрический створ
ГКП	городское коммунальное предприятие
ГОИН	Государственный океанографический институт (г. Москва)
ГОСТ	Государственный стандарт
ГУГК	Главное управление геодезии и картографии
ГХЦГ	гексахлорциклогексан
ГЭБЦ	главные элементы биогенного цикла
ГЭС	гидроэлектростанция
ДДТ	дихлордифенилтрихлорметилметан
ДДД, ДДЭ	метаболиты ДДТ
З	западный
завод ЖБИ	завод железобетонных изделий
ЗВ	загрязняющие вещества
ЗСМ	завод смазочных материалов
ИРВ	измеренные расходы воды
кан.	канал
Ках. ГМО	Каховская гидрометеорологическая обсерватория
КП	коммунальное предприятие
УкрНИГМИ	Морское отделение украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института
МСВ	международное скоординированное время
нб	не было (не наблюдалось)
НГД	нижняя граница дельты

НГУУР	нижняя граница устьевого участка реки
не измер.	не измерялось
НПЗ	нефтеперерабатывающий завод
НУ	нефтяные углеводороды
НЦГМ	Николаевский центр по гидрометеорологии
ОВОС	оценка воздействия на окружающую среду
ОГХЯ	опасные гидрохимические явления
ОГЯ	опасные гидрологические явления
ООГЯ	особо опасные гидрологические явления
ОЭЯ	опасные экологические явления
пгт	посёлок городского типа
ПДК	предельно-допустимая концентрация
С	северный
СВ	северо-восточный
СЗ	северо-западный
СЗЧМ	северо-западная часть Чёрного оря
СКО	среднее квадратическое отклонение
СНГ	содружество независимых государств
СНиП	строительные нормы и правила
СО ГОИН	Севастопольское отделение государственного океанографического института (г. Севастополь)
СПАВ	синтетические поверхностно-активные вещества
СССР	Союз советских социалистических республик
ст.	станция
СЭС	санитарно-эпидемиологическая станция
ТЭЦ	теплоэлектроцентраль
ХОП	хлорорганические пестициды
ЦНИИС	Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства
ЧАЭС	Чернобыльская атомная станция
ЭЗВ	экстремальная загрязнённость воды
ЭУКВ	экстремальное ухудшение качества воды
Ю	южный
ЮВ	юго-восточный
ЮЗ	юго-западный

ВВЕДЕНИЕ

Река Днепр, с правым притоком Ингулец, и река Южный Буг, с левым притоком Ингул, впадающие в Днепровско-Бугский лиман, образуют единую для этих рек устьевую область. Кроме того, устьевая область рек Березань и Сосик, включающая Березанский лиман, также относится к рассматриваемому устью. Таким образом, устье образовано совместным влиянием шести рек на Днепровско-Бугско-Березанский лиманный комплекс, представляющий собой закрытые части устьевого взморья, которые связаны проливами с общей открытой частью устьевого взморья. В соответствии с названием основных устьеобразующих рек эта сложная взаимосвязанная система водотоков и водоёмов названа морским устьем рек Днепр и Южный Буг (Юж. Буг). Неоднородность рельефа, климата, водоносности рек обусловливают многокомпонентность состава этого крупного морского устья, ландшафтное разнообразие, отличия основных характеристик гидрометеорологического и гидрохимического режимов его взаимосвязанных частей. Устьевые процессы в различных структурных компонентах морского устья рек специфичны и сложны для изучения.

Регион морского устья рек Днепр и Юж. Буг имеет существенное хозяйственно-экономическое и экологическое значение. На территории бассейнов рассматриваемых рек проживает около половины населения Украины, в основном (около 70 %) в городах. Здесь, в морском устье рек, расположены места нереста, откорма и нагула рыб, отдыха и откорма птиц на пути их миграции, водно-болотные угодья, природные ландшафты, пляжи, охраняемые территории. Уникальная экосистема морского устья, существующая в условиях повышенных градиентов абиотических характеристик среды, богата фауной и флорой, приспособленной к жизни в воде разной солёности и представленной не только обычными, но и древними, редкими, эндемичными и исчезающими видами.

Природные ресурсы морского устья используются в рыбном и сельском хозяйстве, здесь проходят транспортные пути между морем и рекой. Рекреационный потенциал высок: развит водный и сухопутный туризм, яхтинг, имеются пляжи, объекты санаторно-курортного назначения, исторические места, памятники и пр. В то

же время осуществляется сброс сточных вод, дноуглубительные работы и дампинг. Крупнейшие порты городов Николаева и Херсона имеют международное значение, а такие порты как Очаков, Станислав, Голая Пристань, Каховка, Парутино, Цюрупинск и др. – местное значение.

Хозяйственное освоение бассейна, реки и устья в отдельные периоды было различным. Строительство водохранилищ и прудов на реках, переброска воды, крупномасштабное промышленное и сельскохозяйственное производство, авария на ЧАЭС и др. значительно ухудшили качество водной среды к 90-м годам прошлого века и привели к ухудшению состояния устьевой экосистемы. После 1991 г. изменение структуры хозяйствования, миграция и сокращение населения, экономический спад, введение платы за водопользование и штрафных санкций способствовали некоторому очищению акваторий. В то же время из-за изнашивания и отсутствия реконструкции систем канализования и очистки, вырубки зелёных насаждений, замусоривания и складирования твёрдых бытовых отходов, а также нерационального и несанкционированного использования природных ресурсов – на отдельных участках морского устья рек (и в их бассейнах) состояние экосистемы остаётся неудовлетворительным и даже ухудшается. Возрастает рекреационная привлекательность и хозяйственная значимость устьевой акватории и побережья, а их освоение приводит к повышенной антропогенной нагрузке и загрязнению природной среды. Поэтому использование ресурсов морского устья рек связано с проблемами качества природной среды, её охраны, сохранения и восстановления.

Последнее издание, посвящённое этому морскому устью (М.Н. Костяницын «Гидрология устьевой области Днепра и Ю.Буга» [1]), вышло в 1964 г., когда климат, гидрометеорологический режим, качество воды и уровень хозяйственного освоения значительно отличались от современных. В указанной монографии рассмотрены только отдельные аспекты устьевой гидрологии. Поэтому возникла необходимость в комплексном изучении и описании современного состояния и качества воды морского устья рек Днепр и Юж. Буг для разработки мероприятий по перспективному использованию водных ресурсов, восстановлению и сохранению окружающей природной среды.

Океанографическая характеристика морского устья рек Днепр и Юж. Буг в настоящей работе выполнена на основе исследования режима и качества воды, анализа устьевых процессов и явлений. Для этого использовались данные Государственного водного кадастра, серии «Ежегодные данные», ч.2. «Морские устья рек», подготавливаемого Морским отделением Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института (МО УкрНИГМИ, г.Севастополь) по материалам наблюдений сетевых подразделений Гидрометеослужбы Украины, курируемых Николаевским центром по гидрометеорологии (НЦГМ, г. Николаев). Автор данной работы выражает особую благодарность сотрудникам НЦГМ и МО УкрНИГМИ, многолетний труд которых лежит в основе режимных обобщений, приводимых в данной работе.

Основное внимание в книге уделено современному состоянию и качеству воды и тем тенденциям, которые характерны для периода с 1961 по 2009 г., включая последний двадцатилетний период, когда крупные водохозяйственные комплексы и объекты уже вступили в эксплуатацию и их работа стабилизировалась, а также произошли значительные структурные изменения в экономике региона.

Устьевые процессы и явления проанализированы в совокупности с обусловливающими их природными и антропогенными факторами. Комплексный подход к исследованию морского устья рек Днепр и Юж. Буг позволил не только детализировать отдельные элементы режима, но и получить новые знания об его особенностях, выяснить причинно-следственные связи и закономерности пространственной и временной изменчивости основных режимных элементов.

В настоящее время в странах СНГ отсутствуют нормативные документы, регламентирующие использование специальных терминов и определений в области устьевой океанографии, что затрудняет развитие этой отрасли знаний. Поэтому в данной работе применяются термины и определения в редакции автора [2].

Книга может быть полезна для гидрометеорологов, географов, проектировщиков, экспертов, экологов и др. специалистов и хозяйственников. Использование книги в качестве учебного пособия могло бы способствовать подготовке специалистов в области устьевой океанографии.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

1.1. Общие сведения и районирование

Устьевая область р. Днепр и р. Юж. Буг расположена на Причерноморской низменности (юго-запад Восточноевропейской равнины) и в северо-западной акватории Чёрного моря в пределах 46˚30′ – 47˚30′ с.ш. и 30˚50′ – 33˚20′ в.д. (рис. 1.1).

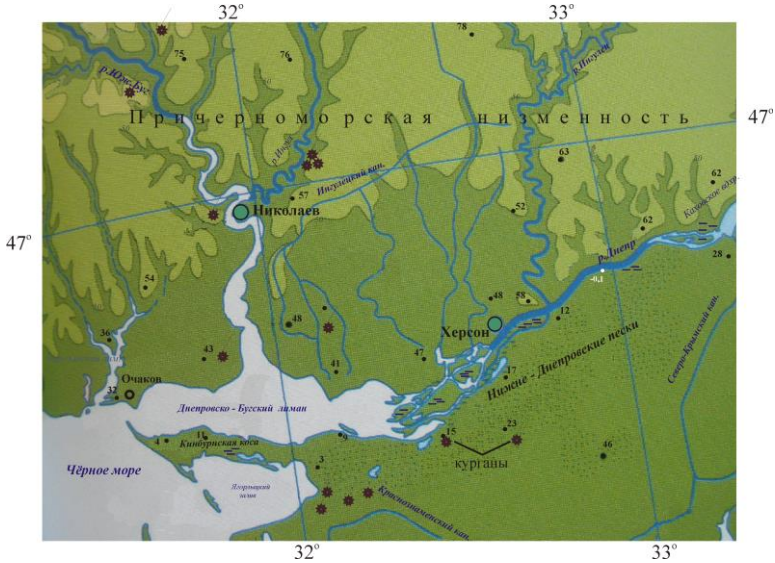


Рис. 1.1. Географическое положение морского устья рек Днепр и Юж. Буг

Она образована р.Днепр, текущей в нижнем течении в широтном направлении с востоко-северо-востока на запад-юго-запад, впадающей в неё с севера (в районе вершины дельты) р. Ингулец; и р. Юж. Буг, с левобережным притоком, текущими вдоль меридиана в Бугский лиман. В результате затопления низовьев соединяющихся почти перпендикулярно речных долин рек Днепр и Юж. Буг сформировался лиманный комплекс, который называется Днепровско-Бугским лиманом (это крупнейший из всех причерноморских лиманов). В устьях рек Ингул и Ингулец, а также некоторых водотоков в дельте р.Днепр, тоже образо-

вались небольшие лиманы. Морское устье этих рек представляет собой взаимосвязанный комплекс водотоков, водоёмов, плавней и прилегающей части Чёрного моря, на которую распространяется влияние смешивающихся вод. Так как р. Днепр и р. Юж. Буг имеют общее устьевое взморье, включающее Днепровско-Бугский лиман, устьевые области этих рек объединены под общим названием – морское устье рек Днепр и Юж. Буг. В его состав входят также устьевые области рек Ингул и Ингулец, примыкающие к нижней границе устьевого участка р. Юж. Буг (р. Ингул) и к устьевому участку р. Днепр (р. Ингулец), а также р. Березань и р. Сосик, образующие Березанский лиман. Однако, роль этих рек в устьевых процессах менее значительна, т.к. их суммарный сток составляет около 1 % суммарного стока рек Днепр и Юж. Буг.

Согласно гипотезы Макова К.И. [3] – после регрессии моря пра-Днепр и пра-Юж. Буг выработали более глубокие русла. Эту стадию устьеформирования можно назвать речной, так как реки оказывали основное влияние на развитие морского устья (рис. 1.2, а). Вероятно, долины рек Чичиклея, Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Висунь и др. первоначально были ориентированы параллельно, а в дальнейшем, в результате тектонических движений земной коры, перехвата, изменения стока, меандрирования и др. процессов, приобрели современный вид. Реки, текущие с севера на юг, были полноводными, несущими большое количество наносов, и в результате их совместного выноса образовалась Кинбурнская коса и Одесская банка, расположенные в зоне гашения скоростей течения рек, параллельно северо-западной береговой черте Чёрного моря. Вследствие потепления климата, опускания суши, трансгрессии моря, устьевые части долин рек были затоплены морем, наступила морская стадия развития устья, с преобладающим влиянием морских факторов. Одна из фаз такой стадии показана на (рис. 1.2, б), где р. Днепр имела две крупных системы рукавов, а на месте Днепровско-Бугского лимана располагался залив Чёрного моря. Пра-дельта р. Днепр могла занимать значительную площадь, река впадала в заливы системами рукавов (рис. 1.2, в). Согласно современной теории цикличности процесса дельтообразования Байдина С.С. [4], многорукавность дельты естественно сменилась малорукавностью. Поэтому, в результате перераспределения стока и др. причин, левобережная группа рукавов отмерла, а правобережная – заняла современное положение.

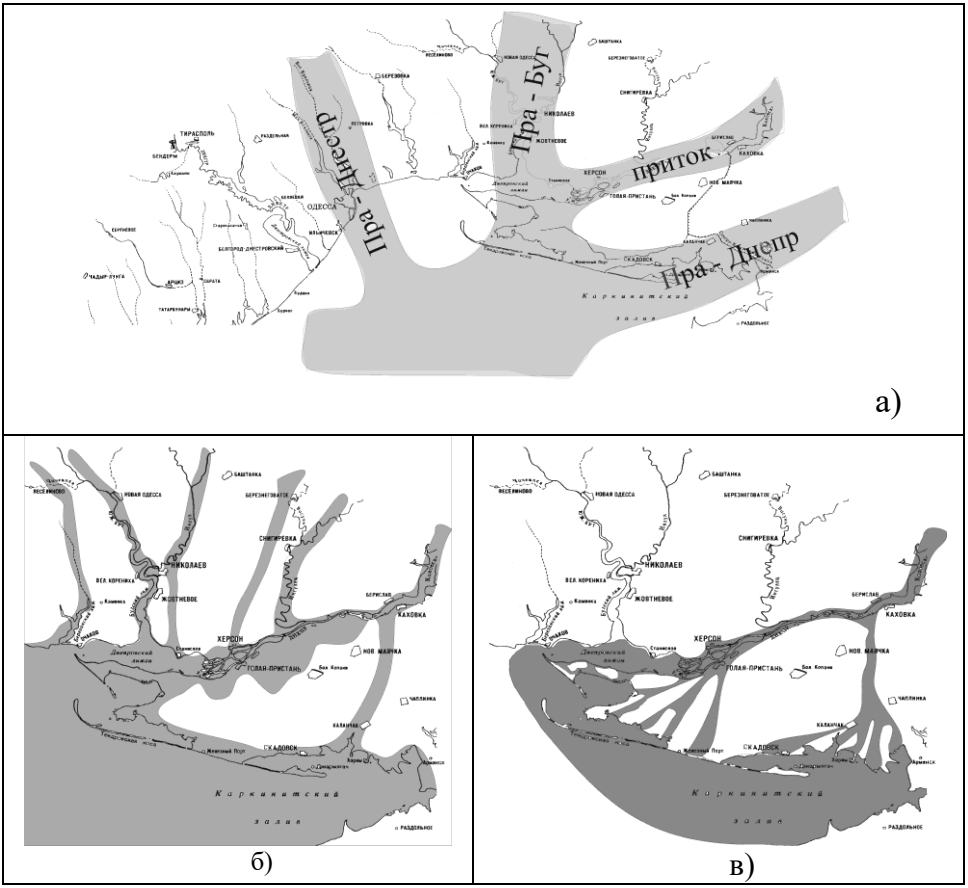


Рис. 1.2. Палеоморфология рек Днепр и Южный Буг (а) [3], лимана (б) и дельты (в)

Не исключено, что раньше р.Днепр (или её рукав) могла впадать в Азовское море или р. Юж. Буг. Но, в данной работе указанные гипотезы не рассматриваются.

Повышения и понижения уровня моря и отметок суши чередовались неоднократно, изменялся сток впадающих в лиман рек, пока морское устье не приобрело современные очертания и режим, лиман обмелел, заилился, т.е. морская фаза устьеформирования сменилась лиманно-дельтовой (рис. 1.3).

Рассматриваемое морское устье является трёхкомпонентным, так как включает: устьевые участки рек (I), дельту р. Днепр с водотоками и водоёмами (II) и сложное [2] устьевое взморье (III).

За речные границы морского устья приняты: плотина Каховской ГЭС на р. Днепр, створ в г. Новая Одесса на р. Юж. Буг и створы в 20 км (р. Ингул) и 80 км (р. Ингулец) от места впадения соответствующих рек. Речные границы определялись по дальности распространения устьевых процессов, исключая Березанский лиман, где они не изучались, поэтому вершины устьев рек Березань и Сосик не установлены. Морская граница проходит по прилегающей к Днепровско-Бугскому лиману Северо-западной части Чёрного моря, на которую преимущественно распространяется влияние лиманных вод (приблизительно – на 50 км от Кинбурнского пролива). Дальность влияния лиманных вод на СЗЧМ определялась по солёности воды (гл. 5).

Районы и участки морского устья выделялись по геоморфологическим и гидрологическим признакам. Сложная конфигурация устьевого комплекса, различная степень влияния стока рек и поступающих в устье морских вод на его отдельные районы, проявляются не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальном разрезе. Это связано с наличием глубоководного судоходного канала вдоль продольных осей лиманов и в водотоках. Поэтому акваторию морского устья по глубине можно разделить на два разнородных района: глубоководная часть судоходного канала и основная акватория, глубиною 2 – 6 м.

На устьевых участках рек (1а – 1г) преобладает речной режим, в дельте (2а – 2в) происходит распределение стока и водообмен между водотоками, водоёмами, плавнями и поймой, на устьевом взморье (3а – 3в) – смешение и преобразование распреснённых вод в морские.

К устьевому участку р.Днепр (1а) примыкает устьевой участок р. Ингулец (1б), включающий Ингулецкий (Никольский) лиман (1д), иногда называемый озером. Устьевые участки рек Юж. Буг и Ингул соединяются воедино при впадении в Бугский и Ингульский лиманы (1в – 1е).

Дельта р.Днепр разделена на 3 характерных участка: участок 2а расположен от вершины дельты до района разветвления русла р.Днепр на рукава Кошевая, Старый и Ольховый Днепр; нижняя граница участка 2б проходит по узлу соединения этих рукавов; далее, до нижней границы дельты расположен участок 2в.

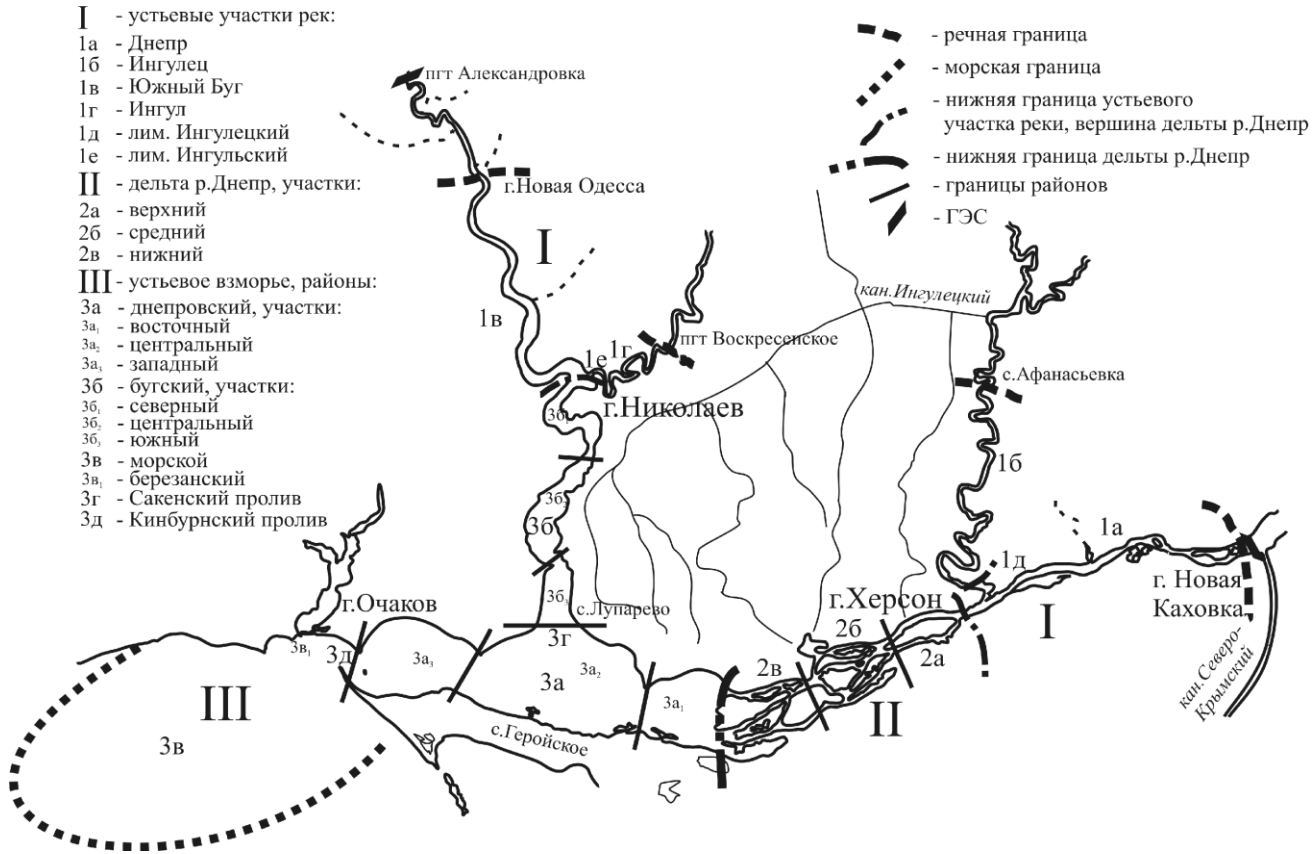


Рис. 1.3. Гидролого-геоморфологическое районирование морского устья рек Днепр и Юж. Буг

Устьевое взморье рассматриваемых рек – сложное, закрыто-открытое, состоящее из Днепровско-Бугско-Березанского лиманного комплекса и прилегающей северо-западной части Чёрного моря, на которую оказывают влияние воды, поступающие из Днепровско-Бугского и Березанского лиманов (рис.1.3). Закрытую часть взморья представляют лиманы, а открытую – часть моря, имеющая с ними водообмен через проливы (3в). Взморье Березанского лимана ($3в_1$) включено в морской район (3в). Лиманы также неоднородны по морфологии и гидрологическим условиям, поэтому каждый из них разделён на части, границы между которыми проходят по мысам и косам.

В то время как морское устье является конечным звеном интегрального влияния бассейновых факторов устьеобразующих рек, влияние рассматриваемого устьевого комплекса распространяется в основном на прилегающую часть моря и суши.

В соответствии с физико-географическим районированием, выполненным в работе [5], морское устье рек Днепр и Юж. Буг расположено в степной зоне умеренного пояса, в южной степной подзоне, в 3-х её областях, а именно: Днепровской террасово-дельтовой равнине, Бугско-Днепровской и Днестровско-Бугской степных областях Причерноморской низменности.

Более современные представления о физико-географическом районировании рассматриваемого региона (рис. 1.4) дают исследования, представленные в [6]. Согласно [6] морское устье расположено в степной зоне Восточноевропейской равнины, в средне- и южностепной подзонах, в двух краях, четырёх областях и девяти районах.

Бассейны устьеобразующих рек в основном ориентированы меридианально, с севера на юг, поэтому все геофизические характеристики имеют широтную зональность.

В указанных на рис. 1.3 границах площадь морского устья рек Днепр и Юж.Буг составляет около 5000 км^2. По классификации [7] она относится к лиманно-дельтовому типу (3), причём, устьевая область р. Днепр соответствует типу 3, а рек Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Березань и Сосик – лиманному типу (2).

Административно устьевая область рек Днепр и Юж. Буг разделена между двумя областями Украины: Николаевской и Херсонской. К Николаевской области относятся территории и акватории устьевых участков рек Юж. Буг и Ингул, Бугский и Березанский лиманы, Кин-

бурнская коса западнее с.Геройское (рис. 1.3). Граница раздела акватории устьевого взморья проходит по центру Днепровского лимана (по линии с. Лупарево – с. Геройское). Центрально-восточная часть Днепровского лимана с его побережьем от этой границы, дельта р. Днепр и устьевые участки рек Днепр и Ингулец территориально относятся к Херсонской области.



Среднестепная подзона, Причерноморский среднестепной край
- XXXVII – Днестровско-Бугская низменная область
- 188 – Березанско-Крыничанский район
- XXXVIII – Бугско-Днепровская низменная область
- 189 – Новоодесско-Воронцовский район
- 193 – Левобережно-Ингульский район
- 194 – Нижнеингулецко-Днепровский район

Южностепная (сухостепная) подзона, Причерноморско-Приазовский край
- XLI – Нижнебугско-Днепровская низинная область
- 204 – Очаковско-Тарутинский район
- 205 – Посад-Покровско-Белозёрский район
- XLII – Нижнеднепровская террасово-дельтовая низменная область
- 206 – Голопристаньско-Днепрянский район
- 207 – Рыбальченско-Раденский район
- 208 – Скадовско-Новокаховский

Рис. 1.4. Физико-географическое районирование территории морского устья рек Днепр и Южный Буг по [6]

1.2. Геологические, геоморфологические и гидрогеологические условия

Природная среда морского устья рек Днепр и Юж. Буг, его геолого-геоморфологическое строение и структура слагающих пород, рельеф, гидрогеологические особенности, ландшафт – неоднородны, что оказывает влияние на развитие гидрографической сети, условия протекания водного потока, обусловливает процессы взаимодействия потока и русла, дельтообразования, а также стадию развития морского устья реки.

Рельеф. Отметки поверхности морского устья рек Днепр и Юж. Буг, расположенного на Причерноморской низменности (рис.1.1), постепенно понижаются с севера (40 – 60 м) на юг (2 – 10 м). Уклон земной поверхности преимущественно направлен в сторону моря. Поэтому северная часть побережья (устье р. Юж. Буг, Бугский лиман, правобережье устья р. Днепр) выше южной (левого берега р.Днепр и южной части Днепровского лимана). Левый берег является дельтовой равниной (в среднем 2 м высотой) и представляет собой ровную долину, сложенную аллювием и песками на понтических известняках (Нижне-Днепровские пески). Правый берег р.Днепр, сложенный сарматскими глинами, понтическими известняками-ракушечниками, плотными глинами, покрытыми лёссами и суглинками, крутой и обрывистый, высотою до 15 м. Это равнина, слабо расчленённая оврагами и балками, в устьях которых образованы конусы выноса. Густота овражно-балочной сети около 0,25 км/км^2, на устьевых участках рек до 0,5 км/км^2. Овраги сосредоточены в основном на устьевых участках рек Юж. Буг и Ингул, правых берегах Бугского и Днепровского лиманов.

На берегах р. Днепр и р. Ингулец хорошо выражены денудационные формы рельефа – образовавшиеся в результате выветривания структурные террасы, в отдельных местах имеются оползни. Они характерны для правобережий устьевых участков р. Днепр, р. Ингул, Бугского и Днепровского лиманов. Встречается множество курганов, ям, подов. На примыкающем к устьевому участку р. Днепр левом берегу хорошо видна на космических снимках песчано-холмистая Казачьелагерная арена, радиусом около 5 км. Это так называемые «кучугуры» – песчаные дюны и холмы до 10–20 м высоты. Понижения рельефа заняты озёрами (сагами) различной минерализации. Значительная

озёрность характерна не только для дельты р. Днепр, но и для Кинбурнской косы, а также Нижне-Днепровских (Алёшковских) песков.

В поймах и дельте р. Днепр распространены плавни, болотистые земли. Они занимают 2/3 дельты р. Днепр.

В Днепровском лимане образовались крупные аккумулятивные острова дельты, а также острова Янушев, Вербки и Тендра. В открытой части устьевого взморья возвышается скалистый о. Березань (10 га), ранее бывший полуостровом.

Характерной особенностью рельефа закрытой части устьевого взморья является наличие встречных мысов, заканчивающихся косами, разделяющих лиман на отдельные районы (рис. 1.3). Крупнейшие косы: Кинбурнская, Очаковская, Русская, Волошская, Ожарская и др. Продолжением подводной части Кинбурнской косы является Одесская банка.

Северный берег взморья Днепровского лимана расчленён Березанским лиманом, акватория которого отделена от открытой части устьевого взморья рассматриваемых рек Лагерной косой.

Естественный рельеф местности местами изменён в результате хозяйственной деятельности: это обводнительно-оросительные системы, пруды, копани, карьеры, отвалы, дамбы, молы, различные портовые сооружения, переформированные и насыпные участки побережья, поймы и др.

В устьевой области встречаются и другие искусственные формы рельефа – места погребений, сторожевые посты, искусственные валы, курганы. По историческим сведениям искусственным является и о.Первомайский (рис. 1.5), созданный в XIX в. и расположенный в западной части Днепровского лимана. Остров имеет площадь 6 га.

Рельеф местности повсеместно изменён в городах – Николаеве, Очакове и Херсоне, особенно в районах портов. Естественные участки сохранились в Нижне-Днепровских песках, плавнях дельты и на Кинбурнской косе.

Для рельефа дна лиманов, составляющих устьевое взморье, характерно увеличение глубины по направлению к их устью, наличие двух порогов – повышений: в вершинах лиманов, в местах впадения водотоков, и в устьях, в районах Кинбурнского и Сакенского проливов. Вдоль осей Днепровского и Бугского лиманов имеется глубоководный

судоходный канал, параллельно которому осуществляется дампинг грунта при его углублении.



Рис.1.5 . Искусственный остров Первомайский

Геологические условия. Морское устье рек Днепр и Юж. Буг расположено на Восточноевропейской платформе, в пределах Южноукраинской моноклинальной структуры (Причерноморской впадины). Каховская деформация на устьевом участке р.Днепр приурочена к магнитной аномалии. Регион морского устья сложен отложениями многих геологических систем [5, 6, 8] – с докембрийской до четвертичной. Из современных отложений преобладают речные и лиманно-морские.

Долины устьевых участков рек приурочены к областям знакопеременных вертикальных движений суши [6]; устьевое взморье и дельта относятся к зоне опускания суши [9]. В современный период, по данным разных авторов [1, 6, 8, 9], суша в районе г. Николаева повышается (со скоростью 0,5 – 4 мм/год), а в районе с. Геройское и устья Березанского лимана опускается (со скоростью 0,9 – 3 мм/год). При этом,

уровень моря повышается в среднем на 0,2 – 1 мм/год. По данным [9] северная часть Бугского лимана и устьевые участки рек Юж. Буг, Ингул и Днепр поднимаются со скоростью 0,5 – 1,5 мм/год, правый берег Днепровского лимана от с.Станислав до г.Очакова понижается на 0,8 – 0,9 мм в год, в районе с. Касперовка и у с. Рыбальче скорость опускания суши максимальная и достигает в среднем 2,1 мм/год. Участки аномально повышенных скоростей движения земной коры приурочены к району г. Херсона и г. Николаева. Недоучёт разнонаправленных вертикальных движений берегов морского устья (при отсутствии качественных нивелировок и поправок) привёл к тому, что уровень воды у Кинбурнской косы в среднем на 7 см выше, чем в г. Николаеве [7].

Разломы, сбросы и надвиги, ориентированные по широте вдоль побережья, пересекаются субмеридиональными зонами разломов, направленными вдоль Бугского (Николаевская зона) и Березанского (Очаковская зона) лиманов [9]. В сейсмическом отношении зона слабоактивна, по данным [6, 9] сейсмичность 5 – 7 баллов. Современные тектонические движения активно проявляются на устьевых участках рек Юж. Буг и Ингулец, а также в дельте р. Днепр и устье Березанского лимана [6].

По исследованиям Гожика П.Ф. и Новосельского Ф.А. [6, 9] море ингрессировало в западную часть Днепровско-Бугского лимана и в заключительной стадии трансгрессии речные отложения антского горизонта были перекрыты лиманными осадками. Дальнейшее повышение уровня моря привело к образованию крупных долинных лиманов Причерноморья, включая Днепровско-Бугский. Северо-восточная граница лимана предположительно располагалась в районе г. Никополя, а северная граница Бугского – у г. Вознесенска. В это время лиманы существенно заилялись. В период фанагорийской регрессии моря произошло обмеление лиманов, заболачивание верховьев и их средней части, выход на поверхность баров. Современные очертания устьевого взморья р. Днепр и р. Юж. Буг сформировались в последующую нимфейскую трансгрессию моря.

Долины устьеобразующих рек сложены в миоцене, левобережье р. Днепр, южный берег Днепровского лимана и междуречье рек Днепр и Ингул – в плиоцене. Низовья р. Юж. Буг и северную часть Бугского лимана, устьевой участок и дельту р. Днепр слагают породы сарматского и меотического ярусов [1, 3, 5, 6, 8, 9].

Четвертичные отложения [1, 5, 6] речных долин рек Юж. Буга, Ингула и Ингульца террасированы и представлены аллювием, лёссом и лёссовидными суглинками древнего и среднего отдела. На устьевом участке р. Днепр и в дельте превалируют современные отложения речных пойм, на левом берегу – пески. Мощность аллювиальных отложений 2 – 30 м. Правый коренной берег сложен глиной, лежащей на известняке со слоями глины, известняки выходят на поверхность дна в рукаве Ольховый Днепр на глубине 8 м. Эолово-делювиальные и элювиальные отложения междуречий рек Днепр, Ингулец, Ингул и Березань (мощностью 1 – 16 м) включают подовые отложения, представленные глееватыми суглинками и солонцами (мощностью 3 – 10 м).

На устьевом участке р. Днепр, вероятно, была расположена древняя континентальная дельта. Здесь коренным ложем реки являются породы среднего сармата, мощностью около 25 м. Глины, мергели и пески залегают на известняках и ракушечниках.

Берега водотоков в дельте р. Днепр террасированы и сложены песками и суглинками с торфянистыми и лиманно-морскими песчаными и илистыми слоями. Мощность аллювия здесь достигает 50 м, причём, слой аллювия у правого, опускающегося, берега больше, чем у левого. Встречаются заболоченные территории и торфяники, целебные грязи. Грунты дна – песок, ил, ракушечник, иногда залегающие на древних глинах. На правом берегу устьевой части рук. Рвач залегают лагунные отложения мощностью 1 – 7 м, включающие песок, ил и ракушечник [6].

Дно рукавов р.Днепр вдоль стрежней в основном покрыто песком с вкраплениями ракушечника, склоны – илисто-песчаными отложениями. Наличие ила на дне центральной части рукавов свидетельствует об их отмирании.

Пойма р. Юж. Буг террасирована, возвышенные, но пологие берега сложены песчаником и известняком, лёссом, песком и глиной. Возвышенным является то правый берег, то левый, их высота составляет 10 – 20 м. Встречаются пляжи из гальки и гравия.

Берега Бугского лимана (правый – высокий, левый – низменный) образованы известняком, глинами и мергелями с древними речными песчаными и песчано-глинистыми отложениями. На левом берегу эрозионно-денудационные формы представлены блюдцеобразными впадинами – подами. Материал эрозии и денудации берегов накапливает-

ся на подводных склонах русла и состоит в основном из песка, гальки и гравия. С глубиной этот материал заиливается и дополняется ракушечным детритом.

Восточный берег Днепровского лимана – низменная заболоченная дельта р. Днепр, южный – песчаный (кварцевый песок и циркон) и заболоченный, является продолжением древней левобережной террасы реки, переходящей в деформирующуюся Кинбурнскую косу, представляющую собой наиболее выраженную аккумулятивную форму рельефа. Коса сложена в основном аллювиальными отложениями (пески, супесь, суглинки, гравий и пр.) мощностью 3 – 30 м, а дистальный конец – морскими отложениями, типичными для кос, пляжей и морских террас, состоящих из песка, гравия, гальки, ракуши и ила, мощностью 1 – 10 м (рис.1.6).



Рис. 1.6. Косы и острова из морских, лиманных и речных отложений

На севере Днепровский лиман имеет крутой и обрывистый берег высотою 8 – 10 м, состоящий из слоёв глин, лёссов, песчаных и лёссо-

видных пород. Пример такого берега, сложенного элювиально-делювиальными отложениями представлен рис. 1.7.

У г. Очаков разноцветные сыпучие пески и ракушечник слагают Очаковскую косу. Она, совместно с Кинбурнской косой, образует Кинбурнский пролив, через который осуществляется обмен с открытой частью устьевого взморья. Естественные острова в Днепровском лимане сформированы аллювиальными отложениями, а о. Березань – известняками, покрытыми песками.

Берег открытого устьевого взморья представляет собой лёссовидные суглинки лёгкие, средние и тяжёлые, местами супесь и глины, лёсс, ископаемые грунты, мощностью 1 – 16 м. Песчано-суглинистые образования голоцена вдоль побережья имеют мощность 2 – 10 м.

Дно лимана в глубоководной части покрыто алевритопелитовыми илами. Пелитовые илы распространены в Бугском лимане, центральной и западной частях Днепровского лимана. По мере уменьшения глубины, вдоль береговой линии залегают мелкоалевритовые илы и пески с примесью алевритопелитового материала. В прибрежной части распространены песчаные отложения, особенно широкой полосой вдоль Кинбурнской косы, местами встречается гравий и ракушки. На дне западной части лимана залегает ракушечник. Донные осадки слабокарбонатные. В восточной части Днепровского лимана, вблизи дельты, преобладают пески с примесью алевритопелитового мате-риала и мелкоалевритовые илы.



Рис. 1.7. Грунтовые отложения глинистого состава на северном берегу Днепровского лимана в районе с. Лупарево.

На территории морского устья рек Днепр и Юж. Буг имеются ареалы выходов третичных известняков [6], их добыча ведётся в районе с. Новогригорьевки (недалеко от г. Николаева). Также добывается мергель (Новогригорьевское месторождение), торф, раку-

шечник. Разведаны месторождения и производится добыча песка строительного (Матвеевское, Николаевское, Калиновское, Весняновское, Южнобугское, Цюрупинское, Новокаховское, Раденское, Кардашинское, Збурьевское, Шабовское), осадочных глинистых пород: гидрослюдистых глин, лёссов и лёссовидных суглинков, полимиктовых глин, а также каолина (месторождения: Николаевское, Григорьевское, Петровское).

Известны месторождения минеральных вод: Херсонское, Очаковское и Лиманское (на Кинбурнской косе), а также Днепровско-Лиманское месторождение лечебных грязей. Кроме того, обнаружены россыпи и россыпепроявления различных полезных ископаемых (например, Очаково-Джарылгачские россыпные поля титан-циркониевых руд), есть места находок золота и алмазов. Рассматриваемое морское устье расположено в Южном нефтегазоносном регионе, что предполагает наличие нефтегазоносных площадей [6].

Инженерно-геологические условия. Основными геолого-инженерными особенностями рассматриваемой территории являются проседание лёссовых пород, оползни, осыпи, подтопление и карст [6]. Поражённость территории экзогенными геологическими процессами различная: от слабой (южнее с. Збурьевка, междуречье рек Юж. Буг и Днепр) до очень сильной, когда экзогенные геологические процессы занимают более 50 % площади (побережья рек, Бугского лимана, открытой части устьевого взморья).

Северный берег Днепровского лимана подвержен существенной эрозии, а открытой части взморья – абразии. Лёссовые породы, слагающие северный берег западной части Днепровского лимана проседают, эта часть побережья закарстована, отмечается площадная эрозия, а в районе Очаковской косы, кроме того, есть оползни и засолённые участки.

На устьевых участках рек Днепр и Ингулец развиты эрозия, проседание лёссовых пород и карст. На вогнутых участках берегов отмечается размыв, на выпуклых – намыв. Кроме закарстованности и эрозии устьевые участки рек Юж. Буг и Ингул, а также побережье Бугского лимана подвержены засолению.

Подтопление и заболачивание характерны для дельты р. Днепр, и Кинбурнской косы. Наиболее интенсивно изменяется её оконечность, так как здесь сильное воздействие оказывает волнение и течение.

Подтопление грунтовыми водами отмечается в населённых пунктах – Николаеве, Херсоне, Очакове, Цюрупинске, Белозерке, Голой Пристани [6].

Карст. Наиболее выражена закарстованность известняков правобережной части р. Днепр и низовьев р. Ингулец [6, 8, 10, 11] в отложениях неогена. Здесь изредка отмечаются участки поверхностного карстопроявления, приуроченные к прибрежным частям речных долин. В устьевой области р. Ингулец встречаются гроты, пещеры (длиной до 50 м) и ниши. Понтические, местами меотические и верхнесарматские известняки междуречья рек Ингул – Ингулец – Днепр также закарстованы. Бóльшая часть территории морского устья рассматриваемых рек представлена карбонатным, известняковым карстом покрытого типа. Сочетание прослоев глин и мергелей (являющихся водоупором) с карбонатными породами разного типа способствует образованию щелей по плоскостям напластования, длинных карстовых каналов, каверн, понор и пещер. Полупокрытый карст приурочен к побережьям рек, Бугского лимана и Кинбурнской косе. Ниже современного уровня моря, в Днепровско-Бугском лимане, карст перекрыто-покрытого типа, карбонатный, известняковый, в придельтовом восточном районе Днепровского лимана – терригенно-карбонатный карст толщ переслаивания карстующихся пород с некарстующимися. Активно проявляется техногенный карст в районе г. Новая Каховка.

Большинство исследователей [6, 8, 10, 11] выделяют в рассматриваемом районе карбонатный карст в нескольких основных типах карстующихся пород: в доломитах, доломитизированных известняках и кварцево-карбонатных породах (долина р.Ингулец) нижнепротерозойской серии, в слоистых первично-пористых и кавернозных известняках неогена (долина р.Днепр), в понтических, местами меотических и верхнесарматских известняках (низовья р. Ингул, Бугский лиман).

Связь между поверхностными и трещинно-карстовыми водами заметно проявляется в районе г. Новая Каховка (левый берег водохранилища). Вода из Каховского водохранилища фильтруется в понтические, меотические и верхнесарматские известняки. Краснознаменская и Ингулецкая оросительные системы, карьеры и другие понижения рельефа также являются источником питания карстовых вод.

Геоморфологическое районирование. Согласно геоморфологическому районированию, выполненному в [6], рассматриваемое устье

приурочено к Восточноевропейской полигенной равнине, расположено в Причерноморской области пластово-аккумулятивных и пластово-денудационных низменностей, в подобласти пластово-аккумулятивной низменности на неогеновых отложениях, в трёх районах. Западная часть морского устья (правобережье р. Юж. Буг и Бугского лимана, северное побережье западной части Днепровского лимана и его взморья) расположена в районе Днестровско-Бугской аккумулятивно-денудационной волнистой и плоской слаборасчленённой низменности. Восточнее (до Каховского водохранилища и правобережья р. Днепр) к этому району примыкает Бугско-Днепровская аккумулятивно-денудационная плоская, слаборасчленённая низменность. Устьевой участок и дельта р. Днепр, Кинбурнская коса расположены в районе Нижнеднепровской дельтовой плоской и волнистой низменности. Геоморфологическая карта рассматриваемого региона представлена на рис. 1.8 по [6].



Пластово-денудационные равнины и холмогорья областей преимущественно умеренных поднятий: *Денудационные* 19 – наклонная увалистая равнина на неогеновых отложениях (N_2-P); 20 – субгоризонтальная плоская равнина на неогеновых отложениях. Пластово-аккумулятивные равнины областей умеренных и относительно слабых поднятий: *Флювиальные* 26 – III и IV надпойменные террасы (P_{II}); 27 – I, II, III и IV надпойменные террасы (P_{II-III}); 29 – V, VI и VII надпойменные террасы (P_I); 30 – VIII, IX и X надпойменные террасы (E-N_2); *Флювиально-дельтовые* 33 – субгоризонтальная волнистая равнина (P_I); 34 – субгоризонтальная слабоволнистая равнина (P_{II}); 35 – плоская равнина (P_{III}); *Морские* 40 – современная терраса (H).

Рис. 1.8. Геоморфологическое строение по [6]

Особенности геоморфологии низовьев речных долин, уклон местности обусловливают различия русловых процессов на устьевых участках рек: реки Юж. Буг, Ингул и Ингугец имеют меандрирующие русла (рис.1.1), а для устьевого участка и устьевых рукавов р.Днепр характерна пойменная многорукавность. Относительная прямолинейность русла р.Днепр, по сравнению с другими руслоформирующими реками, обусловлена также тем, что под действием силы Кориолиса поток днепровских вод «прижат» к правому коренному берегу и русло сохраняет устойчивое положение.

Подземные воды. Устьевая область рек Днепр и Юж. Буг приурочена к Русской плите и расположена в области Причерноморского артезианского бассейна. Согласно структурному гидрогеологическому районированию, выполненному в [6], территория залегания подземных вод западнее р. Юж. Буг отнесена к Одесскому району, междуречье р. Юж. Буг – р. Днепр – к Ингулецкому, левобережье р. Днепр и Кинбурнская коса – к Днепровско-Молочненскому району. В соответствии с функциональным гидрогеологическим районированием подземного стока [6] в Причерноморско-Азовском гидрогеологическом регионе, где расположено морское устье рек Днепр и Юж. Буг, выделено 4 провинции и 6 гидрогеологических округов. Так, территории западнее г. Очаков и Кинбурнская коса расположены в Тилигульском и Скадовском округах в пределах Причерноморской провинции. С востока к Тилигульскому округу примыкает Северо-восточный округ Южнобугской провинции. Устьевые участки рек Днепр и Ингулец, дельта р.Днепр и правобережье восточной части Днепровского лимана принадлежат к Днепровской провинции, причём, левобережье р.Днепр относится к Новокаховскому округу, а правобережье до с. Станислав – к Криворожско-Херсонскому округу.

Основные водоносные горизонты и комплексы приурочены к неогеновым отложениям и расположены в песках и известняках с прослоями глин и мергелей тортонского, сарматского и меотического ярусов; в долинах рек и на Кинбурнской косе – в антропогеновых аллювиальных отложениях. Водоносные комплексы в песках четвертичных аллювиальных и флювиогляциальных отложений характерны для речных долин и Кинбурнской косы, в известняках и известняках с прослоями песчаников верхненеогеновых отложений – для междуречий. В западной части побережья устьевого взморья подземные воды сосредоточе-

ны в основном в известняках, песчаниках с прослоями песков и глин верхненеогенового возраста.

Водообеспеченность пород по данным [6] невысокая.

Подземные потоки в понтических, меотических и верхнесарматских отложениях направлены к побережью, дренируются в аллювиальные отложения лимана и соединяются с подрусловым потоком р. Днепр. В северной части морского устья рек преобладают трещинно-пластовые, а в южной – порово-пластовые воды. Участки площадной разгрузки субмаринных вод на шельфе приурочены к взморью Днепровского лимана. В восточной и южной частях морского устья, в первом от поверхности водоносном горизонте, преобладают воды аллювиальных антропогеновых отложений надпойменных террас и пойм в песках; в северной части Днепровско-Бугского лимана – в отложениях среднего и верхнего плиоцена (пески и железистые песчаники) и меотического яруса (известняки и пески). Преобладающая глубина залегания первого от поверхности водоносного горизонта в рассматриваемом районе – 5 – 10 м. В районах оросительных систем первый от поверхности водоносный горизонт залегает не глубже 5 м.

Из Каховского водохранилища происходит инфильтрация воды и поступление её в кавернозные известняки, что способствовало повышению уровня подземных вод после его сооружения [8]. По мнению ряда авторов [10, 11] эти подземные воды не дренируются морем, а пополняют артезианские бассейны Причерноморской впадины.

В рассматриваемом районе эксплуатируется 9 месторождений подземных вод (из них больше половины приурочено к устьевому участку и дельте р. Днепр) и 3 не эксплуатируются. Водозабор подземных вод составляет 25 – 30 % эксплуатационных запасов пресных подземных вод. Модуль природных ресурсов подземных вод по [6] составляет до 0,5 л/с·км^2.

Подземные воды относятся к гидрокарбонатно-кальциево-натриевым, встречаются и высокоминерализованные сульфатно-хлоридные кальциевые воды. Содержание сульфатов в подземных водах может составлять около 250 мг/л [6]. Тенденции к увеличению минерализации подземных вод (за последние 50 лет) отмечаются в районе г. Херсон – с. Станислав и на некоторых участках правого берега Бугского лимана. Уменьшается минерализация воды в районе сёл Нов. Збурьевка – Чулаковка.

По анионному составу подземные воды неогеновых отложений подразделены на 4 типа [6]: двухкомпонентные (северное побережье Днепровско-Бугского лимана, правый берег рук. Рвач и левый берег устьевого участка р. Днепр); трёхкомпонентные (бóльшая часть правобережья р. Днепр); гидрокарбонатные (бóльшая часть левобережья р. Днепр); хлоридные (Кинбурнская коса).

По оценке [6] экологическое состояние подземных вод в различных частях морского устья отличается. Наиболее загрязнены подземные воды на устьевом участке р. Днепр, в левобережье южной части Бугского лимана, в районе городов Николаев и Херсон. В основном, в пробах воды обнаруживаются нитраты и остатки пестицидов, что связано с сельскохозяйственной деятельностью в регионе.

Хозяйственная деятельность способствовала не только загрязнению подземных водоносных горизонтов, но и поднятию уровня грунтовых вод, которое в основном обусловлено фильтрацией из водохранилищ и оросительных систем.

Месторождения минеральных вод – Херсонское, Очаковское и Лиманское (йодно-бромные воды) принадлежат к области маломинерализованных хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатных (и др. 3-х компонентных по анионам) натриевых, натриево-магниевых и смешанного катионного состава, гидрокарбонатно-хлоридных (хлоридно-карбонатных) натриевых, хлоридных натриевых разной минерализации и хлоридных, натриево-кальциевых высокоминерализованных вод. В районе г.Николаева и г.Очакова минеральные воды без специальных компонентов – хлоридно-натриевые, тип Куяльницкий, минерализация 5 – 15 г/л. Проявления и месторождения минеральных вод со специальными компонентами приурочены к области распространения йодных и бромных вод. В районе городов Новая Каховка и Очаков такие воды имеют концентрацию йода не менее 5 мг/л, а брома – не менее 25 мг/л.

Наиболее интенсивно загрязняющие вещества в подземных водах мигрируют в левобережье р. Днепр и на Кинбурнской косе, менее всего – в междуречье рек Ингул – Березань.

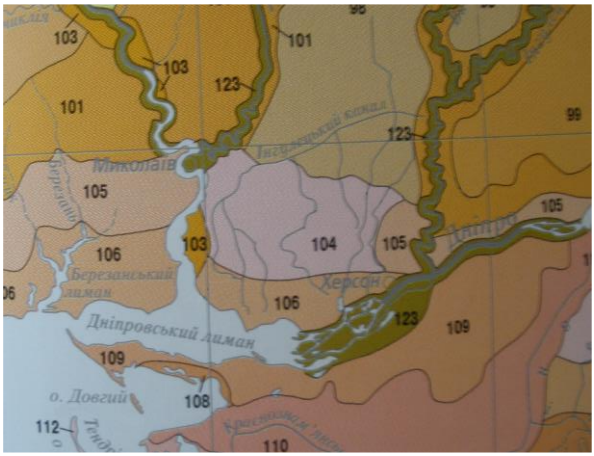
Ландшафты. Неоднородность природных условий рассматриваемого морского устья обусловливает ландшафтные особенности его отдельных частей. В основном они связаны с различиями в рельефе, геологических и гидрогеологических условиях, климате, расположении

частей устья относительно моря, масштабах антропогенного воздействия и пр. Многообразие ландшафтов морского устья рек представлено на рис. 1.9.



Рис. 1.9. Ландшафтные комплексы морского устья рек Днепр и Юж. Буг [12-17]

Наиболее полно сведения о ландшафтных комплексах морского устья рек Днепр и Юж. Буг представлены в работе [6]. Все ландшафты данной территории относятся к одному классу – равнинному и формируются в умеренном поясе платформенно-равнинной морфоструктуры, в зоне степей. В рамках степного зонального типа выделяется два подтипа ландшафтных комплексов (рис. 1.10): среднестепные типчаково-ковыльные и южностепные полынно-злаковые.



СРЕДНЕСТЕПНЫЕ ТИПЧАКОВО-КОВЫЛЬНЫЕ

Низменности с мощным антропогеновым покровом на неогеновых отложениях

98 – лесные низменности, слабоволнистые и плоские, с подами, с короткими балками и логами, с обыкновенными и южными малогумусными чернозёмами

99 – лесные низменности, сильноэродированные, с подами, оврагами и балками, врезанными в толщу неогеновых отложений, с южными малогумусными чернозёмами, лугово-чернозёмными осолоделыми глееватыми грунтами подов

101 – лесные низменности, расчленённые оврагами и балками, с южными малогумусными чернозёмами, в прошлом под типчаково-ковыльной растительностью

103 – лесные террасы, с чернозёмами южными малогумусными в комплексе с солонцеватыми, в прошлом под типчаково-ковыльной растительностью

ЮЖНОСТЕПНЫЕ ПОЛЫННО-ЗЛАКОВЫЕ

Приморские низменности с антропогеновым покровом

104 – лесные низменности, слабодренированные, с чернозёмами южными, тёмно-каштановыми солонцеватыми и глеевыми грунтами, в прошлом под типчаково-ковыльной растительностью, степями и глеесолодями подов

105 – лесные низменности с чернозёмами южными, тёмно-каштановыми солонцеватыми грунтами, в прошлом под типчаково-ковыльной и солончаковой растительностью

106 – лесные низменности с тёмно-каштановыми солонцеватыми и луговыми солончаковатыми грунтами и глеесолодями подов, в прошлом под типчаково-ковыльной растительностью и под подовыми лугами

108 – лесные низменности с каштановыми средне- и сильносолонцеватыми грунтами в комплексе с солонцами и луговыми солончаками, полынно-злаковыми степями и солончаковой растительностью

109 – песчаные террасовые и древне-дельтовые холмистые низменности с дерновыми и слабогумусовыми песчаными грунтами, дубово-берёзовыми и осиново-ольховыми перелесками

110 – песчано-лесные террасовые низменности с чернозёмами южными солонцеватыми и тёмно-каштановыми грунтами, с солонцами, глеесолодями и луговыми солончаками, типчаково-ковыльною и галофитною растительностью

ПОЙМЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ РАВНИН

123 – плавни, луго-степные солонцевато-солончаковатые поймы

Рис. 1.10. Ландшафтное районирование устьевого региона по [6]

Пойменные ландшафты речных долин распространены во всех зонах, типах и подтипах, поэтому их виды выделены отдельно, как «Пойменные ландшафты равнин».

В распределении ландшафтов проявляется широтная зональность: севернее преобладают среднестепные типчаково-ковыльные ландшафты, принадлежащие к роду низменностей с мощным антропогеновым покровом на неогеновых отложениях (виды 98 – 103, рис. 1.10); южнее – южностепные полынно-злаковые, относящиеся к приморским низменностям с антропогеновым покровом на неогеновых отложениях (виды 104 – 110, рис. 1.10).

Типизация и районирование берегов. Берега морских устьев рек разнообразны по происхождению, структуре и преобладающим факторам воздействия, так как подвержены, кроме прочего, комбинированному влиянию реки, моря и зоны смешения. Поэтому специфика побережий морских устьев рек не укладывается в рамки разработанных в [5, 6, 8, 18] классификаций морских берегов.

Береговая зона устьевой области рек Днепр и Южный Буг на отдельных участках подвергается существенным изменениям, связанным с хозяйственной деятельностью, особенно в районах портостроения и рекреации. На фоне природных планово-высотных изменений берегов устья, антропогенные изменения приобретают всё большие масштабы, оказывая влияние на развитие береговой черты, как непосредственно (искусственные сооружения), так и косвенно (дампинг грунта, способствующий обмелению водоёма, зарастанию и отложению наносов).

Типизация берегов морского устья рек Днепр и Юж. Буг и их геоморфологическое строение рассматривалось различными авторами, но в результатах исследований нет единообразия. Например, в известной работе [6] на картах: «Инженерно-геологические условия» – абразия характерна для северного берега Днепровского лимана (на участках мыс. Сакен – мыс. Аджигиол, с. Дмитриевка – с. Кучуруб, западнее мыс. Аджияск); «Поражённость территории экзогенными геологическими процессами» – морской абразии подвержен северный берег Днепровского лимана (вплоть до дельты); «Геоморфологическое строение» – берега Днепровско-Бугского лимана отнесены к абразионно-аккумулятивным, аккумулятивным на оконечности Кинбурнской косы и дельтовым – в дельте; «Типы берегов» – только правый берег Днепровского лимана назван лиманным, левый – лопастным сложнорас-

членённым, в дельте – дельтовый. В.Г. Бондарчук в работе [5] выделяет 2 типа устьевых побережий: берег лимана – абразионно-аккумулятивный бухтовый, морской части Кинбурнской косы – абразионный выровненный. Согласно морфодинамическому районированию, предпринятому в работе [18], в пределах дельты р.Днепр имеет дельтовый берег, абразионно-оползневые и обвальные берега в глинистых породах локализуются на севере Днепровского лимана и на юге от г. Голая Пристань до о. Янушев, а берег Кинбурнской косы со стороны лимана – аккумулятивный, мористее – первично-аккумулятивный абрадируемый.

Наиболее детальная типизация берегов морского устья выполнена Шуйским Ю.Д. и Выхованец Г.В. в [8]. К дельтовым берегам примыкают абразионно-аккумулятивные мелкобухтовые первичного расчленения в глинистых породах берега Днепровского лимана, переходящие в абразионно-обвальные в глинистых породах берега морской части устьевого взморья и в аккумулятивные выровненные и первично-аккумулятивные деградирующие берега западной части Кинбурнской косы.

Однако до настоящего времени детальное регионально-типологическое районирование указанной территории не выполнялось [19], кадастровых данных не имеется.

Анализ основных факторов и процессов, обусловливающих формирование берегов морского устья рек Днепр и Юж. Буг, свидетельствует не только об их многообразии и комплексности, но и о преобладании некоторых из них на отдельных участках, что даёт возможность районировать побережье морского устья на основе акцентирования преобладающих процессов и факторов влияния (рис.1.11). Учитывая это, выделяется несколько характерных типов берегов, приуроченных к отдельным структурным компонентам устья.

Устьевые участки рек. Для долин устьевых участков рек Ингул, Ингулец и Юж. Буг характерны врезанные меандры, образовавшиеся, по мнению Бондарчука В.Г. [5], при снижении базиса эрозии пра-рек, с типичными обрывами коренных берегов на каждом повороте долины. Врезанные в коренные породы русла рек повторяют изгибы речных долин и меандры в пойменных берегах сохраняют своё положение в плане. Поток сосредоточен в одном русле, острова практически отсутствуют. На устьевом участке р. Днепр в её малоизвилистой долине от-

мечается пойменная многорукавность, малоподвижные пойменные острова подковообразной или эллиптической формы разных размеров, с вдольостровными косами и песчаными валами, множество проток, с незавершёнными меандрами, и стариц.

Несмотря на указанные особенности русловых деформаций на устьевых участках разных рек, общим процессом здесь является формирование широкой поймы и проявление эрозионно-аккумулятивного воздействия речного потока на берега, в основном, в её пределах. Это воздействие выражается в размыве вогнутого берега, а также островов со стороны спрямлений потока, и отложении наносов у выпуклого пойменного берега и на выпуклых, верховых или низовых частях пойменных островов.

На крутых коренных берегах, которые в современный период не затапливаются водой, много балок и оврагов, в правобережье развиты оползни, обусловленные подземными водами на меотических глинах. Это значительный источник обломочного материала и наносов, из которого р.Днепр формирует пойму и дельту.

Таким образом, современные берега устьевых участков рек представляют собой особое, сформированное рекой образование – пойму, и будучи вовлечёнными в процесс поймообразования, их можно назвать пойменными, так как именно пойма является здесь зоной сопряжения суши и речной воды, выступающей активным фактором деформации и берегообразования.

Дельта р.Днепр. Берега на участке дельты р.Днепр формируются под влиянием реки, вод лимана, проникающих в русла водотоков, дельтовых озёр и болот. Главной особенностью этого района является то, что в 85% лет дельта и примыкающее к ней левобережье затапливается, т.е. при попусках воды (объёмом 1600 – 1700 м^3/с) через плотину Каховской ГЭС, близких к средним многолетним значениям (1340 м^3/с), 2/3 площади дельты находится под водой, а при бóльших попусках она может затапливаться целиком. Из-за затопления берега водотоков и водоёмов в дельте подвергаются как размыву, так и намыву, на отдельных участках береговая линия непостоянна. При этом коренные берега остаются в общем устойчивыми, а берега устьевых рукавов выдвигаются в лиман, особенно на её нижней границе. В результате устьевого удлинения русел, образования кос, осерёдков, а затем и островов, здесь происходят наиболее интенсивные изменения береговой

черты. Правый коренной берег высокий, размываемый, местами антропогенно-изменённый, особенно в районе г. Херсона. В связи с тем, что в дельте большинство берегов постоянно (или бóльшую часть года) заболочены или затоплены, они отнесены к затопляемым берегам (рис. 1.11).

Днепровско-Бугский лиман. Берега северной части лимана существенно отличаются от южной, поэтому отнесены к разным типам. Процессы переработки северных берегов под действием денудации, гравитационных процессов, эрозии, местами абразии, размыва течениями и др. факторов приводит к их необратимой однонаправленной деформации, выражающейся в выработке профиля равновесия. Аккумулятивный южный берег, если и размывается местами, то в результате отложения и переотложения наносов береговая черта либо сохраняет своё положение, либо, постепенно перемещается в лиман, что подтверждает анализ гидрографических карт 1983 – 2009 гг.

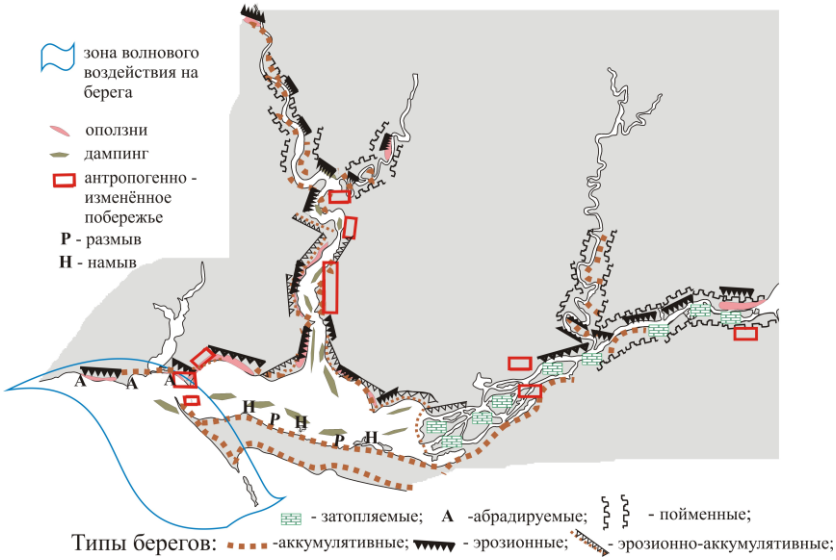


Рис. 1.11. Районирование берегов по преобладающим процессам и факторам влияния

Так как обрывистые северные берега Днепровского и берега Бугского лиманов не являются молодыми и сложены сравнительно легко-

разрушаемыми породами, коренной берег по большей части обрамлён протяжённым зарастающим мелководьем, по волноопасным направлениям длина разгона волн несущественная, лиман расположен в области волновой тени Тендровской и Кинбурнской кос, происходит ослабление энергии морских волн северо-западным шельфом, особенно Одесской банкой, указанное побережье затруднительно отнести к абразионному типу, как это сделано в [6]. При этом, под термином «абразия» понимают «…процесс механического разрушения морем коренных пород, в результате которого формируются… клиф и бенч» [20]. Разрушение берегов, сложенных рыхлыми породами, Зенкович В.П. обоснованно называет размывом.

В настоящее время процесс разрушения волнами берегов бóльшей части устьевого взморья носит установившийся характер, так как выработались абразионная платформа, литораль и сублитораль, в некоторых местах они имеют ширину 1,5 – 2 км, местами мелководья заросли растительностью. Очевидно, рассматриваемые берега в основном находятся в стадии абразионной терминанты [21]. Преобладающее незначительное волнение (менее 1,0 м) практически не достигает береговых склонов, так как обычно они оконтурены пляжами, шириной 10 – 20 м и более.

В тоже время, не исключая совершенно влияния ветрового волнения на берега, необходимо учитывать, что продолжительность влияния штормового волнения здесь исключительно мала по сравнению с действием таких разрушающих факторов, как денудация и эрозия (всех видов, включая размыв разного типа течениями).

Пример берега, сложенного элювиально-делювиальными отложениями, подвергающимися эрозии, представлен на рис. 1.12.

Общепринятое определение эрозии – процесс разрушения почв и грунтов текущей водой и ветром (денудация) наиболее точно отражает те комплексные процессы, которые приводят к деградации правого берега устьевого взморья. О разрушительном воздействии водной эрозии свидетельствуют многочисленные овраги и балки, оползни и осыпи, особенно заметные на старых картах (рис. 1.12). Существенная эродированность, смытость лёссовидных почв, их слабая задернованность, способствуют размыву дождевыми, талыми и поливными водами. Столбчатая структура и трещиноватость лёсса, делают породу водопроницаемой, что усиливает увлажнённость и набухание подстила-

ющих глин и приводит к сползанию грунта вдоль уклона. Продукты оползня откладываются в прибрежной зоне и перемещаются течениями. При отсутствии противооползневых мероприятий, уступ продолжает разрушаться и отступать. На некоторых участках интенсивно проявляется овражная эрозия. Например, крупный овраг в районе с.Станислав (глубиной 25-30 м, шириной около 50 м, протяжённостью более 0,5 км) продолжает развиваться (рис.1.12), удлиняя свои отроги в среднем на 2 – 6 м в год. Местами берега лимана подмываются при нагонах и попусках.

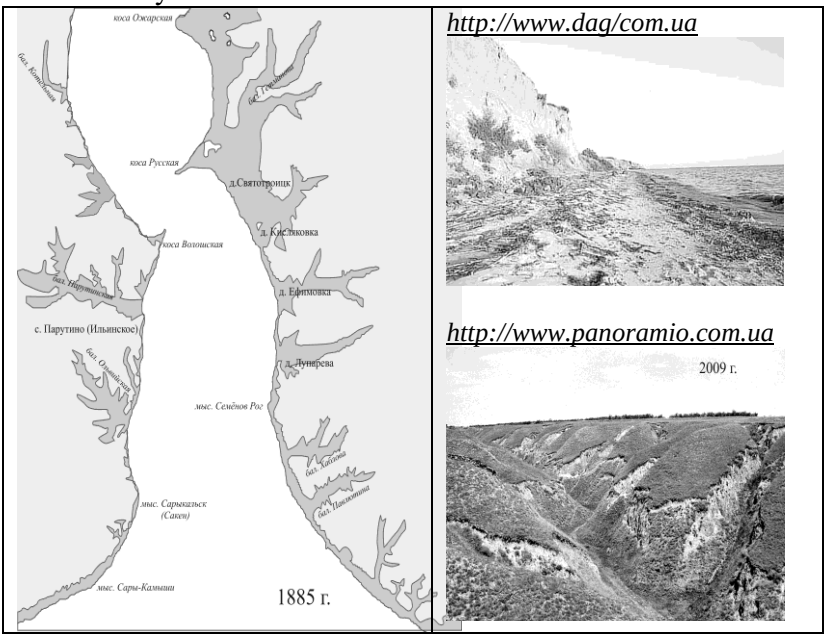


Рис. 1.12. Эрозионные формы побережья северной части устьевого взморья

Переработка северных берегов лимана происходит не только под действием природных гидрометеорологических, геологических, гидро- и геохимических факторов, но и антропогенных (строительство гидротехнических сооружений, берегозащита, дампинг, забор песка, орошение и др.). На некоторых участках происходит как разрушение верхней части склона, так и аккумуляции отложений в нижней, местами

эрозионные участки берегов чередуются с аккумулятивными формами. Поэтому северные берега лимана отнесены к эрозионным (преобладает размыв и обрушение берегов) и эрозионно-аккумулятивным (эродирует коренной берег, к которому примыкает пляж или коса, либо отмечается чередование процессов размыва и намыва в пространстве или во времени).

Аккумулятивные берега характерны для кос и пляжей. Крупнейшее аккумулятивное образование – Кинбурнская коса, формирующая южный берег лимана. Переотложение наносов, размыв и намыв этого берега происходит под влиянием изменения уровня воды, течений и волнения довольно интенсивно. Масштабы изменений могут быть существенными и разнонаправленными на отдельных участках. Главную роль при воздействии течений и волн на аккумулятивные берега играет преобладающий перенос воды, в отличие от абразионных берегов, когда основным разрушающим фактором является гидродинамический удар волны и обломочного материала о берег и др. На рис. 1.11 показаны участки косы с преобладанием размыва, намыва и воздействия морских факторов.

Морская часть устьевого взморья. Берега открытой части устьевого взморья (морской район, 3в, рис. 1.3) отнесены большинством исследователей к абрадируемым. Здесь аккумулятивные формы обычно примыкают к обрывистым коренным берегам, имеются абразионно-осыпные участки, кое-где преобладают аккумулятивные или, наоборот, абрадируемые берега (рис. 1.13). На отдельных участках, где ширина пляжей 40 – 50 м, абразия практически не наблюдается. Абразионный процесс наиболее выражен при сильном южном, юго-западном и юго-восточном ветрах.

Отдельные участки берегов сложны для районирования, так как они формируются при комплексном воздействии эрозионных, абразионных и аккумулятивных процессов. При этом обрывистая часть берега подвергается денудации и эрозии разного типа, а на береговую платформу воздействуют волнение и течения. Пример такого (правого) берега западной части Днепровского лимана представлен на рис. 1.14.

Природно-антропогенные комплексы. Ландшафты морского устья рек Днепр и Юж.Буг, представленные на рис. 1.9 [12–17], разнообразны. Их многообразие, климатические, геоморфологические и гидрологические особенности морского устья, как водного объекта

(рис. 1.3), различная антропогенная нагрузка, а также общие черты отдельных районов, обусловливают целесообразность выделения в пре-





http://www.photoukraine.com



http://ukrgeo.net/v/inggeo_obsled



http://yarnan.mk.ua

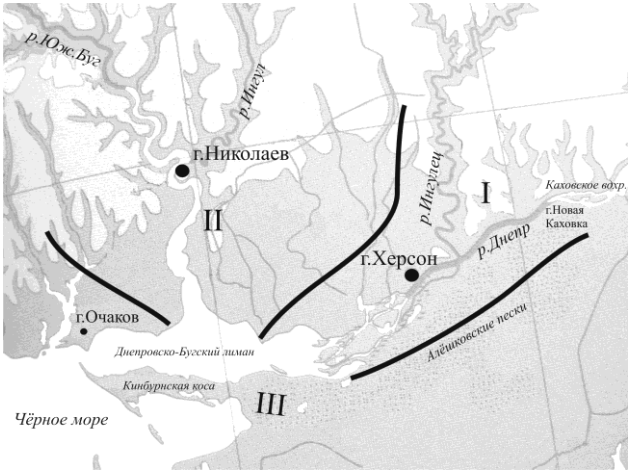
Рис. 1.13. Берега морской части устьевого взморья рек Днепр и Южный Буг

делах устьевого региона трёх крупных природно-антропогенных комплексов: I – Днепро-Ингулецкого, II – Южнобугско-Ингульского и III – Очаково-Алёшкинского (рис.1.15).



Рис. 1.14. Эрозионно-абразионный правый берег западной части Днепровского лимана

Общая антропогенная нагрузка на ландшафты наиболее велика в первых двух районах (особенно вблизи городов Николаев и Херсон), наименьшая в районе III. Например, после аварии на Чернобыльской АЭС суммарная загрязнённость местности цезием-137 в районе г. Николаев и г. Новая Каховка не превышает 0,3 Кі/км^2, а в районе III – в основном 0,05 Кі/км^2 [6]. Аналогично распределяются в пространстве и другие загрязняющие вещества и микроэлементы антропогенного генезиса. При этом концентрация одних преобладает в районе I, других – в районе II. Всегда наименее загрязнён район III.



I – Днепро-Ингулецкий;

II – Южнобугско-Ингульский;

III – Очаково-Алёшкинский

Рис. 1.15. Природно- антропогенные комплексы устьевого региона

Антропогенные изменения рельефа отмечаются повсеместно. Они обусловлены мелиорацией, сельскохозяйственной, инженерно-строительной и водохозяйственной деятельностью, подтоплением территорий, строительством карьеров, засыпкой оврагов и др.

Доля природных элементов рельефа (плавней, болот, лугов, лесов, пойм, балок, оврагов и пр.) в общей площади каждого природно-антропогенного комплекса различна. В долинах рек и дельте р. Днепр, а также в южной части Кинбурнской косы и на левом берегу центральной части Бугского лимана природные элементы ландшафтов составляют более 50 %, а в районе между Березанским лиманом и южной частью Бугского лимана их доля не превышает 10 – 20 % [6].

1.3. Почвы и растительность

Важное гидрологическое значение имеют почвы и растительность. От характера почвенного покрова зависит интенсивность инфильтрации воды, смыв, растительный покров и другие факторы стока. Растительность препятствует эрозионным процессам, оказывает влияние на водо- и теплообмен, обмен веществами между водными объектами и поймой, на условия формирования местного стока и др.

Почвы. Имеющиеся литературные сведения о почвенном покрове рассматриваемого региона [1, 5, 6, 10, 11] противоречивы. Однако все авторы сходятся во мнении, что почвы весьма разнообразны – здесь встречается, в основном, 6 – 10 типов почв (рис.1.16).

В долинах на устьевых участках рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец, преобладают луговые солончаковые почвы, а на устьевом участке и в дельте р. Днепр – чернозёмные луговые почвы [1]. В поймах р. Днепр и р. Юж. Буг распространены довольно плодородные аллювиально-луговые почвы, на террасах днепровской дельты – бедные органикой солонцеватые чернозёмы. В период затопления пойм почвы обогащаются илистыми наносами. В [6] почвы речных долин и дельты отдельно не выделены.

Почвы правобережья устьевого участка р. Днепр – чернозёмы южные мало- и слабогумусные, среднесуглинистые [6]. По более ранним данным [1, 5] здесь преобладали чернозёмы южные солонцеватые тяжёлосуглинистые. Севернее к ним примыкают чернозёмы южные солонцеватые тяжёлосуглинистые и глинистые с участками лугово-чернозёмных и дерново-осолоделых глеевых почв и солодей. На территории между устьевыми участками рек Ингулец и Ингул преобладают тёмно-каштановые остаточно-солонцеватые почвы, среднесуглинистые [6] с участками луговых почв в комплексе с солонцами преимущественно солончаковатыми, лёгкосуглинистыми. В правобережье р. Днепр и Днепровского лимана выделен участок, прилегающий к дельте р. Днепр, с луговыми почвами в комплексе с солонцами преимущественно солончаковатыми лёгкосуглинистыми.

Вдоль побережья Днепровского лимана почвенный покров имеет широтное распределение. На юге преобладают тёмно-каштановые остаточно-солонцеватые почвы тяжёлосуглинистые (правый берег Бугского лимана) и преимущественно среднесуглинистые (междуречье

рек Ингул и Ингулец). Здесь же встречаются осолоделые и дерновые почвы (рис. 1.16).



Чернозёмы южные на лёссовых породах

17 – чернозёмы южные мало- и слабогумусные

Чернозёмы остаточно-солонцеватые на лёссовых породах

22 – чернозёмы южные остаточно-солонцеватые

Лугово-чернозёмные почвы преимущественно на лёссовых породах

25 – лугово-чернозёмные глубоко-солонцеватые

Каштановые почвы на лёссовых породах

26 – тёмно-каштановые остаточно-солонцеватые

Луговые почвы на делювиальных и аллювиальных отложениях

29 – луговые

Болотные почвы на аллювиальных и делювиальных отложениях

32 – торфо-болотные почвы и торфяники

Солонцы

33 – солонцы, преимущественно солончаковатые

Осолоделые почвы

34 – луго-чернозёмные и дерново-осолоделые глеевые почвы и солоди

Дерновые почвы

35 – дерновые преимущественно оглеенные песчаные, глинисто-песчаные и супесчаные почвы в комплексе со слабогумусными песками;

35а – дерновые песчаные и глинисто-песчаные преимущественно неоглеенные почвы в комплексе со слабогумусными песками, кое-где с кучугурным рельефом и чернозёмными песчаными почвами

≡ тяжёлосуглинистые; = среднесуглинистые; – лёгкосуглинистые; ˅ глинистые; Δ щебневатые; / супесчаные

Рис.1.16. Карта почв устьевой области рек Днепр и Юж. Буг по [6]

Севернее располагается полоса чернозёмов южных остаточно-солонцеватых в комплексе с луго-чернозёмными и дерново-осолоделыми глеевыми почвами и солодями, глинистого гранулометрического состава. Они граничат с чернозёмами южными на лёссовых породах, в основном тяжёлосуглинистыми.

На устьевом участке р. Юж. Буг, кроме указанных, распространены почвы речных долин – луговые и дерновые [5, 6].

Плодородные, богатые гумусом лугово-чернозёмные почвы подов встречаются в междуречье рек Ингулец – Ингул – Днепр.

На левом берегу р. Днепр сформировались дерновые песчаные почвы и разбитые пески, они покрывают территорию от г. Каховка до моря, включая Кинбурнскую косу, и малоплодородны. 10 % этих почв подвижны, свободны от растительности и по рельефу местами напоминают пустыню (рис. 1.9). При сильном ветре пески подвержены дефляции (выдуванию) и переносятся на значительные расстояния (это район с проявлением пылевых бурь, разд. 1.7), занося фарватер р. Днепр и пойменные земли. Почвы на бóльшей части территории слабо эродированы (до 10 %). По сравнению с прошлыми годами [5] эрозия почв увеличилась. Кроме песков здесь встречаются и чернозёмные почвы на песках, и каштановые почвы, бедные перегноем. На каштановых почвах Кинбурнской косы имеются солонцы. Почвы Кинбурнской косы практически не подвергаются эрозии, степень их эродированности не превышает 5–10 %, за исключением её западной части. По данным [5, 6] торфяно-болотные почвы преобладают на аллювиальных отложениях левобережья р. Днепр. Здесь, на глубине 40 см, залегает торф коричневый. Болотные почвы распространены и на внутренних склонах прирусловых валов, где формируются также луговые суглинистые почвы.

В засушливые годы увеличивается площадь солонцов, что характерно для каштановых почв прибрежных районов лимана, речных террас и подов.

В левобережье р. Днепр и междуречье рек Ингулец и Юж. Буг до 10 % пахотных земель переувлажнены, местами заболочены.

Наибольшая интенсивность водной эрозии характерна для правого берега р. Днепр, низовьев р. Ингулец, устьевого участка р. Ингул. Здесь её величина превышает 20 т/га в год. Пески левобережья р.Днепр менее всего подвержены водной эрозии – потери пахотного

слоя в среднем за год здесь не превышают 3 т/га. На остальной территории они составляют 3 – 10 т/га [6].

Усиленная деградация почв характерна для устьевых участков рек Днепр и Юж. Буг, что является последствием эрозии почв, их выщелачивания, интенсивной потери гумуса.

Степень загрязнённости почв остатками пестицидов и радионуклидами (0,001 – 0,05 Ki/км^2) незначительная [6], в правобережье р. Юж. Буг некоторые участки загрязнены тяжёлыми металлами (например, содержание свинца в пределах 2,0 – 8,5 мг/кг). Устойчивость большинства почв региона к загрязнению и миграции загрязняющих веществ очень высокая, за исключением Алёшкинских песков (Нижне-Днепровских) и Кинбурнской косы (рис.1.1). В то же время именно здесь наиболее высокая проточность почв, а, следовательно, и их способность к самоочищению.

Таким образом, почвообразование в устьевой области р. Днепр и р. Юж. Буг зависит от комплекса природных (обводнённость, рельеф и растительность) и антропогенных факторов (вырубка лесов, пастбища, неправильные методы обработки земли). Почвы здесь, в основном, пригодны для сельского хозяйства.

Анализ почвенного покрова показал, что выделяется три характерных района с преобладающим комплексом почв: I – Днепро-Ингулецкий (луговые, чернозёмно-луговые, чернозёмы южные, торфоболотные, тёмно-каштановые солонцеватые, средне- и лёгкосуглинистые); II – Ингулецко-Березанский (каштановые, чернозёмы остаточно-солонцеватые, осолоделые, средне- и тяжёлосуглинистые, дерновые супесчаные); III – Кинбурнско – Алёшкинский (дерновые, разбитые пески, чернозёмы южные остаточно-солонцеватые в комплексе с лугово-чернозёмными глубоко солонцеватыми). Указанные районы близки к выделенным ранее (рис. 1.15) природно-антропогенным ландшафтным комплексам рассматриваемого устьевого региона.

Растительность. Морское устье рек Днепр и Юж. Буг расположено целиком в степной геоботанической зоне, в понтической степной провинции, Черноморско-Азовской степной подпровинции, в 4-х геоботанических округах [6, 10, 11]. Устьевой участок р. Юж. Буг отнесён к Днестровско-Бугскому округу разнотравно-злаковых степей и байрачных лесов. Правый берег Бугского лимана и западной части Днепровского лимана относится к Одесскому округу злаковых и полынно-

злаковых степей, засолённых лугов, солончаков и растительности карбонатных обнажений. В междуречье рек Юж. Буг и Ингулец произрастают растительные сообщества, которые согласно [6] отнесены к Бугско-Ингульскому округу злаковых степей, подовых лугов и растительности известняковых обнажений. Бóльшая часть растительности левобережья р. Днепр и Кинбурнской косы приурочена к Нижнеднепровскому округу песчаных степей, песков и плавней, а междуречья рек Днепр и Ингулец – к Днепровско-Азовскому округу злаковых и полынно-злаковых степей и подовых лугов.

Карта растительности представлена на рис. 1.17. По сравнению с более ранними данными [5] заметные изменения ареалов связаны с тем, что в [6] показана восстановленная по типам почв естественная растительность, преобладавшая до осуществления интенсивной сельскохозяйственной деятельности. В последнее время площади пахотных угодий сократились, произошло изменение структуры сельхозугодий, что возможно тоже отразилось на распределении растительных сообществ.

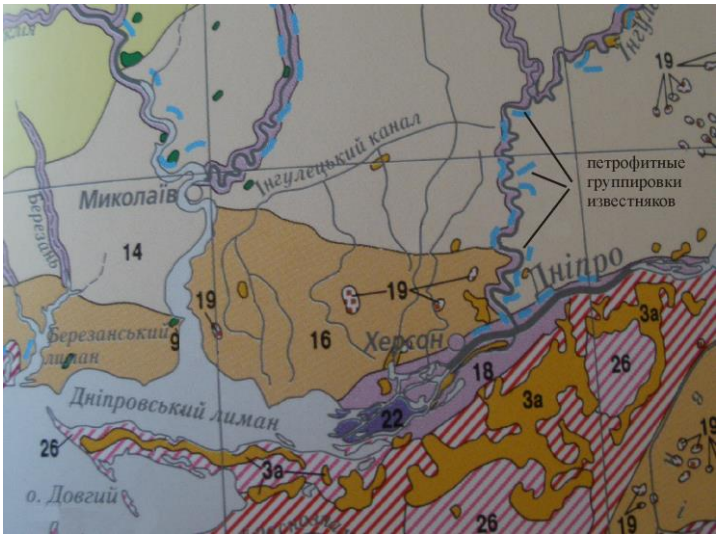
В регионе, на суше доминирует степная растительность и агрофитоценозы на её месте, преобладают злаковые и травы, но встречаются кустарники и небольшие леса, а также насаждения. Лесная растительность приурочена к балкам, понижениям рельефа, склонам долин.

В Очаково-Алёшкинском природно-антропогенном комплексе (рис. 1.15) значительную роль играют сосновые и смешанные леса, которые соседствуют с растительностью песков. На Кинбурнской косе имеются дубово-берёзовые рощи, сосновые посадки (рис.1.9).

В долинах рек, особенно р. Днепр, доминирует естественная растительность пойменных лугов и плавней (рис. 1.18). Встречается тростник, осока, камыш, папоротник, рогоз, ива и др. В поймах рек развито овощеводство. Плавневые болота здесь зарастают с берегов, характерно образование сплавины.

Водолюбивая растительность Днепровско-Бугского лимана представлена зарослями тростника и рогоза узколистного, встречается камыш. Особенно зарастает восточный и южный берега Днепровского лимана. На мелководье распространены заросли подводных и плавающих растений, представленные, в основном, рдестом, кувшинкой, роголистником и др. В водоёмах в дельте преобладают кувшинково-

роголистниковые и кувшинково-роголистниково-наядовые ассоциации [22].



Лесная растительность 3а – светлохвойные сосновые, смешанные сосново-дубовые и дубово-сосновые леса орляковые и злаковые на боровых террасах рек; 9 – байрачные лиственные леса, штучные насаждения. *Степная растительность* 14 – типчаково-ковыльные степи (фрагменты) и агрофитоценозы на их месте; 16 – полынно-типчаково-ковыльные степи (фрагменты) и агрофитоценозы на их месте в комплексе с засоленными лугами, солонцами и солончаками; 18 – пойменные луга в комплексе с солончаками и солонцами; 19 – засоленные луга (фрагменты) и агрофитоценозы на их месте. *Болотная растительность* 22 – эвтрофные болота (плавни). *Галофитная и псамофитная растительность* 25 – растительность песчаных степей, засолённых лугов, псамофитных группировок и агрофитоценозы на их месте; 26 – псамофитная растительность.

Рис.1.17. Карта растительности по [6]

На большей части территории природные леса отсутствуют. Лесные массивы распространены в левобережье р.Днепр и на Кинбурнской косе, где преобладает сосна и можжевельник. Отдельные посадки и байрачные леса встречаются вдоль берегов Бугского лимана и на устьевых участках рек Юж.Буг и Ингул. Из лиственных пород характерны дуб, клён, ясень, ива и берёза.

В рассматриваемом устьевом регионе произрастают также редкие растения, занесённые в Красную и Зелёную книги Украины. Из степных сообществ к зеленокнижным отнесены ковыль гранитная (устьевой участок р. Юж. Буг) и солодка голая (в дельте р. Днепр). По данным [6] к водным сообществам, занесённым в Зелёную книгу, относятся альдрованда пузырчатая, водяной горох плавающий, роголистник донской, распространённые в пресных и распреснённых водах на устьевых участках рек, в дельте и прилегающих к ним частях Днепровско-Бугского лимана.



Рис.1.18. Растительность плавней р. Днепр

Из адвентивных растений распространены амброзия полыннолистая, василёк солнечный, гринделия растопыренная, циклахена дурнишниколистная, щирица белая, горец розовый, паслён рогатый, ценхрус длинноигольчатый, гармала обыкновенная и др. [6].

Подробная геоботаническая характеристика и районирование устья рек Днепр и Юж. Буг представлена в фундаментальной работе [22]. Здесь показано, что 26,1 % акватории Днепровско-Бугского лимана занимают мелководья и 14,6 % из них зарастают высшей водной растительностью (4,2 % акватории лимана). Запасы воздушно-сухой фитомассы в лимане оцениваются в 35,1 тыс. т. Водоёмы в дельте р.Днепр (рис. 1.3) имеют зарастаемость 27 – 100 % (в зависимости от типа растительности и гидрологических условий). По исследованиям авторов работы [22] водная растительность ряда водоёмов, плавней и пойм в морском устье подвергается антропогенным изменениям.

1.4. Гидрографическая сеть

Днепр, вторая по величине река Украины, протекает по территории 3-х стран, имеет длину 2201 км (1121 км в границах Украины) и площадь водосбора 504000 км^2 (292700 км^2 в пределах Украины). На устьевом участке реки в районе с. Садовое (створ принят за вершину дельты р. Днепр) в Днепр впадает р. Ингулец, длиною 549 км, образуя при впадении Ингулецкий лиман. По длине и площади водосбора (13700 км^2) этот приток относится к средним рекам. Дельта р. Днепр меньше дунайской и имеет площадь 350 км^2.

Река Южный Буг является средней по величине (по некоторым классификациям – большой), так как её длина составляет 806 км и площадь водосбора 63700 км^2. В районе нижней границы устьевого участка реки в лиманообразное расширение (в месте впадения р. Юж. Буг в Бугский лиман) впадает одним рукавом наименьшая из устьеобразующих рек р. Ингул, длиною 354 км и с площадью водосбора 9890 км^2 (также средняя по величине река).

Гидрографическая сеть морского устья рек Днепр и Юж. Буг (рис. 1.3) разнообразна и включает устьевые участки рек (I) Днепра (1а), Юж. Буга (1в), Ингула (1г) и Ингульца (1б), сложное устьевое взморье (III), состоящее из Днепровско-Бугского (3а – 3б) и Березанского (3в$_1$) лиманов и прилегающей к ним части Чёрного моря (3в), на которую распространяется влияние вод устья. Кроме того, в её состав входят многочисленные озёра в днепровской дельте (II), на Кинбурнской косе и в других частях побережья, плавни, болота, каналы, затоны и др.

Устьевые участки рек. По извилистым и однорукавным руслам рек Юж. Буг и Ингул осуществляется постоянный сток. Границы устьевых участков этих рек чётко выражены, острова практически отсутствуют, антропогенные изменения стока несущественные. Поэтому устьевые участки рек Юж. Буг (1в) и Ингул (1г) относятся к простому типу [2].

По морфологическому строению устьевой участок р. Ингулец (1б), тоже относится к простому типу, но гидрологический режим здесь осложнён отсутствием постоянного стока этой реки, так как руслу искусственно придан обратный уклон, позволяющий подавать днепровскую воду в Ингулецкую оросительную систему. При повышенных сбросах из каскада днепровских водохранилищ, вода

р. Днепр поступает на устьевой участок р. Ингулец. Это затрудняет точное определение верхней границы устьевого участка, так как в разные периоды года она непостоянна. Эти обстоятельства позволяют отнести устьевой участок р. Ингулец к сложному типу.

Устьевой участок р. Днепр (1а) относится к сложному типу из-за наличия пойменной многорукавности, множества проток с незавершёнными меандрами, стариц и озёр, а также водного режима, зависящего от попусков из каскада днепровских водохранилищ. Здесь основное русло имеет сложную гидрографическую сеть, на некоторых участках затапливается, а так как его деление на протоки и рукава происходит сразу у плотины Каховской ГЭС, с уверенностью определить вершину дельты (нижнюю границу устьевого участка реки) затруднительно.

До настоящего времени нет единого мнения о длине устьевого участка р. Юж. Буг. Ряд авторов принимает его от пгт Александровка до г. Новая Одесса (78 км), от с. Прибужаны до г. Николаев (104 км), от пгт Александровка до с. Новопетровское (118 км) или до г. Николаев (132 км). Сложности при определении вершины устьевой области р. Юж. Буг связаны в настоящее время с недостатком данных наблюдений, искажением гидрологического режима под влиянием работы Каховской и Александровской ГЭС, сооружением судоходного глубоководного канала в р. Ингул и строительством моста в районе г. Николаев, дамба которого перекрыла водное пространство Бугского лимана на 2/3 ширины, образовав искусственную границу между лиманом и впадающими в него реками (рис. 1.19).

Хотя морфометрические характеристики на участке с. Новопетровское – г. Николаев близки к лиманным (как и донные отложения), но, в основном, поступление лиманных вод происходит в придонном слое по судоходному каналу и не распространяется далее с. Гурьевка (20 – 27 км). Гидрохимические характеристики бóльшей части водной массы идентичны речной воде; преобладают стоковые течения, а влияние нагонов практически не отмечается в с. Прибужаны. На основании этих результатов исследований МО УкрНИГМИ установлено, что в настоящее время устьевой участок р. Юж. Буг простирается от г. Новая Одесса до г. Николаев, включает место впадения р. Ингул и имеет длину 59 км.

Устьевой участок реки извилистый. В районе г. Новая Одесса в

р. Юж. Буг впадает р. Гнилой Еланец, образуя дельту. Ниже (до с. Баловное) долина реки заболочена, имеются протоки и небольшие озёра, искусственные пруды и каналы. В районе с. Новопетровское – с. Себино устьевой участок реки расширяется в 3 раза, ниже в р. Юж. Буг впадают р. Сухой Еланец и несколько балок. Ширина реки на устьевом участке 100 – 500 м, глубина достигает 6 м (в судоходном канале).



Рис. 1.19. Устьевой участок р. Юж. Буг – Варваровский мост

Устьевой участок р. Ингул имеет протяжённость около 20 км, от г. Николаев до пгт Воскресенский. Участок крайне извилистый, судоходный, влиянию Бугского лимана на этот участок реки способствует судоходный глубоководный канал, по которому распространяется солёная вода. На устьевом участке в районе с. Мешково-Погорелово река имеет несколько островов. Речная долина здесь заболочена, с севера впадает временный водоток. Ширина русла 50 – 500 м, глубины достигают 9 м в прорези судоходного канала у г. Николаев. Река Ингул впадает в Ингуло-Бугский лиман (рис. 1.3, 1е, 3$б_1$).

Устьевой участок р. Днепр, длиной 50 км, расположен между плотиной Каховской ГЭС (рис. 1.20) и местом впадения р. Ингулец и ответвления днепровского рукава Конка у с. Садовое (1а, рис. 1.3).

На устьевом участке р. Днепр протекает крупным однорукавным потоком, но имеет множество небольших и средних проток, крупнейшие из них: Казак (14 км), Конка (24 км) и Ингулька (10 км). Долина заболочена, изобилует озёрами, старицами и плавнями. Ширина поймы 3000–7000 км, ширина русла 300–1000 м, глубины 5–15 м.



Рис. 1.20. Вершина устьевой области р.Днепр – Каховская ГЭС

На правом берегу р. Днепр имеется множество балок и ручьёв, крупнейшие из которых – Тягинка и Донцова. На устьевом участке р. Днепр – изобилие островов и водоёмов (постоянных и временных). Границы водоёмов не всегда можно точно определить из-за затопления берегов или пересыхания озёр. Относительно крупных водоёмов (которые имеют названия) здесь насчитывается 33.

Границы устьевого участка р. Ингулец определены ориентировочно, так как из-за работы Каховской ГЭС, строительства Ингулецкого оросительного канала, искусственного дноуглубления в нижнем течении реки и отсутствия систематических наблюдений гидрологического режима на участке точное определение длины устьевого участка реки, как уже указывалось, затруднительно. По литературным сведениям влияние устьевых процессов распространяется на 100 км от устья р. Ингулец. По определению автора устьевой участок р. Ингулец имеет длину около 80 км (от с. Афанасьевка до

с. Садовое). Русло реки здесь углублено, ему придан обратный уклон, и оно используется как самотечный тракт для подачи днепровской воды к главной насосной станции Ингулецкой оросительной системы. Пойма реки с плавнями, ширина русла 100 – 200 м, глубина 0,5 – 9,0 м. В месте впадения р. Ингулец в протоку р. Днепр Ингульку водоток образует Ингулецкий лиман, протяженностью 3 км и площадью 2,16 км^2.

Дельта р.Днепр. Гидрографическая сеть в пределах дельты р. Днепр (II), начинающейся в 43 км от её нижней границы, в 15 км выше г. Херсон и в 2 км юго-западнее с. Садовое, включает взаимосвязанную систему естественных и искусственных водоёмов, водотоков и особых водных объектов. Здесь расположено около 200 водоёмов, 58 из них имеют глубину 2 – 6 м. Морфометрические характеристики водоёмов не остаются постоянными: их площадь и глубина в период повышенной водности увеличивается, в период межени – уменьшается. Сведения о наиболее крупных водоёмах и водотоках устьевого и дельтового участков представлены в табл. 1.1. Озёрность в этих частях морского устья составляет от 13 до 60 %.

В пределах верхнего участка дельты (рис. 1.3, 2а) слева от основного русла р. Днепр ответвляется рук. Конка, длиною 26 км, шириною 30 – 50 м, глубиною 5 – 10 м, впадающий в рук. Старый Днепр. Ширина р. Днепр – до 1000 м, глубина на стрежне 10 – 15 м. На этом участке гидрографическую сеть составляют многочисленные протоки, старицы (крупнейшая – Чайка), озёра (крупнейшие – Домаха, Голубов Лиман), плавни, каналы и пруды. Справа, в районе г. Херсон (на участке 2б), отделяется рук. Кошевая, длиною 15,5 км, шириною 50 – 200 м, глубиною 2 – 3 м, в устье – до 7 м. Системой проток рук. Кошевая соединяется с многочисленными озёрами, крупнейшими из которых являются Белое, Безмен и Стеблиевский лиман. Между г. Херсон и птг Белозёрка располагаются обширные (40 км^2) Херсон-Белозёрские плавни, в которые с севера впадают небольшие водотоки. В 1 км ниже места отделения рук. Кошевая р. Днепр делится на рук. Ольховый Днепр (длина 7,5 км, ширина 500 м, глубина 7 – 9 м) и рук. Старый Днепр (длина 9,3 км, ширина 250 – 350 м, глубина 2 – 7 м), которые в 13 км ниже г. Херсон соединяются с рук. Кошевая, образуя единое русло, протяжённостью 3,2 км, шириною 500 м, глубиною 13 м, называемое рук. Забич. Из

рук. Старый Днепр берёт начало рук. Конка, длиною 19 км, шириною 150 – 250 м, глубиною до 5 м. В устьевой части рук. Конка делится на рукава, один из которых впадает в лиман, другой – в рук. Бакай. На нижнем участке дельты (2в, рис. 1.3), в 12 м от НГД рук. Забич разделяется на рук. Рвач (длина 10,5 км, ширина 200 – 250 м, глубина 6 – 12 м) и рук. Бакай (длина 14,5 км, ширина 500 – 1000 м, глубина 2 – 8 м).

Рукава делят дельту на отдельные заболоченные массивы плавней с сетью рукавов, проток, ериков, озёр и лиманов (рис. 1.21). Крупнейшие массивы плавней, которыми занято 65 % дельты: Кардашинский (20 км^2), Большой Потёмкинский (21 км^2), Голопристанский (120 км^2) и Касперовский (45 км^2). Указанные крупные рукава (Бакай, Рвач и Конка) при впадении в лиман разделяются на более мелкие рукава и протоки, длиною 1 – 5 км, шириною 50 – 350 м (Литвинка, Ольховая, Бугаз, Василькова, Свинячка, Старая Конка и др.). Нижняя граница дельты имеет протяжённость около 13 км.



Рис.1.21. В дельте р.Днепр

Искусственные водные объекты представлены каналами различного назначения и затонами, которых особенно много в районе Херсонского порта.

Густота русловой сети на различных участках неодинаковая: на устьевом участке р. Ингулец она составляет 0,21, устьевых участках рек Юж. Буг и Ингул 0,30 – 0,32, устьевом участке р. Днепр 0,90, в дельте р. Днепр 1,0 – 1,85.

Устьевое взморье. Сложное устьевое взморье рек Днепр и Юж. Буг представляет собой лиманный комплекс – Днепровско-Бугский лиман (самый большой лиман северо-западной части Чёрного моря), Березанский лиман и открытую часть Чёрного моря, прилегающую к лиману, на которую распространяется влияние смешанных лиман-

ных вод, распреснённых стоком рек Днепра и Юж. Буга (рис. 1.3, III). Указанные части устьевого взморья соединяются проливами, представляющими собой особые участки взморья, характеризующиеся специфическим гидрологическим режимом (3г, 3д, рис. 1.3).

По имеющимся данным площадь Днепровско-Бугского лимана оценивается по-разному и составляет от 800 до 1010 км^2.

Чёткой гидрологической границы между Днепровской и Бугской частями лимана нет, она зависит от величины стока р. Днепр. Чем больше сток р. Днепр, тем севернее сдвигается граница между этими частями лиманного комплекса. Условно Днепровским считают лиман, расположенный в пределах НГД р. Днепр – Кинбурнский пролив.

Таблица 1.1

Основные водотоки и водоёмы морского устья рек Днепр и Юж. Буг

Водный объект	Местоположение в устьевой области реки	Длина водотоков, км; площадь водоёмов, км^2
Водотоки		
р. Днепр	устьевой участок р. Днепр	50
р. Юж. Буг	устьевой участок р. Юж.Буг	59
р. Ингул	устьевой участок р. Ингул	20
р. Ингулец	устьевой участок р. Ингулец	80
прот. Казак	устьевой участок р. Днепр	14
прот. Конка	устьевой участок р. Днепр	24
прот. Ингулька	устьевой участок р. Днепр	10
рук. Конка	дельта	25
рук. Кошевая	дельта	15,5
рук. Забич	дельта	3,5
рук. Ольховый Днепр	дельта	7,5
рук. Старый Днепр	дельта	9,3
рук. Рвач	дельта	10,5
рук. Бакай	дельта	14,5
Водоёмы (площадью ≥ 1 км^2)		
лим. Ингулецкий	устьевой участок р. Ингулец	2,2
оз.Фроловский Лиман	устьевой участок р.Днепр	1,5
оз. Казначейский Лиман	устьевой участок р.Днепр	1,5

Продолжение табл.1.1

лим. Збурьвский Кут	дельта	14,0
лим.(зал.) Глаголь	дельта	5,0
оз. Красниковое	дельта	2,0
оз. Белое	дельта	5,3
оз. Кардашинский Лиман	дельта	4,7
лим. Маяцкий	дельта	1,0
оз. Круглое	дельта	1,2
оз. Голубов Лиман	дельта	1,6
оз. Погорелое 1-ое	дельта	2,2
оз. Погорелое 2-ое	дельта	1,9
оз. Безмен	дельта	2,3
оз. Дедово	дельта	1,0
оз. Бублица	дельта	1,1
оз. Глухой лиман	дельта	2,0
оз. Стеблиевский Лиман	дельта	3,8
оз. Нижне-Солонецкое	дельта	1,1
оз. Верхне-Солонецкое	дельта	1,2
оз. Засуха	Кинбурнская коса	2,1
оз. Высокое	Кинбурнская коса	1,7
оз. Пивнив	левобережье Днепровского лимана	1,5
оз. Оджиголь	левобережье Днепровского лимана	3,4
оз. Рыбальчанское	левобережье Днепровского лимана	1,1
оз. Солонец (с.Софиевка)	правобережье Днепровского лимана	1,8
оз. Солонец (с.Александровка)	правобережье Днепровского лимана	1,0
лим. Березанский	открытая часть устьевого взморья	60,0
лим. Днепровско-Бугский	устьевое взморье	800

Бугский лиман простирается между условными границами – от створа у м. Сакен и до Варваровского моста, перекрывающего лиман в районе полуострова, на котором расположен г. Николаев (рис.

1.19). В этих пределах площадь Днепровско-Бугского лимана составляет около 800 км^2, объём 3,3 км^3 (по разным данным – от 3,0 до 4,5 км^3).

Длина Днепровско-Бугского лимана от НГД до Кинбурнского пролива 63 км, наибольшая ширина 15 км, наименьшая (в Кинбурнском проливе) 3,8 км. Бугский лиман в указанных границах простирается на 30 км, его ширина изменяется от 2 км в районе г. Николаев до 6 км в районе м. Сакен.

По гидрологическим, геоморфологическим и гидрохимическим условиям Днепровско-Бугский лиман разделен на 4 части: Бугскую (3б, в указанных на рис.1.3 условных границах, объём 0,3 км^3), Восточную (3а$_1$, от НГД до с. Станислав, объём 0,6 км^3), Центральную (3а$_2$, между с. Станислав, кос. Аджигольская и м. Сакен, объём 1,5 км^3) и Западную (3а$_3$, от Аджигиольской косы до Кинбурнского пролива, объём 0,9 км^3). Средняя глубина лимана 4,5 м, в прорези судоходного канала 10 – 12 м, в Кинбурнском проливе – до 22 м. Бугский лиман встречными мысами и косами также разделён на отдельные районы (3б$_1$ – 3б$_3$, рис. 1.3).

К открытой части устьевого взморья рек Днепр и Юж. Буг примыкает лиманный комплекс – Березанский лиман (включающий Бекушский и Сосицкий лиманы) с впадающими в него реками Березань и Сосик (Сасык). Этот водоём связан с устьевым взморьем проливом (шириной 0,4 км) и судоходным каналом (шириной около 0,1 км), имеет с прилегающей частью взморья водообмен, ранее впадал в Днепровский лиман (разд. 1.6), поэтому относится к гидрографической сети рассматриваемого морского устья. Площадь лимана около 60 км^2, длина – 22 км, ширина 1,5 – 3 км, средняя глубина 3,3 м, максимальная – около 15 м, объём воды 0,21 км^3.

По гидролого-гидрохимическим и геоморфологическим особенностям Березанский лиман можно разделить на 5 частей: северную, центральную, южную, бейкушскую и сосицкую. Во многом Березанский лиман является уменьшенной копией Днепровско-Бугского лимана.

Морские, открытые части устьевых взморьев рек Днепр, Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Березань и Сосик – общие. Площадь открытой части устьевого взморья приблизительно 1000 км^2.

Таким образом, общая площадь морского устья рек Днепр и Юж. Буг составляет около 5000 км^2.

Водоёмы и водотоки побережья. Гидрографическая сеть морского устья включает не только водоёмы и водотоки речных систем, но и водные объекты побережья устьевого взморья. Например, сюда относятся лиманы Глаголь и Збурьевский Кут, более мелкие, в основном солёные водоёмы (оз. Солонец, лим. Солонец, озёра Рыбальчанское, Оджиголь, Пивнив, Высокое, Засуха, Чёрное, Лысухино, Чирнино и др.) и водотоки (руч. Солонец и балки). В междуречье р. Ингул и р. Ингулец всё левобережье Бугского и северный берег Днепровского лиманов покрыты сетью оросительных каналов – это Ингулецкая оросительная система. Наибольшее количество мелких солёных озёр расположено на Кинбурнской косе (около 200), здесь же имеются, как и в дельте р.Днепр, плавневые участки. Много озёр и прудов встречается и в Нижне-Днепровских песках (около 120).



Рис.1.22. Озеро на Кинбурнской косе

Минерализация озёр различная, поэтому есть пресные, солоноватые и солёные озёра. Некоторые озёра имеют постоянную или периодическую связь с рекой, лиманом, морем. Питание озёр осуществляется как из одного источника (подземные воды, река, лиман, осадки), так и нескольких (смешанное питание). Озёра имеют свою постоянную или временную гидрографическую сеть, как естественную, так и искусственную.

1.5. Хозяйственное освоение

Многоотраслевое хозяйствование в рассматриваемом регионе и бассейнах устьеобразующих рек зависит от состояния и режима водных объектов и оказывает существенное влияние на гидрометеорологический режим, качество воды и водные ресурсы.

В структуре экономики основную роль играет сельское хозяйство, энергетика, промышленность, судоходство, рыболовство, добыча полезных ископаемых.

В устьевом регионе проживает около 1,2 млн. чел. (приблизительно 4 % от всего населения бассейнов указанных рек), а в среднем на 1 км^2 устьевой области реки приходится около 200 человек (т.е. плотность населения здесь почти в 4 раза больше средней плотности населения бассейнов устьеобразующих рек). Более 76 % жителей сосредоточено в 7 городах (в основном в Николаеве, Херсоне и Очакове). Причём, города Николаев (507 тыс. чел.) и Херсон (312 тыс. чел.) являются областными центрами с полифункциональным типом хозяйствования. Именно здесь наибольшая плотность населения (до 2000 чел./км^2) и доля промышленной специализации больше, чем в других населённых пунктах (рис. 1.23). Только в г. Николаеве около 60 крупных промышленных предприятий. Очаков имеет локальное промышленно-транспортное значение. В последние 20 лет отмечаются тенденции сокращения сельского населения и его миграция в города. Среднее годовое сокращение численности населения, в общем, составляет около 220 тыс. чел. [23].

В городах промышленность представлена машиностроением, металлургией, металлообработкой, производством пищевой и швейной продукции, есть судостроительные, целлюлозный, глинозёмный и стекольный заводы, терминалы, порты, тепло- и электростанции, нефтеперерабатывающее (закрыто в 2005 г.) и химические предприятия, хлопчатобумажный комбинат, около 60 тыс. частных предприятий различного профиля и множество автозаправок. В настоящее время отмечается спад производства в среднем на 67 % [23]. Экономические показатели в различных отраслях экономики быстро изменяются во времени, т.е. уровень хозяйственного освоения региона не стабилизировался. Ведущей отраслью ранее являлось судостроение, докостроение, судоремонт (г. Николаев, г. Херсон).

В настоящее время, в связи со структурными изменениями в экономике страны, роль судостроения и машиностроения существенно снизилась, по данным [6] почти в три раза. В машиностроении преобладает производство механического оборудования, запчастей, транспортных средств, электрооборудования, двигателей, дизель- и газогенераторов, аппаратуры и др. Доля сырьевых и энергоёмких производств возрастает. Литейное производство развито незначительно (г. Херсон), преобладает металлообработка. Цветная металлургия представлена производством алюминия (г. Николаев) и литьём цветных металлов (г. Херсон). Химическая промышленность включает изготовление пластмассы, бытовой химии, лакокрасочное и фармацевтическое производство. Производятся строительные материалы, стекло, посуда, картон, бумага, осуществляется деревообработка. Наметилась тенденция к увеличению доли энерго- и материалоёмких производств, что отрицательно влияет на качество окружающей природной среды.



Рис.1.23. Города Николаев и Херсон

Кроме указанных отраслей экономики развита полиграфия, легкая (прядильная, швейная, текстильная) и пищевая промышленность (производство алкоголя, молока, мяса и мясопродуктов, растительных и животных масел, крупы, крахмала, муки, хлебо-булочных и кондитерских изделий, рыбной продукции). Развита переработка сельскохозяйственной продукции (фруктов, овощей и пр.).

На базе имеющихся месторождений сырья (разд. 1.2) производятся стройматериалы, развито производство бетонных и железобетонных конструкций, бетонных смесей, глиняных кирпичей и бло-

ков (г. Николаев, г. Херсон), цемента (пгт Ольшанское), извести (пос. Сливино) и др. строительных изделий. Стекольное производство развито в г. Херсоне и г. Николаеве.

Целлюлозно-бумажная промышленность также сосредоточена в городах Николаеве и Херсоне (Херсонский ЦБК в настоящее время не функционирует), здесь производятся изделия из картона и бумаги. Уровень развития целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности (лесопильное и стругальное производство) очень низкий. Производятся деревянные строительные конструкции и столярные изделия, осуществляется сборка мебели.

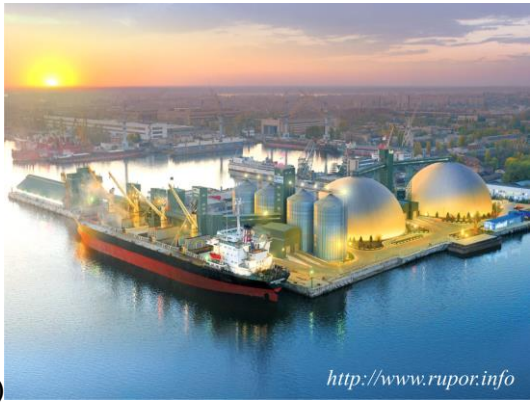
Топливно-энергетический комплекс включает Николаевскую и Херсонскую ТЭЦ, Каховскую ГЭС.

Указанные отрасли экономики являются основными промышленными потребителями водных ресурсов.

В населённых пунктах сельского типа главной отраслью экономики является сельское хозяйство, садоводство, овощеводство, животноводство [23]. По общеэкономическим причинам аграрный потенциал региона не реализуется в полной мере. Сельскохозяйственное производство деградирует, особенно животноводство. Посевные площади преимущественно заняты под пашню [6]. Основная специализация аграрного комплекса – зерновые, виноградарство, овощеводство, плодоводство, мясо-молочное скотоводство, свиноводство, птицеводство, местами овцеводство. Доля технических культур в последние 20 лет увеличилась почти в 2, а кормовых – уменьшилась почти в 3 раза. То есть произошли структурные изменения посевных площадей [6]. Сократились посевные площади под пшеницей и рожью и увеличились под кукурузой, ячменём, подсолнечником. Наибольшая распаханность земель характерна для междуречья рек Днепр и Юж. Буг, где развито высокоинтенсивное земледелие, выращивание плодов, овощей. Повсеместно преобладают технические культуры.

Важной отраслью экономики рассматриваемого региона является водный транспорт (рис. 1.24). Через морские и речные порты городов Николаев, Херсон и Очаков осуществляются международные грузоперевозки по судоходному каналу, обеспечивающему проход судов класса «река – море». Особенно значительный портовый

а)



б)



в)



Рис.1.24. Порты в Николаеве (а), Херсоне (б) и Очакове (в)

комплекс расположен в г. Николаеве. Здесь имеется один речной и три морских порта, способных круглогодично осуществлять переработку грузов. Город Херсон также является речным и морским портом.

После распада СССР объём перевозок по Нижнему Днепру и р. Юж. Буг сократился в 10 раз, в 2004 – 2006 гг. количество шлюзующихся судов на участке г. Херсон – г. Днепропетровск в среднем составило 8000 – 9000 судов, перевалка грузов Николаевским морским портом в последние годы не превышала 400 – 500 судов в год [23]. В структуре грузоперевозок преобладает вывоз сырья и изделий его первичной переработки, зерна, подсолнечника и удобрений.

Высокая биопродуктивность морского устья, особенно Днепровско-Бугского лимана и водоёмов в дельте, обусловила развитие рыболовства. Промысловое значение здесь имеет рыбец и сом обыкновенные, а на устьевом участке р.Юж. Буг и в лимане – лещ и судак. Встречаются редкие рыбы [6]: вырезуб, угорь речной, лосось черноморский, шемая. Разводят осетра. Однако по исследованиям, приведенным в [23] и др., после сооружения каскада водохранилищ на реках Днепр и Юж. Буг эти рыбы исчезли из состава ихтиофауны и занесены в Красную книгу Украины. Ранее улов рыбы в морском устье составлял 30 % улова всех водоёмов Украины. В настоящее время отрасль пришла в упадок, в то же время значительно возросли масштабы браконьерства (по данным инспекций рыбнадзора объёмы браконьерского лова в настоящее время сопоставимы с объёмами промышленного лова). В последние несколько лет уловы начали существенно возрастать, однако, участились заморные явления из-за ухудшения качества воды [23, 24]. Водоёмы на устьевом участке р. Днепр и в дельте являются основными местами разведения, нерестилищ ценных пород рыб (осетра, рыбца, судака, сазана и др.), поэтому подлежат особой заботе и защите от истощения и загрязнения.

Развивается рекреационно-туристическая отрасль, на базе имеющихся курортов, яхтклубов, санаториев и естественных рекреационных ресурсов (лесные массивы, живописные ландшафты, пляжи, источники лечебных грязей и минеральных вод). В устьевой области р. Днепр расположены заповедники, заказники, парки общегосударственного и местного значения: на Кинбурнской косе – Черноморский биосферный заповедник («Воложин Лес»), региональный ланд-

шафтный парк «Кинбурнская коса». В дельте р. Днепр и на Кинбурнской косе охраняются водно-болотные угодья международного значения, например, «Бакайский», «Бакайский Желоб», «Ингулец», «Лиман Ингулецкий», «Березовские колки» и др. На побережье Днепровско-Бугского лимана расположены: историко-археологический заповедник «Ольвия», ландшафтные заказники. В левобережье р. Днепр кроме ландшафтных заказников имеются лесные заказники, а в г.Николаев – зоологический парк. Города Очаков и Голая Пристань являются известными в Украине рекреационными центрами. По курортологическим факторам район г. Очакова относится к приморско-климатическому типу, а в г. Голая Пристань развиты грязелечение и бальнеология [6]. Преобладают базы и дома отдыха, значительно меньше санаториев-профилакториев и лечебных санаториев. Озёра устьевого региона также имеют важное рыбохозяйственное и рекреационное значение. Они богаты минеральными веществами, сапропелем. Их воды используются в лечебных целях (оз. Соляное), для добычи соли (озёра Кинбурнской косы).

Общая антропогенная нагрузка оценена в [6]. Наименьшее хозяйственное освоение акваторий и территорий характерно для Очаково-Алёшкинского природно-антропогенного комплекса устьевого региона, наибольшее (в 6 раз выше) – для Херсонско-Николаевского района Днепро-Ингулецкого и Южнобугско-Ингульского природно-антропогенных комплексов (рис.1.15).

В различной степени все отрасли экономики связаны с использованием водных ресурсов. Для их рационального использования сток рек зарегулирован водохранилищами и прудами, что позволяет обеспечить более равномерное водопотребление внутри суток, в течение недели и сезона, гарантировать судоходство.

Для обеспечения развития энергетики, сельского хозяйства, транспорта, стабилизации водоснабжения промышленности и населения, защиты населённых пунктов и земель от затопления в бассейнах рек Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец осуществлены масштабные водохозяйственные мероприятия.

Водохозяйственный комплекс региона включает водохранилища и пруды, с помощью которых осуществляется перераспределение стока воды во времени, и разветвлённую сеть каналов и водоводов, различного назначения, по которым сток воды распределяется в про-

странстве и перебрасывается на значительные расстояния.

Представление о масштабах водохозяйственных мероприятий в бассейнах рек Днепр и Юж. Буг даёт табл. 1.2 по данным [25].

Таблица 1.2.

Искусственные водоёмы в бассейнах рек

Бассейн реки	Пруды			Водохранилища			
	количество	площадь водной поверхности, км^2	объём, млн. м^3	количество	площадь водной поверхности, км^2	объём, млн. м^3	
						полный	полезный
Днепр	1328	1210	1841	564	7760	46179	20264
Юж.Буг	6929	457	609	197	307	855	626

Преобразование естественного стока р. Днепр для его рационального использования и улучшения судоходства осуществлялось с 1933 по 1976 г. За этот период на реке построен каскад из 6 водохранилищ (Днепровское, Днепродзержинское, Каховское, Киевское, Кременчугское, Каневское), полный объём которых составляет 43,7 км^3, что на 1,3 км^3 (3 %) больше нормы стока р. Днепр в замыкающем створе (у Каховской ГЭС). Каскадом регулируется в среднем 17 – 18 км^3 речной воды, причём, основную регулирующую функцию выполняет Кременчугское водохранилище, введённое в строй в 1961 г., так как построенное позже остальных Каневское водохранилище (1976 г.) играет несущественную регулирующую роль, с его помощью осуществляется лишь суточное и недельное регулирование стока [26].

По данным Минводхоза Украины в бассейне сооружено 6 крупных каналов и 5 водоводов для переброски стока р. Днепр. Годовой водозабор из Каховского водохранилища составляет в среднем около 20 % его объёма. Днепровская вода поступает в Главный Каховский канал (расстояние от устья 106 км, производительность насосов 530 м^3/с, протяжённость 130 км, площадь орошения 784 тыс. га), канал «Днепр-Кривой Рог» (водозабор около 20 м^3/с, длина 42,2 км) и самотёком подаётся в Северо-Крымский канал (расстояние от устья 100 км, пропускная способность около 340 м^3/с, средний годовой расход 80 м^3/с, общая длина канала более 400 км, площадь орошения около

400 тыс.га, обводнения – 600 тыс. га). Из Главного Каховского канала вода распределяется в Серогозскую оросительную систему, а из Северо-Крымского канала осуществляется водозабор в Краснознаменскую и другие оросительные системы. Крупными потребителями водных ресурсов водохранилища являются также Северорогачинская, Верхнетарасовская и Никопольская оросительные системы и Запорожская ГРЭС.

Ежегодные потери воды из Каховского водохранилища на испарение в среднем составляют около 9 % его объёма, около 1% воды фильтруется, среднегодовые потери объёма из-за заиления ложа составляют 0,14 % [27]. Таким образом, полезный объём последнего водохранилища днепровского каскада для регулирования стока практически не используется, в основном осуществляются санитарные попуски.

Работа днепровского каскада к 70-м годам прошлого столетия практически стабилизировалась.

На р. Юж. Буг в настоящее время эксплуатируется 16 небольших водохранилищ с краткосрочным регулированием стока и гидроузлами (наиболее крупные – Ладыжинское, Щедровское, Александровское, Гайворонское и Глыбочекское). В бассейне реки – множество прудов (табл. 1.2). Из многочисленных ГЭС на р.Юж.Буг сейчас функционирует 7 гидроузлов: Новоконстантиновская, Сабаровская, Сутисская, Ладыжинская, Глыбочицкая, Первомайская, Александровская и несколько малых ГЭС. Южнобугские водохранилища вводились в эксплуатацию с 1927 г. по настоящее время. Часть из них была разрушена, а затем реконструирована (табл.1.3), некоторые водохранилища утратили своё значение (Тывровское, Мигейское, Вознесенское). Наибольшее их количество сооружалось в 50 – 60-е годы прошлого века.

В бассейне р. Юж. Буг расположена Южноукраинская АЭС с прудом-охладителем (Ташлыкским водохранилищем), водозабор осуществляется из р. Юж. Буг, достраиваются Ташлыкская и Константиновская гидроаккумулятивные электростанции. В 2005 г. с 20 мая осуществлялось заполнение Ташлыкского водохранилища. Уровень воды в Александровском водохранилище, входящем в Южноукраинский энергетический комплекс, постоянно увеличивается, в

настоящее время НПУ составляет 14,7 м, а в будущем его планируют поднять до 16 – 16,9 м.

Из р. Юж. Буг, в 50 км от устья (у с. Ковалёвка) осуществляется водоотбор для Южнобугской, Каменской, Петровской и Екатериновской оросительных систем (17,5 тыс. га) и наполнения Каменского и Екатериновского водохранилищ. В 54 км от устья р. Юж. Буг (в районе г. Новая Одесса) производится водозабор для Ново-Одесской оросительной системы (4,1 тыс. га). Благодаря указанному комплексу оросительных систем в регионе осуществляется поливное земледелие, в среднем за год для нужд агрофирм используется 0,71 км^3 речной воды.

Водохранилища и пруды есть и на притоках р. Юж. Буг.

Крупнейшим водохранилищем на р. Ингул является Софиевское водохранилище. Плотины сооружены также в районе г. Кировограда, с. Ингуло-Каменки, с. Лавровки, имеется 770 прудов, оросительная система и др. гидротехнические сооружения.

Наиболее крупным и уникальным гидротехническим сооружением сельскохозяйственного назначения является Ингулецкая обводнительно-оросительная система (по проекту института «Укргипроводхоз»), площадью обводнения и орошения 238 тыс. га. От неё ответвляется Явкинская оросительная система (2,1 тыс.га), протяжённостью 25,8 км. Водоотбор днепровской воды для этой системы осуществляется из р. Ингулец по самотёчному тракту, длиною 83 км (от устья р. Ингулец). Протяжённость канала 53,5 км, пропускная способность 34 м^3/с, что обеспечивает подачу воды в Октябрьское водохранилище (г. Николаев), в Спасскую оросительную систему (8,1 тыс. га) и на участки органического орошения (4 тыс. га). Днепровская вода по каналу «Днепр – Ингулец» (протяжённостью 150 км) подаётся в верховья р. Ингулец для орошения земель, водообеспечения Кировоградского и Криворожского промышленных районов, восполнения водных ресурсов реки и питания Александрийского, Искровского и Карачуновского водохранилищ.

Сведения об основных водохранилищах на реках Днепр, Юж.Буг, Ингул и Ингулец представлены в табл. 1.3, составленной по данным Бассейнового управления водными ресурсами р. Юж. Буг, Николаевского регионального Управления водных ресурсов, Николаевского управления мелиорации и водного хозяйства, а также

по литературным источникам [10, 11, 26 – 28]. Есть водохранилища и на р. Березань. В последние годы наполнение ряда водохранилищ осуществляется только на 15 – 85 %.

По данным Минводхоза в 1975 – 1985 гг. средний суммарный водозабор в морском устье рек составлял 1,35 км^3/год, а сбросы – 0,25 км^3/год. Потребление водных ресурсов различными отраслями экономики в устьевом регионе за последние 20 лет в среднем уменьшилось в 2 – 3 раза. Отмечается общая для Украины тенденция сокращения водоотбора промышленными и сельскохозяйственными предприятиями. Экономии воды в процессе бытового водопотребления способствовало установление водомеров и повышение тарифов на водопотребление. На устьевом участке р. Днепр и в пределах дельты реки осуществляется водозабор, объём которого в среднем около 0,11 км^3/год. Водозабор из р. Ингулец – порядка 0,2 км^3/год, в устье р. Юж. Буг и р. Ингул – 0,3 км^3/год. Почти 80 % водоотбора составляют безвозвратные изъятия.

Таблица 1.3

Гидроморфометрические характеристики основных водохранилищ

Название, год ввода в эксплуатацию	Расстояние от устья, км	Площадь водного зеркала при НПУ, км^2	Полный объём воды, млн.м^3	Длина по оси, км	Средняя глубина, м
река Днепр					
Киевское, 1966	898	922	3730	110	4,0
Каневское, 1976	732	581	2480	123	3,9
Кременчугское, 1961	550	2250	13520	149	6,0
Днепродзержинское, 1964	451	567	2460	114	4,3
Днепровское (Запорожское), 1934, 1947	326	410	3320	129	8,0
Каховское, 1956	93	2150	18180	230	8,5
река Южный Буг					
Марьяновское, 1958	773	1,38	2,51	73,0	1,8
Хмельницкое, 1956	755	0,80	2,80		3,5
Меджибожское, 1941, 1956	711	1,01	3,30	5,0	3,3
Щедровское, 1958	691	13,31	25,25	20,0	1,9
Новоконстантиновское, 1950	678	2,54	2,65	15,0	1,0

Продолжение табл. 1.3

Сандракское, 1961	643	1,68	1,30	3,5	1,0
Сабаровское, 1952	571	3,39	8,60	25,0	2,5
Сутисское, 1928, 1957	537	3,95	8,60	30,0	2,2
Брацлавское, 1951	458	1,10	3,30	6,0	3,0
Ладыжинское, 1964	400	21,8	150	45,0	6,9
Глыбочекское, 1960	372	3,32	10,7	12,5	3,2
Чернятинское, 1954	346	1,40	3,30		2,4
Гайворонское, 1964	316	4,96	11,3	29,5	2,3
Савранское, 1950	288	1,28	2,70	10,0	2,1
Первомайское, 1929, 1951	196	1,41	3,28	8,0	2,3
Александровское,*) 1927, 2004	135	10,3	58,33	17,2	5,7
река Ингул					
Кировоградское, 1929	321	2,60	4,2	13,0	1,6
Ингуло-Каменское, 1988	266	4,86	16,0		3,3
Ингульское, 1965	258	0,49	1,15		2,3
Софиевское, 1968	108	4,70	36,0	17,2	7,7
Петровское, 2001		0,85	2,12		2,5
река Ингулец					
Диковское	–	1,94	3,6	–	–
Ингулецкое	–	3,63	6,9	–	–
Искровское	–	11,0	40,7	–	–
Карачуновское	–	44,3	309	–	–
Октябрьское**), 1958, 1966	–	4,25	31,0	4,2	7,3

*Примечание: *) – данные по Александровскому водохранилищу приведены при НПУ = 14,7 м; **) – по сведениям Николаевского управления мелиорации и водного хозяйства Октябрьское водохранилище находится в стадии реконструкции (в 2007-2009 гг. не заполнялось).*

Сброс хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод осуществляется в основном в Бугский лиман и в устьевые водотоки р. Днепр (включая р. Ингулец). Величины сбросов сточных вод уменьшились, однако, неочищенных и недостаточно очищенных вод сбрасывается больше, их доля в общем объёме стоков увеличилась в 2 – 3 раза. Например, в Бугский лиман с насосных станций г. Николаева в среднем сбрасывалось 0,15 км^3/год, из них около 2 % неочищенных вод. В настоящее время сбрасывается 0,06 – 0,09 км^3/год, а доля неочищенных вод увеличилась до 3 – 13 %. Так, в 1993 г. было сброшено 15126 тыс. м^3 неочищенных и необеззараженных сточных

вод (12 % от общего годового объёма стоков), а в 1997 – 9658 км^3/год (13 % от сброса за год). Возможно, причиной увеличения сброса неочищенных стоков является несанкционированное подключение производственной и хозяйственно-бытовой канализации к ливневой, которая напрямую поступает в водные объекты рассматриваемого морского устья рек.

Водозаборы и сбросы воды в регионе неравномерны во времени, что обусловлено тенденциями в экономике. Например, только за 11 месяцев 2009 г. (по отношению к аналогичному периоду 2008 г.) по данным Госуправления статистики в г. Николаеве спад промышленного производства составил 16 %, в добывающей отрасли – 46 %, в лёгкой и пищевой промышленности – 32 % и 11 % соответственно, в машиностроении – 15 %, в производстве и распределении электроэнергии – 13%, в металлургическом производстве и производстве готовых металлических изделий – 8%. Производство стройматериалов сократилось на 44 %, а в остальных отраслях экономики ситуация нестабильная. Соответственно, потребление водных ресурсов сокращается, уменьшаются и сбросы использованных вод.

Искусственные водоёмы и водотоки, созданные во второй половине XX в. на месте засушливых степей, орошение земель и урбанизация, привели к уменьшению континентальности климата в рассматриваемом регионе [28], увеличилось испарение (за счёт испарения с водохранилищ и прудов), количество осадков и туманов. Сооружение водохранилищ, регулирование стока рек и его изъятия изменили режим и качество воды; годовой сток рек в устье уменьшился на 25 %, произошли изменения в его внутригодовом распределении, изменились характеристики ледового, температурного и гидрохимического режимов. Различия в уровне хозяйственной нагрузки на устьеобразующие реки и их бассейны обусловливает необходимость дифференциации обобщений режима для периодов с разным уровнем хозяйствования.

В данной работе критериями разграничения обобщаемых рядов основных гидрологических и гидрохимических характеристик на периоды служили изменения как природных, так и антропогенных факторов. Поэтому рассматривается только современный климатический период, в который стабилизировалось регулирование стока рассматриваемых рек, а именно – с 1961 г. по настоящее время.

1.6. Гидрометеорологическая изученность

В глубокой древности люди селились на берегах Днепровско-Бугского и Березанского лиманов, рек Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец, и их жизнь зависела от водного режима водотоков и водоёмов этого морского устья. Греками осваивались морские торговые пути в северном Причерноморье, цивилизовывалось побережье (VII – V вв. до н.э.). Известны поселения на берегах Березанского (Борисфен) и Бугского лиманов (Олбия или Ольвия, по некоторым источникам Борисфенес). Наиболее изученный античный город – порт Ольвия существовал в районе с. Парутино (рис. 1.25). Вдоль побережья Днепровско-Бугского лимана, преимущественно в его северо-западной и западной частях, на берегах Березанского лимана были рассредоточены древние поселения Ольвийского города-государства [6]. Следы таких поселений находят на о. Березань, Кинбурнской косе, в районе г. Очаков и др. местах.





Рис. 1.25. Древнегреческий город Ольвия и водомерный пост в с. Парутино

Составлялись первые карты-схемы и делались описания морского устья и водных путей. Реки Скифии впервые подробно и довольно точно описал Геродот [29], а позднее Страбон [30]. Геродот в своей «Истории» (V в. до н.э.) был настолько реалистичен, что по его сведениям неоднократно пытались реконструировать речные системы северного Причерноморья, идентифицируя их с современными реками.

Первая лоция была составлена географом Скилаксом (IV в. до н.э.), сведения о Кинбурнской косе приведены Страбоном в «Геогра-

фии» (I в. до н.э.), Плинием-старшим (I в. н.э. [31]) в «Естественной истории» и др. Описание Березанского лимана и открытого устьевого взморья оставил Дион Хрисостом (I в. н.э.), побывавший в Борисфене. Ранние описания морского устья и рек его образующих [29 – 31] в различной степени отличаются от современных [1, 32].

Учитывая палеоморфологические особенности морского устья рассматриваемых рек (разд. 1.1, рис. 1.2) можно предположить, что 2000 – 2500 лет назад, согласно гидротопонимам, указанным в работах [29, 30], с запада на восток устьевые части рек располагались следующим образом (рис. 1.26):

1) р. Истр – р.Дунай;

2) р. Тира – р.Днестр;

3) р. Гипанис – р.Березань и впадавшая в неё, до перехвата притоком реки Юж. Буг, р. Чичиклея (возможно, с верховьями р. Кодыма);

4) р. Борисфен – р. Юж. Буг (Бог) с притоком р. Синюха и, возможно, р. Днепр выше места впадения р. Рось;

5) р. Пантикапа – р. Ингул;

6) р. Гипакирис – р. Ингулец;

7) р. Герр – р. Днепр (ниже места впадения р. Псёл)

8) р. Танаис – р. Дон с притоком р. Северский Донец («Великий Дон»).

В древности наиболее изученными и наиболее освоенными были устья рек, так как реки являлись основными транспортными путями, в их устьях строили удобные порты, а из-за относительной суровости климата и других препятствий ранние колонисты, географы и историки могли проникнуть вглубь материка лишь на 100 – 300 км. Поэтому речные системы, особенно в среднем и верхнем течении оставались малоизученными.

Сложными для идентификации остаются и реки днепровского бассейна в его нижней части, что объясняется противоречивостью сведений, приводимых разными авторами. Например, у Страбона [30] р. Юж. Буг названа Борисфеном, а средневековые и более поздние авторы Борисфеном считали р. Днепр, что и укоренилось в дальнейшем.

Реконструкция длины хорошо изученной греками р. Гипанис (по описаниям Геродота, Витрувия Поллиона и др.) свидетельствует о том, что речь идёт о реке, размеры которой почти в три раза (9

дней плавания от истока до устья или около 300 км) меньше современной длины р. Юж. Буг (806 км) и близки к суммарной длине рек Чичиклея и Березань, которые до перехвата притоком реки Юж. Буг р. Чичиклеи [33] были единой рекой.

Остров Березань в античные времена, вероятно, имел связь с материком, Днепровско-Бугский лиман простирался западнее, а Березанский лиман – южнее современного, поэтому р. Гипанис (сейчас Березанский лиман) впадала в тот же лиман (у Диона Хрисостома и Геродота – заводь), что и р. Борисфен. Район Березанского лимана был плотно заселён греками и р. Гипанис ими была досконально исследована от истоков до устья, в отличии от р. Юж. Буг (Борисфен), по которому торговый путь шёл не к его истокам, а в центр Скифии, примерно по направлению г. Винница – г. Канев.

В пользу гипотезы о совпадении устьев современных и древних рек (известных по описанию Геродота) свидетельствуют следующие аргументы. Например, на некоторых древних картах Ольвия расположена на правом берегу р. Борисфен (р. Юж. Буг), а не р. Гипанис, как полагают многие исследователи; нижнее течение р. Юж. Буг, включая Бугский лиман, производит впечатление крупной реки, намного больше днепровских рукавов, которые представляли собой сложную гидрографическую сеть проток, озёр, болот и плавней на протяжении сотен километров от нижнего края современной дельты. Эти многочисленные переплетённые рукава р. Днепр («геррон» подревнегречески означает «плетёнка», «плетение», «переплетение»), с озёрами и старицами, заболоченные акватории от устья р. Ингулец, где тогда ещё преобладал озёрно-плавневый ландшафт без выраженных водотоков, более подходят под описание р. Герр [29].

Геоморфологические исследования в долине р. Юж. Буг свидетельствуют о том, что эта река 2 – 2,5 тыс. лет назад была значительно шире и многоводней современной. Так как уровень моря был ниже, водоносность рек больше, а лиман несколько уже и длиннее (рис. 1.26), вода Бугского и Днепровского лиманов была, очевидно, преснее, чем сейчас, когда её осолонению способствует низкий речной сток, повышение уровня моря и глубоководный судоходный канал, изменивший геоморфологию и гидрологию лимана.

Отсутствие у древних авторов идентификации Бугского лимана, как водного объекта, свидетельствует о том, что они, очевидно, место соединения Бугского и Днепровского лиманов принимали за

устье крупной реки – Борисфен. Бугский лиман и в более поздних географических и исторических источниках называли рекой Юж.Буг или Бог, полагая, что это могучая река.

В верхнем течении р. Борисфен и р. Гипанис были пресными, в нижнем – малопригодными для питья [29, 30], что характерно для р. Юж. Буг и рек Чичиклея – Березань и не свойственно р. Днепр. До сих пор минерализация воды р. Березань в 7 – 8 раз больше, чем р. Чичиклея. По сведениям Геродота в устье р. Борисфен в больших количествах «осаждалась соль», что и происходит на Кинбурнской косе (напротив впадения Бугского лимана в Днепровский, в районе с. Геройское, ранее называемого Прогной, где издревле добывали соль).

Река Пантикапа (в некоторых переводах «Рыбный Путь»), левый приток р. Борисфен, идентифицируется с р. Ингул. Вполне вероятно, что угорь, в изобилии водившийся в реках Скифии, напрямую мигрировал к морю по заливным пойменным лугам этой реки, минуя быстрое течение и каменистые участки днепровских порогов.

Река Гипакирис (р. Ингулец), описанная Геродотом и др. авторами, имела значительные размеры, также текла с севера на юг, впадала в море у Каркинитиды (по другим источникам Каркиниты или Каркины) и сливалась с р. Герр, что кажется малообъяснимым. Тем не менее, учитывая сложность гидрографической сети в месте впадения р. Ингулец в р. Днепр и вероятное наличие левого рукава р.Днепр, впадающего в Каркинитский залив (рис.1.2, 1.26), не исключено, что древние авторы принимали р. Ингулец и этот рукав за единый водоток, впадающий в море, называя его Гипакирис. При наличии обратных течений, подпора со стороны р.Днепр и лимана, отклонения течения реки вправо под действием силы Кориолиса (что обуславливало поступление днепровско-лиманских вод в Ингулецкий, Бугский и даже Березанский лиманы), установить какая река является основной, а какая – притоком было затруднительно и в более позднее время. По-видимому, р. Ингулец в древности действительно могла впадать в Каркинитский залив, а затем была перехвачена р.Днепр, проложившей своё русло в Днепровско-Бугский лиман (рис. 1.26).

По данным фундаментальных исследований Швеца Г.И. [34, 35] 2000 – 2500 лет назад отмечалась маловодная фаза основного многовекового цикла водности р. Днепр (с 1874 г. до н.э. по 722 г.н.э.), при

этом сток реки был больше современного на 5 – 7 км^3. Ниже г. Черкасс р. Днепр представляла собой комплекс водотоков и водоёмов (рис. 1.9), глубина рукавов составляла 0,8 – 1,0 м, уменьшаясь в межень до 0,5 м, а многочисленные пороги делали реку несудоходной. Дельта реки располагалась несколько выше современной, по приближённым расчётам – в районе впадения р. Ингулец (рис. 1.26).

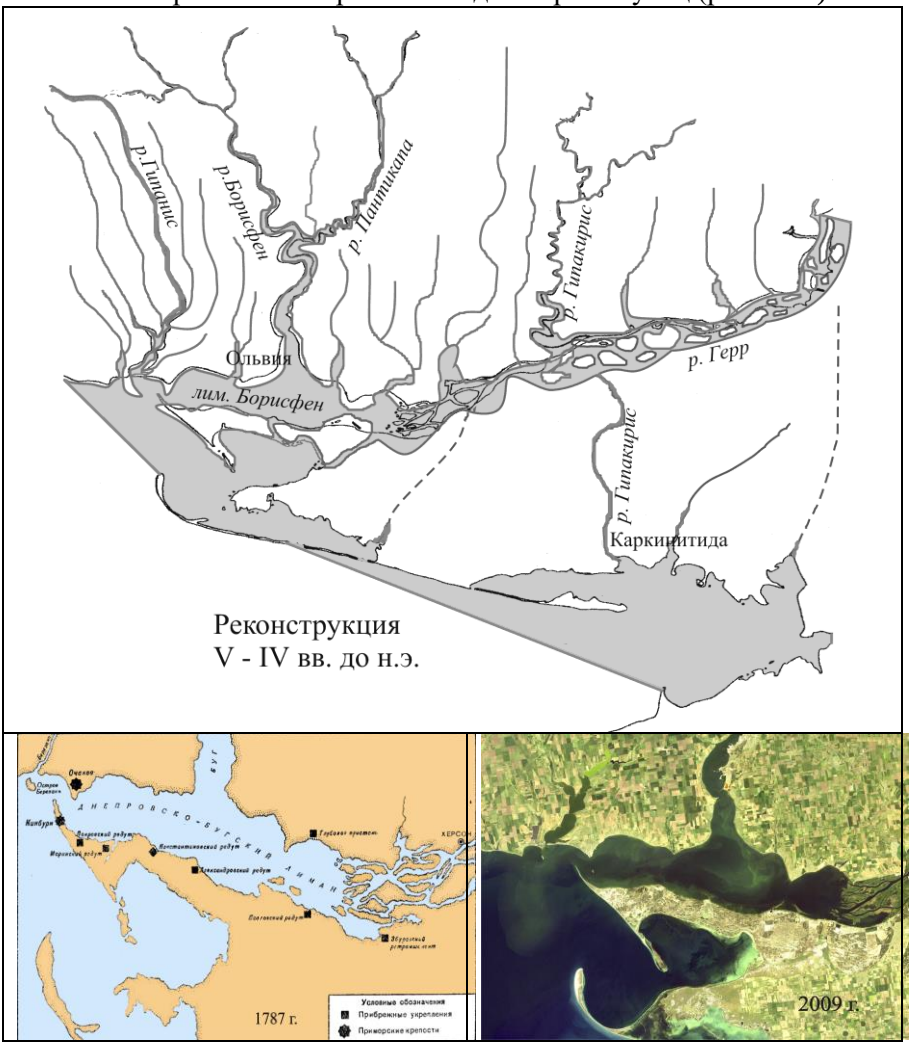


Рис. 1.26. Развитие знаний о морском устье рек Днепр и Юж. Буг

Впадала р. Днепр (р. Герр) в Днепровско-Бугский лиман не с севера (как р. Борисфен), а с востока, там же, где и сейчас. В связи с многорукавностью низовья р. Днепр, возможно, и получили название «гирла», «жерела», «герры», «герр» (созвучное «Днепр») [32].

Согласно древнегреческим источникам седьмая река – Герр вытекает из Борисфена, что объясняется следующим. Водный торговый путь из верхнего и среднего Днепра в г. Ольвию, очевидно, проходил с севера на юг, минуя труднопроходимые пороги и плавни нижнего Днепра (по притокам р. Юж. Буг или р. Ингул), поэтому «мощный северный поток» (Борисфен) отождествлялся у древних с р. Днепр выше г. Канев и р. Юж. Буг ниже г. Первомайск, а нижнее течение Днепра, сильно отличное от типичного для рек среднего и верхнего, получило название – р. Герр. Причём, это не означает, что р. Юж. Буг непременно являлась рукавом р. Днепр или их водные системы соединялись, так как нередко перевозки между речными системами осуществляли «волоком» по проходным долинам.

Таким образом, исторический и палеогидрологический анализ рассматриваемых рек показал, что 2 – 2,5 тыс. лет назад их общее морское устье уже имело близкие к современным черты, что подтверждается геологическими и геоморфологическими исследованиями ряда учёных.

Территория морского устья в I – II вв. н.э. входила в Римскую империю. В 1590 г. была издана карта Абрагама Ортелия «Pontus Euxinus», в которой объединены сведения Геродота, Клавдия Птолемея, Плиния, Страбона и др.

Наиболее ранние исследования на взморье р. Днепр и р. Юж. Буг выполнялись в 1771 – 1786 гг. («Атлас р. Днепр от вершины до Чёрного моря»), 1793 г. («Опись р. Буга от Николаева до устья»), 1803 г. («Опись р. Буг от Николаева до Ольвиополя – Парутино»), 1814 г. («от Херсона до Станислава»), 1818 г. («р. Ингул, устье») и были эпизодическими.

Первые промеры водных объектов в дельте р.Днепр и Днепровско-Бугском лимане начали производить с 1799 г. Начало гидрологических исследований в морском устье рек относится к концу XIX в.; они связаны с портостроительством и прокладкой судоходных трасс. Согласно карте гидрометеорологических станций Чёрного и Азовского морей за 1835 г. в городах Херсон и Николаев выполнялись гидрометеорологические работы. Наблюдения на метеостанци-

ях начаты с 1801 г. в городах Николаеве и Херсоне, с 1862 г. в г. Очакове. Первые сведения об экспедиционных гидрометеорологических наблюдениях в лимане относятся к 1924 г., более ранние работы – в основном гидрографические, например, «Лоція Чернаго и Азовскаго морей», 1892 г.

Первые обобщения и систематизация материалов наблюдений выполнялись Крендовским М.Е., Потоцким П.А., Лелявским Н.С., Максимовичем К.И., Антиховичем Г.И. и Левченко И.И., а более глубокие научные исследования были предприняты Маковым К.И., Соколовым М.А. и Самойловым И.В.

В СССР исследования морского устья рек Днепр и Юж. Буг значительно активизировались, увеличилось количество стационарных пунктов наблюдений и участились экспедиции.

Прогресс в исследовании устьев связан с организацией регулярных специальных гидрометеорологических наблюдений в 1959 г., проводимых Николаевской гидрометобсерваторией (Николаевским центром по гидрометеорологии) совместно с Севастопольским отделением Государственного океанографического института (ныне МО УкрНИГМИ). Большой вклад в развитие устьевых исследований морского устья рек Днепр и Юж. Буг внесли Гринько О.С., Марцофей П.А., Гринько Е.С., Сотникова А.Н. и др. (сотрудники НЦГМ), Симов В.Г., Альтман Э.Н., Слатинский Ю.Г. (СО ГОИН) и Костяницын М.Н. (ГОИН). Новые возможности в изучении морского устья открываются с развитием аэрокосмического направления исследований (рис. 1.26). Из рис. 1.26 видно, какие изменения произошли за 2000 – 2500 лет и как изменялись представления о морском устье рассматриваемых рек.

В разное время в устьевой области рек Днепр и Юж. Буг функционировало около 30 пунктов прибрежных наблюдений, при этом на маяках в основном наблюдали за ледовыми явлениями. В настоящее время наблюдения за уровнем, температурой воды и ледовыми явлениями производятся на 9 постах, на 7 из них – под руководством Николаевского ЦГМ (рис. 1.27). Сведения о действующих пунктах наблюдений представлены в табл. 1.4, а схема их расположения – на рис. 1.28.

Расход воды рек Днепр и Юж. Буг, поступающей в морское устье, учитывается по Каховской ГЭС (р. Днепр, 93 км от устья,

площадь водосбора 482 000 км^2) и в створе с. Александровка (р. Юж. Буг, 132 км от устья, площадь водосбора 46200 км^2).



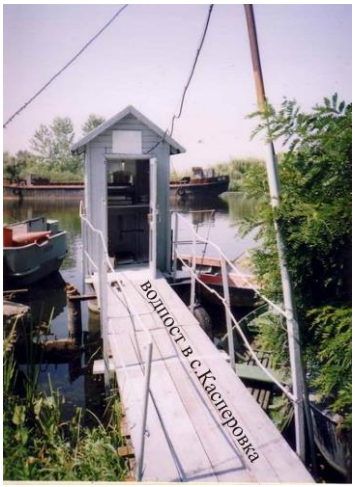








Рис. 1.27. Николаевский ЦГМ
и водомерные посты, оборудованные
самописцами уровня воды

Сток р. Ингулец на устьевом участке в настоящее время не учитывается (из-за отбора воды в Ингулецкую оросительную систему в бóльшую часть года), а ранее – измерялся в створе с. Могиловка (274 км от устья, площадь водосбора 9280 км^2). Расход воды на устьевом участке р. Ингул также не определяется, а сток реки при-

нимается по створу в с. Ново-Горожено или Новогорожено (118 км от устья, площадь водосбора 6670 км^2). При подсчёте суммарного стока рек в морское устье водоносность этих рек практически не учитывается из-за своей незначительности по сравнению с суммарным стоком рек Днепр и Юж. Буг.

Метеостанции в рассматриваемом регионе расположены равномерно (в городах Николаев, Херсон, Новая Каховка и Очаков) и проводят стандартные метеорологические наблюдения (температура воздуха, скорость ветра, облачность, давление, атмосферные явления и пр.).

В г. Очакове гидрометеорологические наблюдения производятся по программе морской станции, включающей ежедекадные рейдовые измерения температуры и солёности воды, а также скорости течения в Кинбурнском проливе.

Водомерные посты – Новая Каховка, Херсон, Касперовка, Очаков, Геройское и Николаев оборудованы самописцами уровня воды (СУВ), в остальных пунктах производятся двухсрочные наблюдения. Комплекс гидрологических наблюдений включает определение уровня, температуры и солёности воды (последний параметр не определяется в с. Станислав и с. Геройское), ледовых явлений. Определение мутности воды в настоящее время не производится, и этот недостаток данных снижает качество режимных обобщений.

Кроме стандартных стационарных наблюдений на прибрежных станциях и постах в глубоководной части устьевых рукавов р. Днепр, на устьевом участке р. Юж. Буг, в Днепровско-Бугском лимане и на его взморье производятся систематические (стандартные и «вековые») экспедиционные исследования гидрометеорологических и гидрохимических характеристик (рис.1.28).

Со времени организации устьевого подразделения в г. Николаеве (НЦГМ) совместно со специалистами МО УкрНИГМИ (СО ГОИН) проводились детальные исследования режима и качества воды глубоководной части морского устья рек Днепр и Юж. Буг на 64 станциях. Комплекс наблюдений включал определение метеорологических, гидрологических и гидрохимических характеристик, но в настоящее время из-за отсутствия средств объём работ значительно сокращён.

Кроме стандартных наблюдений производились тематические исследования проникновения солёной воды в морское устье рек, пе-

перераспределения стока в рукавах р. Днепр, водо-, соле- и теплообмена через Кинбурнский и Сакенский проливы, водообмена с пойменными водоёмами, влияния Днепровско-Бугского лимана на прилегающую часть Чёрного моря, динамики дельты и кос, температурного и ледового режимов лимана. Выполнялись специальные ледово-профильные, ледокольные и авианаблюдения (льда, течений, температуры и загрязнённости поверхностного слоя воды).

Таблица 1.4

Список действующих постов и гидрометрических створов (г/с) в морском устье рек Днепр и Юж. Буг в 2010 г.

№ поста, г/с по схеме (рис.1.28)	Название водного объекта	Местоположение поста или г/с	Расстояние, км от		Отметка нуля поста, м БС	Открыт	Тип
			вершины морского устья	нижнего края дельты			
1*	р. Днепр	Каховская ГЭС, г/с	0	93	–	01.01.1956	–
2*	р. Днепр	г. Новая Каховка	2,5	90,5	-5,00	01.12.1963	р-с, СУВ
3	р. Днепр, исток рук. Кошевая	г. Херсон	65	28	-5,00	13.10.1876	р, СУВ
4	р. Днепр, рук. Рвач	с. Касперовка	91	2	-5,00	01.01.1904-07.1941; 01.09.1948	р, СУВ
5*	р. Южный Буг	пгт Александровка, г/с	-73	132	-3,02	14.05.1923	р
6	р. Южный Буг	г. Николаев	54	0	-5,00	05.04.1916-07.1941; 19.04.1944	р, СУВ
7	лим. Бугский	с. Парутино	–	42	-5,00	01.10.1962	р
8	лим. Днепровский	с. Станислав	–	13,5	-5,00	04.08.1924	р
9	лим. Днепровский	с. Геройское	–	33	-5,00	02.06.1951	р, СУВ
10	лим. Днепровский	г. Очаков	–	61,5	-5,00	01.01.1874	р, СУВ

*Примечания: * – пункты наблюдений, не курируемые НЦГМ; р – реечный пост; р-с – реечно-свайный пост; СУВ – самописец уровня воды.*

Материалы наблюдений сети Гидрометеослужбы Украины обобщены в изданиях Государственного водного кадастра, который публиковался СО ГОИН (МО УкрНИГМИ) с 1976 г. по 1987 г. (ч.2 «Морские устья рек»). Ранее, до 1961 г., результаты измерений, наблюдений и обобщений помещались в «Морские гидрометеорологические ежегодники», а с 1961 г. по 1975 г. – в «Морские гидрометеорологические ежемесячники» и «Гидрологические ежегодники». В соответствии с Постановлением № 413 от 08.04.1996 г. Кабинета Министров Украины, в котором утвержден Порядок ведения ГВК и поставлена задача автоматизации его подготовки, в настоящее время результаты наблюдений систематизируются в МО УкрНИГМИ с помощью автоматизированной информационной системы ГВК (АИС ГВК) и предоставляются в электронной форме, как издание «Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек», ч.2, серии «Ежегодные данные» раздела «Поверхностные воды» публикуемой части Государственного водного кадастра.

Каждое издание ГВК, ч.2 «Морские устья рек», содержит сведения о гидрологическом режиме и качестве воды рассматриваемого морского устья. Однако макет ЕД ГВК, разработанный в 70-е годы прошлого века, в настоящее время устарел и требует усовершенствования [36].

Результаты спутниковых наблюдений о морском устье рек Днепр и Юж. Буг, накопленные в банке данных МГИ НАНУ с 1976 г., до настоящего времени не обобщались.

Данные о гидрохимическом режиме морских устьев рек Украины представлены в изданиях МО УкрНИГМИ: «Бюллетень о состоянии химического загрязнения морской воды на акватории, подлежащей контролю УкрУГМС», «Бюллетень состояния химического загрязнения Чёрного и Азовского морей» (с 1968 г. в виде таблиц первичных наблюдений); в обобщённом виде в различных Обзорах, Справках, Объединённых справках и Ежегодниках.

В настоящей работе использованы данные наблюдений сетевых подразделений Гидрометеослужбы Украины – Николаевского ЦГМ, Каховской ГМО, МГС Очаков, ГС Первомайск, ГС Херсон, а также МО УкрНИГМИ, Гидрографии ВМФ Украины им. Л.И.Митина, Николаевского управления мелиорации и водного хозяйства, МГИ НАНУ, ИНБЮМ, других учреждений, служб и ведомств.

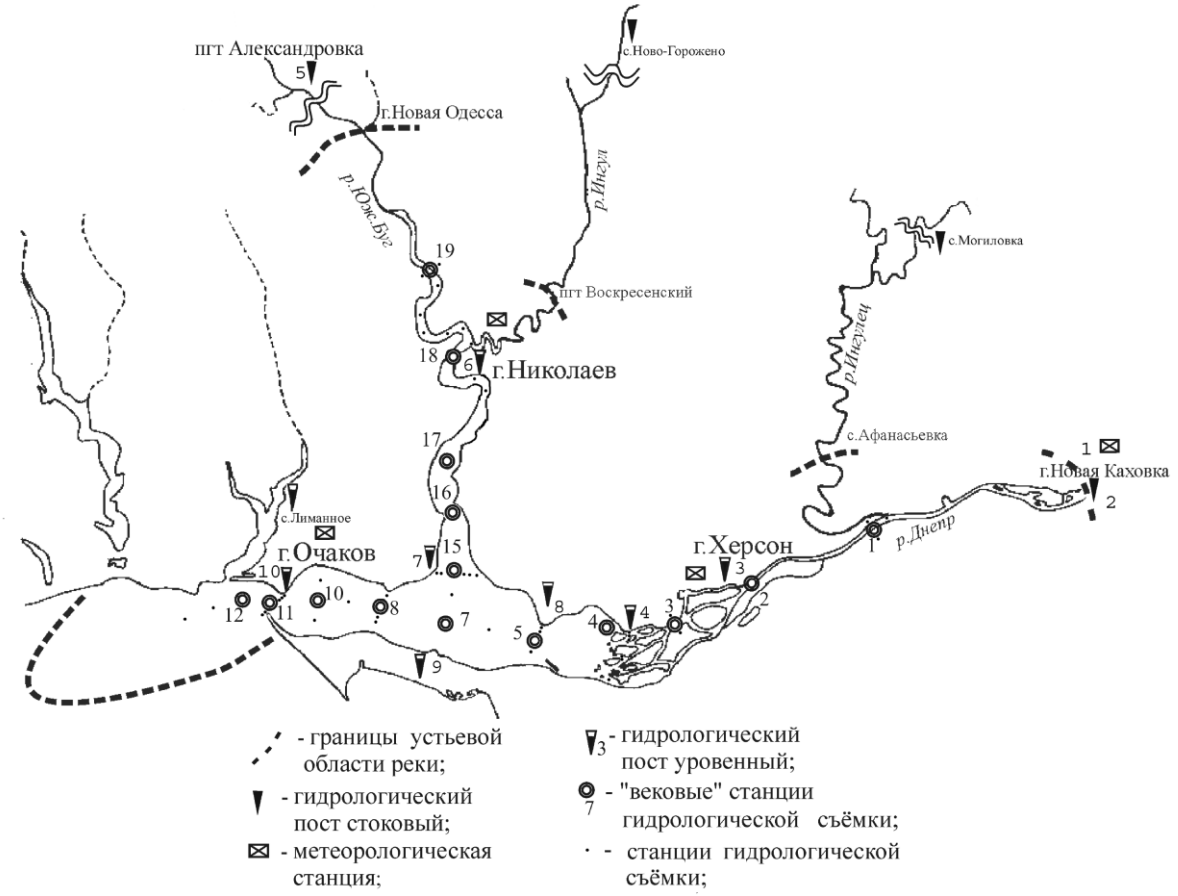


Рис. 1.28. Схема расположения пунктов гидрометеорологических наблюдений в морском устье рек Днепр и Юж. Буг

1.7. Климат

Крупномасштабное взаимодействие воздушной, водной, геологической сред и биосферы (макроклимат) в рассматриваемом устьевом регионе проявляется как местный климат (мезоклимат). Многокомпонентная структура морского устья рек способствует тому, что над неоднородной подстилающей поверхностью (водоёмы, плавни, холмы, пески, болота, города, леса и др. формы ландшафта, разд. 1.2) формируется собственный микроклимат, отличающийся от климата смежных частей устья. Метеорологические характеристики и атмосферные явления имеют в различных частях устья, кроме общих черт, характерные особенности пространственной и временной изменчивости. Они обусловлены географическим положением, орографией акватории и территории, близостью к морю и другим крупным водоёмам, различной степенью урбанизации и хозяйственной освоенности и пр. Поэтому климат устьевого взморья отличается от климата дельты или устьевых участков рек, а данные наблюдений, например, за температурой воздуха и ветром на метеостанциях, расположенных даже в одном и том же городе (например, в пределах городов Николаев и Херсон), не совпадают. Разнятся и данные наблюдений на метеоплощадках и водомерных постах, а метеонаблюдения, полученные во время экспедиций в открытых частях взморья, отличаются от данных береговых наблюдений за тот же период.

В системе основных общеклиматических классификаций рассматриваемое морское устье рек принадлежат к поясу умеренного бореального климата с выраженными сезонами года [28, 37 – 40]. Особенности атмосферной циркуляции в рассматриваемом районе позволили Алисову Б.П. и Мячковой Н.А. [41, 42] отнести климат региона к зоне умеренного пояса, с преобладанием воздушной массы умеренных широт, формирующейся под влиянием океанического и континентального воздуха. Согласно генетической классификации Алисова Б.П. морское устье рек Днепр и Юж. Буг расположено в атлантико-континентальной европейской области степного климата. По исследованиям климатологов Лабунской Л.С. и Соркиной А.И., наиболее полно отражающим климатические особенности устьевого взморья [43], Днепровско-Бугский лиман и прилегающая часть моря относятся к Северо-западному климатического району Чёрного мо-

ря. Согласно климатическому районированию, приведенному в [6], рассматриваемый устьевой регион расположен в Степной зоне, в Южной атлантико-континентальной климатической области, в двух климатических районах: южном (устьевые участки рек и северная часть Бугского лимана) и прибрежном морском (остальная часть морского устья).

Региональный климат формируется при взаимодействии трёх центров действия общей циркуляции атмосферы – Европейского минимума, тёплого Южно-Атлантического и холодного Сибирского максимумов, что обусловливает погодные условия двух типов: 1) под влиянием Южно-Атлантического максимума в устьевую область рек поступает морской воздух умеренных широт и устанавливается теплая погода с осадками или туманом; 2) при усилении Сибирского антициклона поступают холодные, полярные или арктические воздушные массы, приносящие похолодание.

Определённому типу синоптической циркуляции соответствует специфическое сочетание полей ветра и давления. Для всего климатического района в целом Чёрняковой А.П. [38, 43] выделены 7 основных типов атмосферной циркуляции и определены периоды их наибольшей повторяемости: северо-восточный тип (декабрь – февраль), восточный (октябрь – декабрь), южный и юго-западный (ноябрь – апрель), юго-восточный (сентябрь – апрель), западный (во все сезоны, наиболее часто в феврале и июне), северо-западный (во все сезоны), северный (январь – март, июль – август). Дополнительно выделен циклонический тип синоптических процессов, формирующийся при смещении циклонов (чаще средиземноморских) на центральную часть Чёрного моря, и тип малоградиентных барических полей со слабым ветром переменных направлений. Особенности атмосферной циркуляции и связанная с ними погода имеют хорошо выраженные сезонные различия.

Зимой, особенно в январе – феврале, когда усиливается влияние Сибирского антициклона, преобладает северо-восточный перенос арктического воздуха, что вызывает холодную погоду со штормовыми ветрами, понижение температуры воздуха. При вторжении морских циклонов отмечается южный перенос, температура воздуха повышается, выпадают осадки. Из-за быстрой смены типов атмосферной циркуляции зимой погодные условия неустойчивы: температура воздуха может опускаться до –30 ºС или повышаться до +17 ºС.

Весной погода также изменчива и обусловлена прохождением циклонов. Преобладающей воздушной массой является континентальный воздух умеренных широт, повторяемость холодных северо-восточных ветров уменьшается и увеличивается повторяемость выноса тропических воздушных масс, приносимых средиземноморскими циклонами, при прохождении которых отмечаются туманы.

Летом рассматриваемые районы находятся под влиянием теплого Южно-Атлантического антициклона, поэтому устанавливается устойчивая сухая, ясная погода. Антициклональный характер погоды иногда нарушается сильными непродолжительными ливнями, сопровождающимися грозами и шквалами. Хорошо выражена бризовая циркуляция. Преобладает тёплая воздушная масса, температура которой, в отличие от температуры зимнего периода, мало изменяется в пространстве и во времени.

В начале осени ещё сохраняется влияние Южно-Атлантического антициклона и превалирует тёплая погода с большим количеством ясных дней, но в её второй половине активизируется циклоническая деятельность атмосферы, увеличивается количество осадков и штормов. Повторяемость северо-восточного и северного переноса арктических масс воздуха увеличивается. Этот тип погоды характеризуется сильным похолоданием (иногда происходит понижение температуры воздуха до 10 – 15 ºС мороза). Вторжение южной воздушной массы осенью может повысить температуру воздуха до 30 ºС тепла.

В отдельные периоды происходит изменение географического положения центров действия атмосферы, интенсивности синоптических процессов. Если эти изменения устойчивы во времени – отмечаются изменения глобального климата.

Климатологи установили, что с начала XX в. до конца 40-х годов произошло первичное глобальное потепление климата, затем климатические условия стабилизировались, а с 60 – 70-х годов XX в. началось повышение температуры воздуха, увеличение количества осадков [28]. Глобальные изменения климата, в той или иной мере, коснулись и регионального климата рассматриваемого морского устья рек, но в меньшей степени, чем в более континентальных районах [28].

В зависимости от физико-географических особенностей, преобладающих факторов влияния на климат и орографии отдельных частей устья можно выделить три района с типичным мезоклиматом (рис. 1.29): I) Днепровский; II) Южнобугский; III) Лиманно-морской.

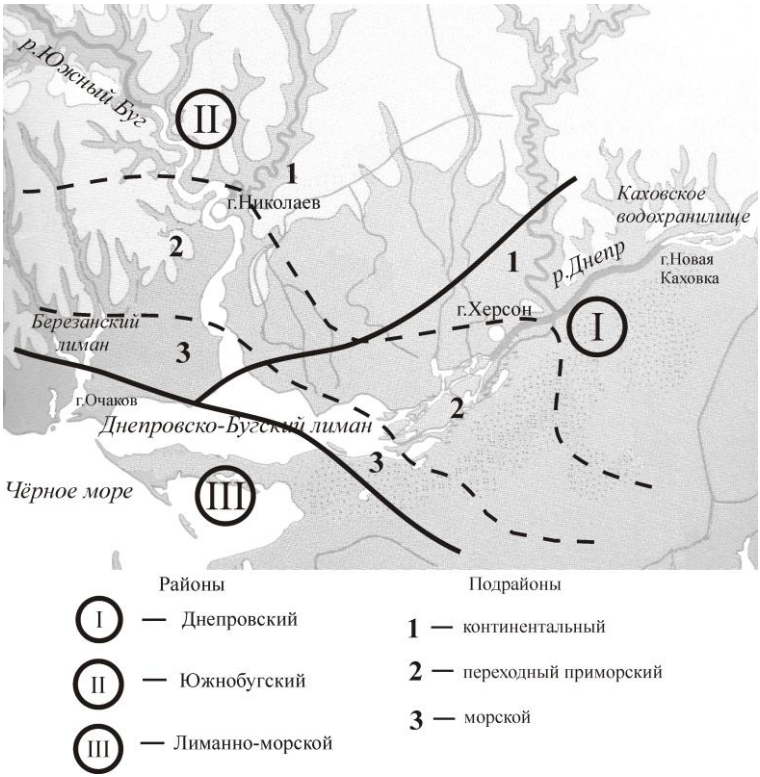


Рис. 1.29. Схема климатических районов морского устья рек Днепр и Юж. Буг, принятая в данной работе

Более детальный анализ климатических особенностей отдельных структурных компонентов морского устья подтверждает наличие, как минимум, трёх микроклиматических подрайонов: 1) континентальный (устьевые участки рек); 2) переходный приморский (дельта р.Днепр, восточная часть Днепровского лимана, северная и центральная части Бугского лимана); 3) морской (бóльшая часть

устьевого взморья). Кроме того, отмечается широтная зональность метеорологических характеристик – в северной части устья погодные условия более суровы, чем в южной.

Микроклимат дельты и взморья формируется под влиянием бризовой циркуляции. В зависимости от особенностей атмосферных процессов в тёплый период года морское влияние может распространяться на весь устьевой регион. При этом днём температура воздуха уменьшается, а ночью – увеличивается на 0,2 – 0,3 ºС. Климатическое влияние моря на температуру воздуха над открытой частью устьевого взморья ещё существенней – здесь она изменяется в пределах 3,0 – 3,5 ºС. Влияние моря также выражается в увеличении влажности воздуха, скорости ветра, понижении средней температуры воздуха теплого периода года и её повышении в осенне-зимний период [28, 37 – 38, 39 – 40, 44].

Влияние континентальной воздушной массы азиатского материка на микроклимат дельты и климат всего устьевого региона проявляется в увеличении температуры воздуха летом и её уменьшении зимой.

Климатические особенности в районе метеостанций обусловлены не только широтой места и близостью к морю или континенту, но также степенью открытости территории. Устьевой участок р. Юж. Буг (г. Николаев) тяготеет к континентальному микроклимату. На микроклимат устьевого участка р. Днепр (г. Новая Каховка) и дельту (г.Херсон) оказывает влияние Каховское водохранилище и Днепровский лиман. Днепровско-Бугский лиман находится в зоне влияния воздушных масс, поступающих вдоль речных долин Днепра, Юж. Буга и с моря, поэтому здесь формируется собственный лиманный микроклимат. Западная часть лимана (г. Очаков) и прилегающая северо-западная часть Чёрного моря имеет морской микроклимат.

Указанные факторы климатообразования учесть в полной мере сложно, поэтому климатическое районирование устья пока носит ориентировочный характер.

В рассматриваемом устьевом регионе средняя суммарная солнечная радиация составляет 4400 – 4700 МДж/м^2, годовые величины баланса коротковолновой радиации – 3600 – 3800 МДж/м^2, эффективное излучение – около 1600 – 1800 МДж/м^2, радиационный баланс активной поверхности – в пределах 1800 – 2100 МДж/м^2. Сред-

нее в году число дней: без солнца 65 – 75, пасмурных 110 – 120, ясных 40 – 50. Средние годовые значения продолжительности солнечного сияния – 2150 часов в году, атмосферного давления – около 1015 гПа, относительной влажности 60 – 67 %, суммарного испарения около 425 – 440 мм в год [6, 28, 45, 46], а с водной поверхности лимана 1000 – 1090 мм в год.

Для получения климатических обобщений использовались ряды наблюдений на метеостанциях городов Николаев, Херсон и Очаков за температурой воздуха, осадками, ветром и атмосферными явлениями в современный климатический период, т.е. с 1961 г. по 2009 г. При этом не вносились поправки из-за переноса пунктов метеонаблюдений, изменения закрытости горизонта в результате застройки прилегающей территории, замены оборудования и изменения сроков наблюдений. Поэтому приводимые метеорологические характеристики (особенно по метеостанциям в городах Николаеве и Очакове) являются приближёнными. Экстремальные значения этих характеристик выбирались за весь период наблюдений, с 1881 г. по 2009 г.

Температура воздуха. Данные наблюдений за температурой воздуха на метеостанциях региона обобщены в табл. 1.5 и характеризуют температурный режим трёх климатических районов (рис.1.29).

Средняя годовая температура воздуха изменяется в пределах 9,8 – 10,6 ºС (табл. 1.5), размах изменений (рис. 1.30) достигает 4 ºС, отклонение ежегодных значений от средней многолетней величины в основном находится в пределах ± 2 ºС. Среднее квадратическое отклонение (*СКО*) средней годовой температуры воздуха составляет 0,8 – 0,9 ºС (8 – 9 % от средней величины).

В морском устье рек Днепр и Юж. Буг средняя годовая температура воздуха не имеет значимых временных тенденций, как за весь период наблюдений, так и за современный климатический период (рис. 1.30).

В последние 25 – 30 лет в тёплый период года температура воздуха несколько уменьшилась, в холодный – увеличилась. Это, вероятно, связано как с глобальными изменениями климата планеты, так и с изменением местного климата из-за сооружения водохранилищ и прудов, осуществления орошения сельхозугодий, способствующих выравниванию сезонного хода температуры воздуха.

Максимальная средняя месячная температура воздуха достигала 27 ºС, минимальная – минус 13 ºС. Наибольшая изменчивость средней месячной температуры воздуха отмечается с декабря по март, *СКО* в декабре достигает 450 %, что обусловлено неустойчивостью синоптической ситуации. С июня по август погода наиболее устойчивая, *СКО* равно 7 %. Статистическая ошибка при расчёте средней месячной температуры воздуха составляет 0,6 ºС, при расчёте средней годовой – 0,1 ºС. Сезонный ход температуры воздуха показан на рис. 1.31.

Влияние Днепровско-Бугского лимана и Каховского водохранилища на температуру воздуха проявляется в уменьшении размаха годового хода этого метеорологического параметра.

Таблица 1.5.

Средняя многолетняя и экстремальная температура воздуха

Метеостанция	Характерная температура воздуха, ºС						
	средняя температура			абсолютное значение		размах температуры	
	за год	за январь	за июль	минимум	максимум	абсолютной	средней
Вознесенск*)	9,4	-3,9	22,4	-31	39	70	26
Николаев	9,8	-2,9	22,8	-30	40	70	26
Новая Каховка**)	10,1	-2,9	22,4	-30	39	69	25
Херсон	10,6	-2,1	23,5	-32	40	72	26
Новая Збурьевка*)	10,4	-2,5	23,4	-32	39	71	26
Очаков	10,0	-2,3	22,5	-29	40	69	25

*Примечание: *) – по материалам [37] **) – по данным наблюдений Каховской ГМО.*

Суточный ход температуры воздуха имеет один максимум (с 13 до 16 часов) и один минимум (с 4 до 8 часов). Время наступления экстремумов температуры воздуха зависит от сезона и близости к водоёму пункта наблюдений. Характерные особенности осреднённого за летний период суточного хода температуры воздуха в различных мезоклиматических районах иллюстрирует рис. 1.32. Очевидно, что воздушная масса, поступающая с морским бризом, спо-

собствует уменьшению температуры воздуха в дневные часы и её увеличению ночью, что особенно характерно для Лиманно-морского климатического района (рис. 1.29).

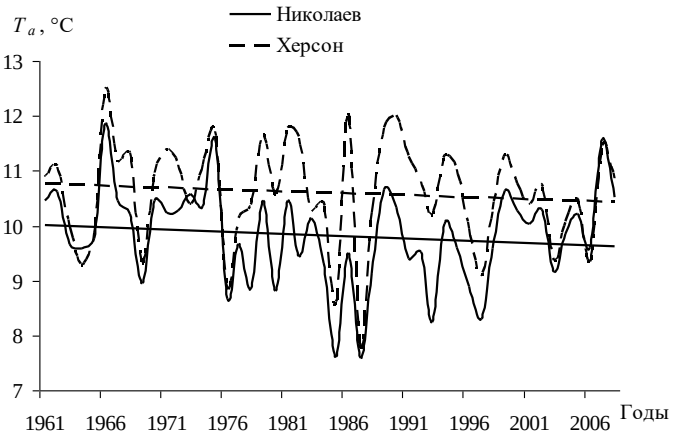


Рис. 1.30. Средняя годовая температура воздуха в г. Николаеве и г. Херсоне

Размах суточного хода температуры воздуха в г.Николаеве в различные месяцы показан на рис. 1.33, зимой он составляет 3 – 4 ºС, весной и осенью 5 – 6 ºС, а летом 7 – 8 ºС.

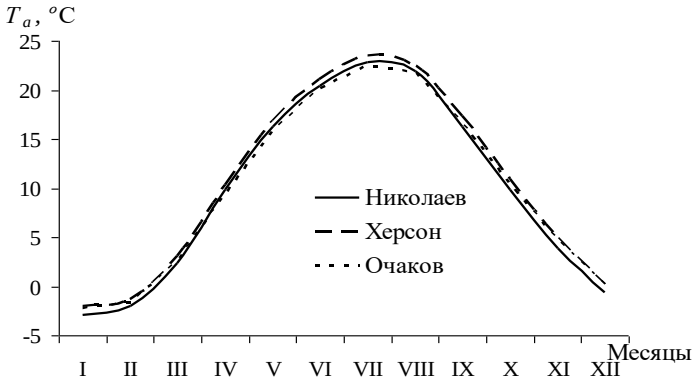


Рис. 1.31. Средний за многолетний период (1961 – 2009 гг.) сезонный ход температуры воздуха на метеостанциях устьевого региона

Аналогичные изменения суточного размаха температуры воздуха характерны и для других метеостанций. Однако в пунктах наблюдений, расположенных вблизи крупных водоёмов, график сглажен из-за бóльшего, чем в г. Николаеве, влияния моря, лимана, водохранилища.



Рис. 1.32. Осреднённый за 1961 – 2009 гг. суточный ход температуры воздуха летом в Южнобугском и Лиманно-морском районах

Сведения о зимнем режиме атмосферы в Южнобугском климатическом районе представлены в табл. 1.6. В это время года похолодания неустойчивы, часто сменяются оттепелями. На всех остальных станциях зимой воздушная масса имеет более высокую температуру, даты первого похолодания более поздние, а последнего – более ранние (в среднем даты отличаются на 5 – 7 дней), продолжительность безморозного периода больше, чем в г. Николаеве.

Таблица 1.6

Дата первого и последнего заморозков

Метеостанция	Дата последнего заморозка, год			Дата первого заморозка, год			Продолжительность безморозного периода, дни		
	средняя	ранняя	поздняя	средняя	ранняя	поздняя	средняя	наименьшая	наибольшая
Николаев	08.04	13.03 1983	01.05 1940	26.10	25.09 1902	01.12 1917	200	161 1902	233 1996

Среднее в устьевом регионе число дней в году с оттепелью составляет 55 – 65, с похолоданиями (когда температура воздуха ≤ -10 ºС) – 15 – 25 дней. В среднем за год бывает 1 день с минимальной температурой воздуха, равной -25,0 ºС и ниже. Средняя продолжительность безморозного периода около 190 – 205 дней. Среднее количество дней с морозом достигает 95 – 115, а жара (когда температура воздуха ≥ 30 ºС) бывает в течение 20 – 30 дней в году.

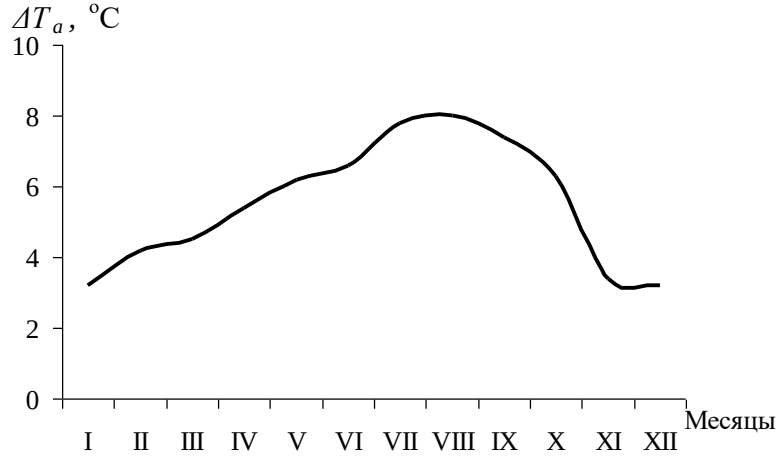


Рис. 1.33. Средний месячный размах суточного хода температуры воздуха (ΔT_a) в г. Николаеве

По данным наблюдений на метеорологических площадках температура на поверхности почвы изменяется в бóльших пределах, чем температура воздуха. Так, её средние значения в январе составляют -3 ºС, в июле – 26 – 28 ºС, абсолютный максимум температуры почвенной поверхности в устьевом регионе достигал 65 – 67 ºС, абсолютный минимум – минус 34 – 37 ºС.

Ветер. Наибольшее влияние ветер оказывает на устьевое взморье – Днепровско-Бугский лиман и прилегающую часть моря, где он обусловливает сгонно-нагонные явления и волнение.

Над устьевыми участками рек и дельтой р. Днепр средняя годовая скорость ветра примерно равна 4 м/с (г. Николаев, г. Херсон), над устьевым взморьем она увеличивается до 5 м/с (г. Очаков), а число дней со штилем уменьшается в 2 – 5 раз (в зависимости от се-

зона). Повторяемость штилей за год над устьевыми участками р. Днепр и р. Юж. Буг – 10 %, над лиманом и открытым устьевым взморьем – 2 – 3 %. Наибольшая повторяемость штиля характерна для июня – октября, во все сезоны года ночью она больше, чем днём.

На всех метеостанциях средняя годовая скорость ветра в период с 1961 г. по 2009 г. уменьшается. Это может быть связано как с климатическими изменениями, так и с переходом на 8-срочные наблюдения, обновлением приборов и оборудования для измерения направления и скорости ветра (заменой флюгеров анеморумбометрами), переносом метеонаблюдений в более континентальные районы (г. Николаев), потерей репрезентативности из-за увеличения степени защищённости метеоплощадок после застройки прилегающих территорий (г. Очаков).

Сведения о средней месячной скорости ветра представлены в табл. 1.7 и получены в результате обобщения материалов наблюдений НЦГМ.

Из табл. 1.7 видно, что средние многолетние значения скорости ветра над отдельными частями морского устья рек Днепр и Юж. Буг различаются. С декабря по март средняя скорость ветра изменяется в пределах 4,4 – 5,5 м/с, а в тёплый период года эти различия ещё существенней – от 3,0 до 5,2 м/с. Наибольшая средняя скорость ветра отмечается в феврале, наименьшая – в июле – октябре. В течение года наибольшую повторяемость имеют слабые и умеренные ветры, повторяемость сильных ветров (более 10 м/с) не превышает 10 %.

Над континентальными районами морского устья средняя месячная скорость ветра может отличаться от скорости ветра над приморскими районами на 1 – 1,6 м/с. Ещё бóльшие различия отмечаются при анализе срочных значений скорости ветра. Иногда местные ветра (обычно до 5 м/с) имеют неодинаковое направление, поэтому в одни и те же сроки на ближайших метеостанциях фиксируются их разные направления и скорости.

Суточная изменчивость скорости ветра наиболее значительна в тёплый период года. Обычно максимальная скорость ветра бывает в 14 – 16 часов, минимальная – в ночное время. Величина суточного размаха скорости ветра зависит от сезона года: летом он составляет 1 – 3 м/с, а зимой скорость ветра изменяется в пределах 0,5 – 1 м/с.

В тёплый период года отмечается бризовая циркуляция: днём (с 9 – 10 часов примерно до полудня) ветер дует с моря (морской бриз),

а вечером и ночью (обычно в 19 – 21 час) – с охлаждённого побережья (береговой бриз). Обычно бризовая циркуляция устанавливается с мая по октябрь. Зона максимального проявления бриза ограничивается 30 – 50 км, но, учитывая морфометрию Днепровско-Бугского лимана и близость Каховского водохранилища, роль бризовой циркуляции над этой частью Причерноморья может быть значительной. Средняя скорость морского бриза 3 – 5 м/с, средняя зона влияния на сушу – 15 – 20 км. Действие берегового бриза на море распространяется на 20 – 30 км, его скорость в среднем составляет 1 – 3 м/с. Максимальная скорость бриза днём достигала 7 м/с, ночью – 5 м/с. Иногда бризы отмечаются над морем или над сушей на расстоянии 40 км и более от уреза воды [28, 44]. Бризовая циркуляция бывает и на водохранилищах днепровского каскада, поэтому на устьевом участке р. Днепр действуют бризы смешанного генезиса. Морские бризы не только уменьшают температуру воздуха, но и увеличивают его влажность, береговые – оказывают противоположное влияние.

Таблица 1.7

Средняя и максимальная скорость ветра (в скобках – порыв), м/с

Метеостанция		Месяц												Год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Николаев	средняя	4,5	4,8	4,7	4,3	4,1	3,7	3,4	3,4	3,4	3,7	4,2	4,4	4,1
	максимальная	20	20	28	20	18	16	18	20	20	35	24	34	35 (40)
Херсон	средняя	4,7	4,9	4,7	4,2	3,8	3,5	3,3	3,2	3,0	3,5	4,3	4,4	4,0
	максимальная	30	24	20	20	18	18	20	40	16	30	20	20	40
Очаков	средняя	5,1	5,5	5,4	4,7	4,5	4,2	4,0	3,8	4,1	4,6	5,2	5,2	4,7
	максимальная	22	24	24	20	25	20	20	24	20	22	28	20	28

Над морским устьем рек Днепр и Юж. Буг преобладают северо-восточные и северные ветры, обусловливающие сгон воды в Днепровском и Бугском (при северном ветре) лиманах, реже всего отмечаются юго-восточные ветра. Сведения о преобладающих направлениях ветра представлены в табл. 1.8.

Максимальная скорость ветра, отмечавшаяся в период с 1961 г. по 2009 г. в морском устье рек Днепр и Юж. Буг, достигала 40 м/с.

Среднее за год число дней со штормовым ветром (скоростью ≥ 15 м/с) составляет в городах Николаеве, Очакове и Херсоне, соответственно, 13 – 15 дней. Повторяемость сильных ветров (скоростью ≥ 15 м/с) внутри года отличается от данных табл. 1.8. Наиболее вероятны северо-западные (27 %) и восточные (25 %) шторма, наименее – северные и западные (по 2 %).

Таблица 1.8

Повторяемость ветра различных направлений, %,

Румб	Месяц												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Николаев													
С	13	13	15	15	14	17	18	23	20	13	9	16	15
СВ	23	21	23	20	20	22	19	20	19	22	16	17	20
В	14	17	15	12	13	7	6	7	8	14	17	14	12
ЮВ	12	10	7	10	6	5	3	5	5	8	12	9	8
Ю	11	12	17	19	15	11	11	8	11	12	14	13	13
ЮЗ	6	6	6	11	12	14	11	11	12	7	9	8	9
З	9	9	8	5	9	11	12	7	7	8	10	10	9
СЗ	12	12	9	8	11	13	20	19	18	16	13	13	14
Херсон													
С	13	12	12	13	12	14	15	18	19	19	12	16	15
СВ	20	24	20	16	19	16	20	20	22	20	20	16	19
В	25	26	23	19	17	12	8	12	14	18	20	21	18
ЮВ	6	5	6	7	7	5	4	3	3	4	7	6	5
Ю	7	8	11	16	14	11	9	6	10	10	11	9	10
ЮЗ	7	7	9	13	14	17	16	11	9	7	9	8	11
З	13	10	10	10	11	16	16	15	12	10	13	14	13
СЗ	9	8	9	6	6	9	12	15	11	12	8	10	10
Очаков													
С	17	15	12	12	13	18	20	17	19	14	13	13	15
СВ	19	15	16	13	13	11	9	12	14	16	18	20	15
В	16	14	15	12	10	6	5	7	8	16	24	20	13
ЮВ	6	9	8	8	7	4	3	3	5	10	11	9	7
Ю	7	7	12	15	12	9	5	7	11	9	7	7	9
ЮЗ	8	10	11	18	24	24	24	21	17	10	8	9	15
З	11	11	10	10	11	13	15	15	10	9	7	10	11
СЗ	16	19	16	12	10	15	19	18	16	16	12	12	15

Сложная морфометрия устьевого взморья (сообщающаяся система перпендикулярно ориентированных водоёмов) обусловливает

неоднозначное воздействие одних и тех же ветров на отдельные участки Днепровско-Бугского лимана. Например, северный ветер является сгонным для Бугского лимана и нагонным для южной части Днепровского лимана. Преобладающий северо-восточный ветер также вызывает нагон у левого берега Днепровского лимана, однако, при северном и северо-восточном ветрах в лимане формируется сгон, как и при восточном ветре, который, в то же время, является нагонным для правого берега Бугского лимана и района г. Очакова. Особенности режима ветра в различных климатических районах морского устья рек проявляются в значительной роли северного ветра в Южнобугском, восточного – в Днепровском, северо-западного и юго-западного – в Лиманно-морском климатическом районе.

В зимний период в Южнобугском районе преобладает северо-восточный ветер (23 %), в Днепровском – восточный (до 26 %), в Лиманно-морском – северо-восточный (20%) и северо-западный (19 %). Поэтому зимой сгоны превалируют над нагонами. В летний период ситуация иная: в Южнобугском районе повторяемость северного ветра достигает 23%, северо-восточного и северо-западного – по 20 %; в Днепровском районе преобладает северо-восточный ветер (20%), а в Лиманно-морском – юго-западный (24%). Именно юго-западный ветер над открытой частью устьевого взморья и способствует увеличению количества нагонов в тёплый период года.

Осадки. Атмосферные осадки распределяются по пространству устьевого региона равномерно, расхождение между годовыми значениями сумм осадков на метеостанциях около 7 %. Однако сумма осадков, выпадающих за год в районе г. Николаев больше, чем в г. Очаков. Среднее за год количество осадков в морском устье рек составляет 400 – 450 мм (табл. 1.9), отклонение годовых сумм осадков от нормы обычно не превышает 20 %. Абсолютный максимум годовой суммы осадков отмечался в г. Николаеве в 1955 г. (695 мм), г. Новой Каховке в 1952 г. (659 мм), г. Херсоне и г. Очакове – в 1997 г. (679 мм и 654 мм соответственно).

Значимых тенденций годовой суммы осадков в устьевом регионе за период с 1961 г. по 2009 г. не обнаружено. В г. Херсоне их сумма незначительно увеличивается, в пределах точности определения (в среднем на 1 мм в год), в г. Николаеве – уменьшается (тоже на 1 мм в год), в г. Очакове – остаётся неизменной (рис. 1.34). С 1961 г. по

2009 г. летом осадков выпадает меньше, а зимой больше, чем в предыдущий климатический период (1923 – 1960 гг.).

С мая по август сумма осадков уменьшается с севера на юг: максимальное их количество выпадает в Южнобугском, а минимальное – в Лиманно-морском районе. Чаще всего осадки бывают в тёплый период года (около 70 % от годового количества). В апреле, сентябре и октябре максимум осадков отмечается в Днепровском районе, при этом наиболее сухо в Лиманно-морском районе; в холодный период года в Лиманно-морском районе сумма осадков максимальная, а в континентальном Южнобугском районе – минимальная.

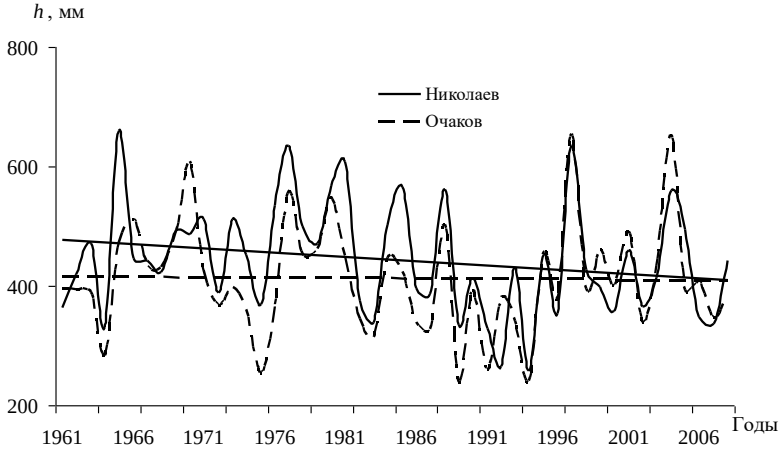


Рис. 1.34. Изменчивость годовой суммы осадков в г. Николаеве и г. Очакове

Максимальное суточное количество осадков чаще всего наблюдается во время летних ливней, абсолютный максимум в рассматриваемом регионе был зафиксирован в г. Николаеве и составил 195 мм [1], в остальных районах – менее 100 мм. Внутрисуточный ход осадков не выделен.

В регионе преобладают жидкие осадки, на их долю приходится 75 – 85 % от общей суммы осадков за год. Среднее за многолетний период количество дней в году с осадками слоем $\geq 0{,}1$ мм составляет 110 – 120, наибольшее количество дней с осадками отмечается на участке г. Новая Каховка – г. Херсон, наименьшее – на юге Кинбурнской косы. В Днепровском и Лиманно-морском районах около

10 дней в году выпадает слой осадков 10 мм и более, в Южнобугском районе такие осадки бывают в среднем 12 – 14 дней в году.

Наибольшее число дней с осадками и их наибольшая продолжительность отмечаются в холодное время года, обычно с ноября по март. В мае – августе, когда количество осадков наибольшее, их продолжительность и число дней с осадками – имеют наименьшие значения. Суммарная продолжительность осадков в этом морском устье составляет 600 – 800 час., наибольшая её величина отмечается в Бугском районе, наименьшая – в Лиманно-морском. Сведения об осадках по отдельным метеостанциям приведены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Месячное и годовое количество осадков в морском устье рек Днепр и Юж.Буг (1961 – 2009 гг.), мм

Метеостанция	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Николаев	31	30	28	31	44	52	50	41	39	25	36	36	443
Херсон	30	29	28	32	43	47	47	38	41	28	37	36	438
Очаков	31	31	29	30	34	44	44	36	35	24	38	37	412

Интенсивность осадков зависит от сезона года. Зимой средняя интенсивность осадков в регионе составляет 0,3– 0,4 мм/час, а с мая по октябрь её значения достигают 0,5 – 1,1 мм/час.

Твёрдые осадки (5 – 10 % от общего их количества), выпадающие в зимний сезон, образуют неустойчивый снежный покров, только в половине всех зим снежный покров устойчив. Его высота в среднем не превышает 5 см, а в г. Николаеве – 10 см. Средняя из наибольших высот снежного покрова составляет на юге устьевого региона около 10 см, на севере – около 20 см. В отдельные зимы, при сильных снегопадах, слой снега достигал 40 – 60 см высоты. Чаще всего снег выпадает с декабря по февраль, но может лежать даже в апреле. В среднем число дней со снежным покровом составляет 35 – 40, на устьевом участке р. Юж. Буг – до 50.

Анализ изменчивости осадков в пространстве показал, что Южнобугский район (исключая морской подрайон) и континентальный подрайон Днепровского района (рис. 1.29) являются более увлажнёнными, чем остальная часть морского устья, что связано с особенностями осадкообразования, атмосферного переноса и др.

Атмосферные и особо-опасные метеорологические явления. Существенное влияние на режим морского устья рек Днепр и Юж. Буг оказывают атмосферные явления, которые иногда достигают опасного уровня [7] и наносят ущерб хозяйству устьевого региона. В основном это различные виды осадков, туманы, бури, ветровые, оптические, электрические или комплексные явления, развивающиеся в атмосфере.

Анализ распределения во времени числа случаев особо опасных метеорологических явлений (ООМЯ) показал, что их максимумы и минимумы повторяются в среднем каждые 11 лет, что, вероятно, обусловлено гелиофизическими причинами. Отмечаются и более короткие периоды – от 3-х до 7 – 8 лет. Для рассматриваемого района из ООМЯ наиболее характерны ливни, сильный ветер, сильный туман, град и метель. Остальные атмосферные явления не достигают уровня опасности и наблюдаются реже.

Наиболее часто из всех ООМЯ бывают сильные дожди, которые в основном наблюдаются в июне – августе (70 %), с максимальным количеством в июне (30 %). Ливни – сильные дожди большой интенсивности (0,20 – 0,90 и более мм/мин.) чаще всего кратковременны. В период с 1961 г. по 2009 г. наиболее дождливыми были 1965, 1977, 1988, 1997 и 2004 годы, а очень засушливыми – 1964, 1975, 1989, 1994, 2006 годы. Дождливые многолетья (1965 – 1970 гг., 1976 – 1981 гг., 1984 – 1985 гг., 1997 – 2001 гг. и 2003 – 2005 гг.) сменялись засушливыми годами (1961 – 1964 гг., 1971 – 1975 гг., 1982 – 1983 гг., 1986 – 1987 гг., 1989 – 1994 гг. и 2006 – 2008 гг.). Анализ атмосферных и особо-опасных явлений выполнен на основе данных [6, 28, 37 – 40, 43, 45, 47, 48].

Повторяемость сильных дождей (количество осадков 50 мм и более за 24 часа и менее) в юго-восточной части морского устья рек Днепр и Юж. Буг равна 30 – 40 %, в северо-западной – 60 – 70 % от числа всех лет, т.е. они бывают в среднем каждые 3 – 4 года. При ливнях в г.Николаев преобладает слой осадков, равный 40 – 60 мм, в г. Очакове равновероятно выпадают осадки слоем 20 – 60 мм.

Сильный ветер, скоростью $\geq$ 25 м/с, на северо-западе морского устья имеет повторяемость 30 %, на юге, востоке и северо-востоке – 30 – 40 % (в среднем через каждые 3 года). Ветер со скоростью $\geq$ 30 м/с наблюдается в среднем 1 раз в 10 лет (повторяемость 10 – 13 %).

Резкое и короткопериодное увеличение скорости ветра и изменение его направления, обусловленное конвекцией и фронтальной деятельностью, т.е. шквалы, напротив, более часты (20 – 30 %) в южной, восточной и северо-восточной частях морского устья, а на северо-западе их повторяемость в 2 раза меньше (10 – 20 %). Шквалы обычно бывают летом, иногда по несколько в год, особенно в Днепровском климатическом районе.

Здесь же повторяемость смерчей более 20 %, в то время, как на остальной территории их повторяемость менее 10 %. Смерчи наблюдались также на устьевом участке р. Ингул, р. Юж. Буг, в районе г. Николаева, вблизи г. Новая Каховка.

Пыльные бури отмечаются почти ежегодно, их вероятность здесь 99 % [28]. В Южнобугском и Лиманно-морском районах 3 – 6 дней в году бывает пыльная буря, а в Днепровском – 9 – 12 дней в году. Но не все они относятся к категории опасных. Повторяемость сильных пыльных бурь в северной части морского устья (6 – 10 %) меньше, чем в восточной и южной (11 – 20 %). В апреле 1960 г. сильная пыльная буря продолжалась в городах Николаеве и Очакове 17 – 28 часов, сопровождалась штормовым ветром (в порыве до 34 м/с), пониженной видимостью (до 50 м) и нанесла существенный ущерб экономике региона. Средняя продолжительность пыльных бурь в этом районе 5 – 15 часов, наиболее вероятная 1 – 5 часов.

Сильные туманы обычно бывают зимой и весной (22 % от общего числа случаев с туманом) с 7 до 11 часов. В г. Николаеве и г. Очакове в среднем за год отмечается 52 дня с туманом, в г.Херсоне – 57. Наибольшее число дней с туманом в морском устье 71 (г. Очаков) – 85 (г. Херсон). Повторяемость сильных туманов около 20 %.

На бóльшей территории устьевой области рек гололёд в среднем наблюдается 10 – 15, а в Лиманно-морском районе – менее 10 дней в году. Наиболее крупный диаметр гололёда образуется в Южнобугском и Лиманно-морском районах, особенно в правобережье Бугского лимана (60 мм), в районе Днепровско-Бугского лимана (50 мм). На устьевом участке р. Днепр средний диаметр отложений около 30 мм, в дельте р. Днепр – 40 – 50 мм. Сильный гололёд отмечается обычно зимой с повторяемостью 20 – 30 % (один раз в 3 – 5 лет). В районе г. Очакова гололёд в 1962 – 1963 гг. наблюдался в те-

чение суток, имел диаметр 17 мм и нанёс существенный ущерб экономике региона.

В морском устье рек Днепр и Юж. Буг сильные сложные отложения бывают обычно раз в 10 – 20 лет. По исследованиям МО УкрНИГМИ в районе г. Очаков и г. Николаев в результате похолодания, сильного ветра и волнения с ноября по март иногда отмечается обледенение проводов, судов и различных сооружений [45]. Средний диаметр обледенения – 15 мм. Наиболее вероятно обледенение при северо-восточном и восточном ветрах скоростью 3 – 10 м/с, температуре воздуха 0 – -5 °С, температуре воды -1 – 3 °С и волнении.

В г. Николаеве в среднем 6 дней в году бывает метель, в отдельные годы до 20 дней. Продолжительность этого опасного атмосферного явления – 15 – 20 часов, повторяемость сильной метели около 15 % (1 день в году и менее) от общего числа дней с метелью. На остальной территории морского устья в среднем за год фиксируют 5 дней с метелью, а в левобережье р. Днепр – менее 5 дней в год бывает метель.

В течение года (обычно с июля по август) 25 – 30 дней отмечаются грозы, продолжительность которых составляет 60 – 80 часов. В Лиманно-морском районе в году фиксируют 20 – 25 дней с грозой. Иногда грозы бывают и в холодный период года, даже зимой.

Вероятность града высока – 60 – 75 %, крупного града 20 – 30 %. В год с градом бывает до 4 дней (чаще всего в июне), диаметр градин достигал 1 см. Реже всего град выпадал в Лиманно-морском районе (в среднем менее 1 дня в году), на остальной территории – в среднем за год отмечалось 1 – 2 дня с градом.

Сильная жара наиболее вероятна в южной части устьевой области р. Днепр в июле – августе, вероятность максимальной температуры воздуха 35 ºС и выше составляет здесь более 75 % (в среднем 3 – 4 дня в году), в северной части – 50 – 70 %.

Сильные морозы (температура воздуха -30 ºС и ниже) бывают только на севере и востоке рассматриваемого региона, их вероятность 1 раз в 100 лет.

В городах Николаеве и Очакове наблюдались (чаще всего осенью) полярные сияния атмосферы, сопровождающиеся магнитными и ионосферными бурями.

Качество воздушной среды и осадков. Общая загрязнённость атмосферного воздуха и осадков наибольшая в Южнобугском районе, наиболее чистые осадки выпадают в Лиманно-морском климатическом районе. Существенный вклад в загрязнение воздушной среды вносит северо-восточный ветер, приносящий загрязнённый воздух из Днепропетровской, Запорожской и Донецкой областей, а также местные передвижные и стационарные источники загрязнения атмосферы. Причём, в последние годы отмечается уменьшение количества выбросов стационарных источников (из-за спада производства) и увеличение выбросов автотранспорта (из-за увеличения количества машин). Основной вклад в объём выбросов стационарных источников вносят добывающие производства и электроэнергетика. Доля выбросов автотранспортом составляет около 75 % от общего количества поступающих из различных источников загрязняющих веществ (ЗВ).

В структуре выбросов исследовались следующие компоненты: оксиды углерода и азота, диоксид серы, летучие органические компоненты и специфические для отдельных предприятий вещества. Загрязнённость воздуха выбросами вредных веществ в г. Херсоне в 2 раза больше, чем в г. Николаеве. Но, расчёт зон рассеивания загрязняющих веществ по их концентрациям в воздухе, результаты которого приведены в [49], показывают, что в Николаевском регионе загрязнённость атмосферы существенней, и зона рассеивания ЗВ здесь в 9 раз больше, чем в Херсонском регионе.

Кислотность осадков (pH) согласно [6] составляет 6,1 – 6,2 в Лиманно-морском районе и 6,3 на остальной территории морского устья. Суммарное содержание основных ионов (кальция, натрия и сульфатов) в атмосферных осадках над устьевыми участками рек Днепр, Юж. Буг и Ингулец в среднем равно 21 мг/л, над остальной территорией – 22 – 23 мг/л, над морской частью устьевого взморья – до 24 мг/л. В отдельных пробах дождевой воды определялось содержание нефтепродуктов, оно было в пределах 0,05 – 0,025 мг/л, СПАВ – 0,025 – 0,070 мг/л, ядохимикаты либо не были обнаружены, либо содержались в пределах от 1 до 20 нг/л.

По данным Барановского В.А. [49] воздух городов загрязнён бенз/а/пиреном, пылью и оксидом углерода. В пробах воздуха в г.Николаеве обнаруживают также диоксид азота и фтористый водород, в а г. Херсоне – фенолы и оксид азота. Основными ЗВ, концентрация которых в единичных пробах воздуха когда-либо превышала

ПДК, на устьевом участке р. Днепр и в дельте являются соединения серы, фенолы и азотистые соединения; в Николаевском регионе – галогены, ванадий, оксид углерода, диоксид азота, соединения серы, стирол.

По данным Николаевского ЦГМ за последние 10 лет, в наиболее загрязнённом Южнобугском районе концентрация некоторых ЗВ в воздухе превышает ПДК, как в единичных пробах (оксид углерода, диоксид азота, фтористый водород), так и в среднем (формальдегид, бенз/а/пирен).

Формальдегид и бенз/а/пирен содержатся в основном в концентрациях, превышающих ПДК для средних и разовых величин: средняя концентрация формальдегида составляет 0,007 – 0,014 мг/м^3 (при ПДК 0,003 мг/м^3), максимальная разовая –0,06 мг/м^3 (при ПДК 0,035 мг/м^3); а бенз/а/пирена (в миллионных долях мг/м^3), соответственно 0,7 – 1,4 и до 5,0 мг/м^3 (при ПДК, равном 1,0 мг/м^3).

На уровне ПДК (0,04 мг/м^3) в воздухе содержится диоксид азота, но его максимальные концентрации в отдельных пробах в 3 – 5 раз превышают ПДК (0,085 мг/м^3).

Средняя концентрация пыли в основном не превышает ПДК (0,15 мг/м^3), она содержится в воздухе в пределах 0,05 – 0,12 мг/м^3, максимальная – достигает 2 – 3 ПДК (0,5 мг/м^3 для максимальной разовой величины). Содержание диоксида серы, 0,003 – 0,005 мг/м^3, в среднем не превышает ПДК (0,05 мг/м^3), его максимальная концентрация также на порядок меньше ПДК для разовых величин (0,5 мг/м^3). Средняя концентрация оксида азота в 5 – 10 раз ниже ПДК (0,06 мг/м^3), однако в отдельных пробах она выше ПДК (0,4 мг/м^3) в 2 раза. Оксид углерода в среднем содержится в воздушной среде в концентрациях, в 3 раза ниже ПДК (3,0 мг/м^3), но на перекрёстках магистралей, стоянках, вокзалах и пр. его концентрация в отдельных пробах в 2 – 5 раз превышает ПДК (5,0 мг/м^3).

Содержание микроэлементов в атмосферном воздухе также ниже ПДК. Марганец, медь, никель, свинец, хром и цинк содержатся в концентрациях 0,01 – 0,15 мг/м^3; железо – 0,7 – 0,9 мг/м^3; кадмий – 0,001 – 0,004 мг/м^3. Концентрация радионуклидов в атмосферном воздухе в среднем составляет $0{,}10 \cdot 10^{-5}$ Бк/м^3 (стронций-90) и $0{,}30 \cdot 10^{-5}$ Бк/м^3 (цезий-137).

Способствует улучшению качества воздушной среды переход части котельных и автотранспорта на газовое топливо, сокращение промышленного производства.

Таким образом, в Лиманно-морском районе уровень суммарной максимальной загрязнённости воздуха оценивается в [49] как низкий, в Днепровском регионе – от низкого до умеренного (г. Херсон) и повышенного (г. Новая Каховка), а в Южнобугском районе, по мере удаления от г. Николаева, загрязнённость воздуха убывает от чрезвычайно высокой до низкой.

В связи с указанными особенностями загрязнения воздуха [49] можно выделить два региона с различным метеорологическим потенциалом атмосферы: 1) Лиманно-морской, в котором превалируют процессы рассеивания ЗВ и самоочищения атмосферы; 2) Южнобугско-Днепровский, в котором преобладают процессы накопления ЗВ над определённой территорией в течение года.

При анализе гидрологического режима морского устья рек Днепр и Юж. Буг учитывалось, что комплекс рассмотренных в гл.1 факторов водного режима здесь достаточно сложен и ни один из них не выделяется однозначно. Физико-географические, в том числе и метеорологические, условия в пределах устья не являются главенствующими в формировании водоносности устьеобразующих рек. Так, например, местные осадки не оказывают существенного влияния на сток р.Днепр, однако, водоносность рек Ингул, Ингулец и Юж. Буг может значительно увеличиваться за их счёт, но роль стока этих рек в гидрологии морского устья несущественна. Температура воздуха в бóльшей степени оказывает влияние на водоёмы морского устья, особенно мелководные и не связанные с морем, в режиме температуры водотоков и Днепровско-Бугского лимана существенную роль играет адвекция тепла с участков рек и водоёмов, расположенных вне морского устья. Даже местный ветер, если он непродолжительный, неустойчивый по направлению и не сильный, не всегда оказывает влияние на уровенный режим и режим течений. Загрязнение атмосферы и осадков сказывается на качестве водной среды устья, являясь одним из источников их поступления в воду.

Таким образом, кроме местных природных и антропогенных факторов гидрологические и гидрохимические условия морского устья обусловлены изменениями в бассейнах этих рек (в том числе и антропогенными), глобальным климатом Земли, тектоническими движениями земной коры. Влияние глобальных режимообразующих факторов проявляется в межгодовой изменчивости гидрологических и гидрохимических характеристик, а местные факторы обусловливают короткопериодные изменения состояния морского устья.

ГЛАВА 2. ВОДНЫЙ РЕЖИМ

Физико-географические условия в бассейнах рек Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец и Чёрного моря формируют водный режим морского устья. Он обусловлен взаимодействием поступающих речных вод с морскими и воздействием на них метеорологических факторов, дна и берегов. Местный сток в морское устье рек Днепр и Юж. Буг практически отсутствует, поэтому водный режим отдельных частей морского устья в разной степени зависит от стока устьеобразующих рек, который формируется на их водосборах.

По характерным особенностям водного режима реки Днепр и Юж. Буг, в нижнем течении образующие рассматриваемое морское устье, согласно классификации Зайкова Б.Д., Львовича М.И. [10, 11, 50, 51], относятся к Восточно-Европейскому типу (реки с весенним половодьем) и Причерноморскому гидрологическому району (с половодьем и паводками). Кузин П.С. [50] причисляет их к рекам с паводками и половодьем (так как реки снегового и дождевого питания), хотя в верхнем и среднем течении (зонах стокоформирования) основной фазой водного режима этих рек является весеннее половодье. Указанные типизации (по характеру питания рек и внутригодовому распределению стока) мало применимы для устьевых участков рек, а тем более, устьевого взморья, так как это не зона формирования стока, с чётко выраженными фазами водного режима, а зона его трансформации. Поступающий сюда сток рек зарегулирован, паводки могут наблюдаться в любой период года, волны половодья и паводков «распластываются», накладываются друг на друга, поток распределяется между рукавами р. Днепр. Поэтому выделение фаз водного режима в морском устье рек Днепр и Юж. Буг и его типизацию затруднительно сделать.

Согласно гидрологическому районированию, выполненному в [6], рассматриваемое морское устье расположено в Равнинной части, в Зоне недостаточной водности, в 2-х областях: Нижнебугско-Днепровской недостаточной водности (устьевые участки рек Юж. Буг, Ингул, Ингулец, правый берег р. Днепр) и Причерноморской чрезвычайно низкой водности (остальная часть морского устья). По степени влияния на водный режим паводков и половодья рассматриваемый устьевой регион в [6] разделён на 3 района. На устьевых

участках всех рек преобладает весеннее половодье, левобережье р. Днепр и Кинбурнская коса относятся к району без постоянно действующих водотоков, на остальной территории преобладают водотоки с половодьем и паводками.

В действительности постоянный сток в морское устье осуществляется только реками Днепр, Юж. Буг и Ингул.

Зарегулированность стока рек и их притоков в настоящее время столь существенна (особенно р. Днепр, р. Ингулец), что выделить фазы половодья и межени в низовьях рек затруднительно, так как внутригодовое перераспределение стока водохранилищами способствует его выравниванию внутри года, особенно в замыкающих створах. Водный режим этого морского устья зависит от попусков ГЭС, которые обеспечивают выработку электроэнергии и судоходство, поэтому его можно считать антропогенно-изменённым.

В связи с вышеуказанными особенностями питания рек в верхнем и среднем течении, а также внутригодового распределения их стока – в рассматриваемом морском устье эти классификационные признаки нельзя считать исчерпывающими для типизации водного режима.

Характеристика изменчивости объёма воды в морском устье рек Днепр и Юж. Буг сделана на основе анализа стока и уровня воды, а особенности динамики вод рассмотрены на примере отдельных аспектов режима течений.

2.1. Сток воды

Наблюдения за стоком рек. За вершину морского устья р. Днепр принята плотина Каховской ГЭС (г. Новая Каховка), поэтому расход воды в этом створе получают с 1956 г. как сумму среднесуточных расходов через турбинные тракты (по показаниям расходомеров), водосливную плотину, судоходный шлюз с учётом расходов фильтрации и утечек. По среднесуточным расходам воды определяют среднемесячные значения и среднегодовой расход, а также годовой сток воды.

Измерения расхода воды в низовьях р. Юж. Буг производятся с 1914 г., а с 1923 г. – в 73 км выше вершины морского устья реки, в пгт Александровка. Измеренные расходы увязываются с уровнями

воды, наблюдаемыми на этом же водомерном посту. На участке между пгт Александровка и г. Новая Одесса (вершина морского устья реки) в реку Юж. Буг впадают малые реки (Чичиклея, Гнилой Еланец и др.), которые зачастую пересыхают. Суммарный средний многолетний расход этих рек не превышает 3 % от соответствующей характеристики стока р. Юж. Буг (в пределах точности определения расхода воды), поэтому устьевой участок реки Юж. Буг считается практически малоприточным или бесприточным.

Сток р. Ингул учитывается с 1931 г. в 98 км выше вершины морского устья реки, в с. Ново-Горожено. Сведения об использовании стока на этом участке отсутствуют. Так как он составляет около 8 % от стока р. Юж. Буг и около 0,6 % от суммарного стока рек Днепр и Юж. Буг, чаще всего сток р. Ингул также не учитывают.

Наблюдения за стоком воды р. Ингулец производятся в г. Кривой Рог (с 1936 г.), в 321 км от устья и в 252 км (выше по течению) от вершины морского устья реки. Ранее измерения производились в с. Могиловка (с 1926 г.), в 266 км от устья, сейчас ниже г.Кривой Рог наблюдения прекращены. Использование этих данных для анализа водного режима морского устья рек Днепр и Юж. Буг не представляется возможным, так как в период вегетации по р. Ингулец подаётся вода из р. Днепр в Ингулецкую оросительную систему (создана «противорека»). Для определения вклада р. Ингулец в режим стока морского устья необходимы специальные исследования. Сток р. Ингулец в г. Кривой Рог (и в с.Могиловка) составляет 0,6 % от стока р. Днепр и обычно не учитывается.

Анализ водного режима рек Березань и Сосик не выполнялся из-за незначительности роли их стока и отсутствия данных наблюдений.

Многолетняя изменчивость стока рек. Обобщение данных по стоку рек в рассматриваемый климатический период (1961 – 2009 гг.) приводится в табл. 2.1.

Экстремальные значения стока в вершине морского устья р. Юж. Буг (из-за незначительной регулирующей ёмкости южнобугских водохранилищ) приводятся за весь период наблюдений, для р. Днепр (сток которой значительно зарегулирован) – за период зарегулированного режима стока реки. В условиях естественного режима стока р. Днепр наибольшие средние годовые значения расхода

превышали приводимые в табл. 2.1: в 1877 г. средний годовой расход воды р. Днепр достигал 3040 м^3/с.

Таблица 2.1

Сток воды в вершинах морского устья рек Днепр, Юж. Буг, Ингул$^{*)}$ и Ингулец$^{*)}$ и его статистические характеристики за 1961 – 2009 гг.

Характеристика	Река – пункт			
	Днепр-Ках.ГЭС	Юж.Буг-Александровка	Ингул-Новогорожено	Ингулец-Могиловка
Сток воды за год, км^3	42,3	3,01	0,25	0,24
Средний годовой модуль стока, л/с·км^2	2,66	1,50	0,80	0,55
Средний годовой слой стока, мм	84	47	25	18
Коэффициент стока	0,19	0,11	0,06	0,04
Коэффициент внутригодовой зарегулированности стока (естественной и искусственной)	0,8	0,6	0,4	0,4
Средний годовой расход воды, м^3/с	1340	95,4	7,89	7,60
СКО расхода воды, м^3/с	344	29,2	(6,31)	(6,84)
Наибольший средний годовой расход воды, м^3/с / год	2600 / 1970	198 / 1980	(25,6) / 1941	(25,4) / 1937
Наименьший средний годовой расход воды, м^3/с / год	726 / 1960	28,0 / 1921	(0,98) / 1936	(0,71) / 1959
Размах расхода воды, м^3/с	1870	170	(25)	(25)
Коэффициент вариации, C_v	0,26	0,31	(0,80)	(0,90)
Ошибка среднего значения расхода воды, %	3,7	4,4	(11,5)	(13,0)

Примечание: $^{*)}$ – сток рек определён ориентировочно по замыкающим створам

Средний годовой расход воды (и сток воды за год) в вершинах морского устья рек не имеет значимых тенденций в современный

климатический период. Многолетние изменения этой основной характеристики водного режима представлены на рис. 2.1.

Суммарный сток рек в морское устье составляет около 46 км^3 (45,84 км^3), наибольшая доля в нём приходится на сток р. Днепр (92 %) и р. Юж. Буг (около 7 %). Среднее отклонение годового стока р.Днепр от нормы около 26 %, годовой сток р. Юж. Буг более изменчив, так как регулирующие ёмкости водохранилищ на этой реке меньше.

В средние по водности годы модульные коэффициенты стока р. Днепр изменяются в пределах 0,86 – 1,13, р. Юж. Буг – от 0,81 до 1,13.

В многолетнем ряду стока рек Днепр и Юж. Буг преобладает 4-х летняя цикличность (40 % всех циклов), затем следуют 6-ти летние циклы (20 %), 7 – 9, 11 – 14, 3-х летние и др. циклы имеют повторяемость примерно по 10 %. С 1984 г. возросла повторяемость короткопериодных колебаний стока и уменьшился их размах (рис. 2.1), возможно, из-за особенностей регулирования стока р. Днепр.

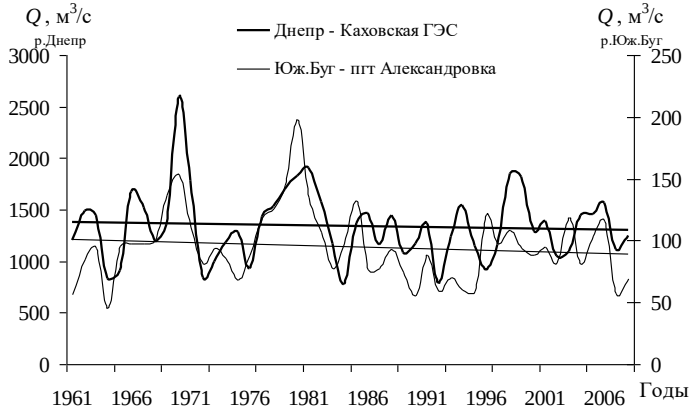


Рис. 2.1. Средний годовой расход воды в вершинах морского устья рек Днепр и Юж. Буг

Внутригодовое распределение стока. Среднее многолетнее внутригодовое распределение расхода воды (стока) по месяцам в вершинах морского устья рек имеет свои особенности (рис. 2.2).

За период зарегулированного режима стока рек (с 1961 г. по 2009 г.) коэффициенты неравномерности стока в году в вершинах морского устья составляют: 2,5 (р. Днепр) и 3,6 (р. Юж. Буг). Таким образом, наиболее сглаженное внутригодовое распределение стока характерно для р. Днепр, так как степень его зарегулированности больше, чем р. Юж. Буг.

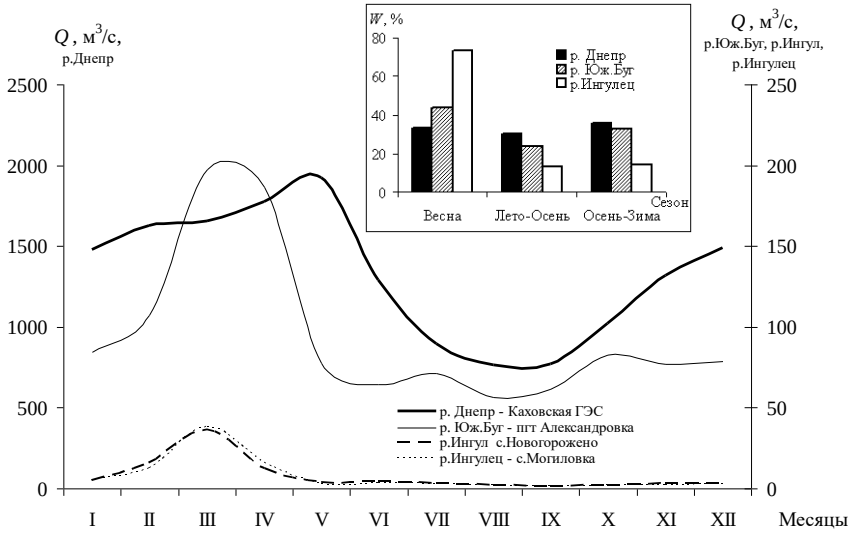


Рис. 2.2. Среднее многолетнее распределение расхода воды (Q, м^3/с) по месяцам и стока (W, %) воды по сезонам в вершинах морского устья рек Днепр и Юж. Буг

В сезон половодья на р. Юж. Буг (обычно с февраля по апрель) проходит около 43 % годового стока; сток весенне-летней межени (май – август) составляет 24 %, осенне-зимней (сентябрь – январь) – 33 % от годового.

Выделение гидрологических сезонов р. Днепр затруднительно, что связано с регулированием стока водохранилищами, которое способствует его равномерному распределению внутри года. Весной (с марта по май) в вершину морского устья реки поступает в среднем 34 % годового стока р. Днепр, в период летне-осенней межени (с

июня по октябрь) – 30 %, в осенне-зимнюю межень (с ноября по февраль) – 36 %.

Сток половодья на реках Ингул и Ингулец (с февраля по апрель) составляет около 70 % от годового.

Таким образом, чем больше река, естественная и искусственная зарегулированность её стока, тем равномернее его распределение по сезонам (рис.2.2).

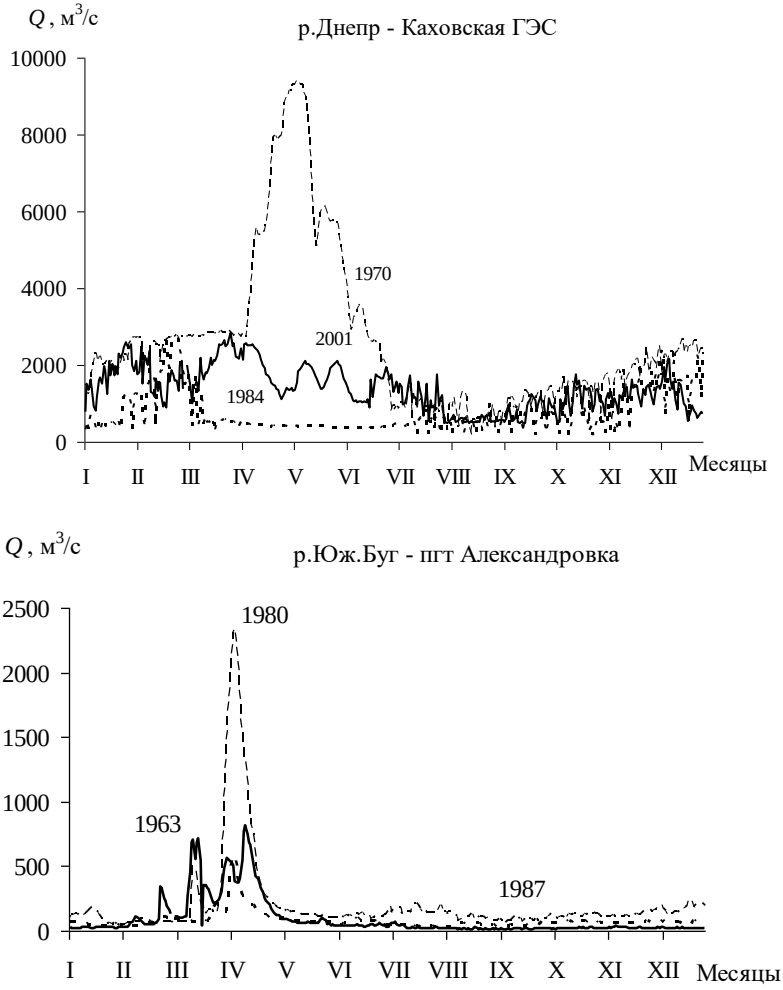
Средние месячные значения расхода воды и его статистические характеристики в вершинах морского устья рек представлены в табл. 2.2. Из таблиц 2.1 и 2.2 видно, что нормы среднемесячных и годовых расходов воды – достоверны, так как ошибка среднего не превышает 10 %, исключая апрель, когда изменчивость стока существенна. Сбросы из водохранилищ в этот период могут быть как минимальными, так и максимальными, в зависимости от условий предвесеннего и весеннего периодов. На р. Юж. Буг норма стока за февраль имеет погрешность около 10 %, что, вероятно, связано с различной степенью опорожнения водохранилищ в предпаводочный период из-за различных снегозапасов в отельные зимы.

Наибольшая изменчивость среднего месячного расхода воды отмечается в вершине морского устья рек Днепр и Юж. Буг – в апреле; наименьшая – в мае (р. Юж. Буг) и в декабре (р. Днепр).

В отдельные годы внутригодовое распределение стока воды существенно отличается от среднего многолетнего (рис. 2.3).

На рис. 2.3 показаны внутригодовые изменения расхода воды в вершинах морского устья рек в многоводные 1970 (р. Днепр), 1980 (р. Юж. Буг), маловодные 1984 (р. Днепр), 1987 (р. Юж. Буг) и средние по водности 2001 (р. Днепр), 1963 (р. Юж. Буг) годы.

Внутригодовое распределение стока воды в вершине морского устья р. Днепр зависит от работы каскада водохранилищ, сбросы которого равномерно перераспределяют его между сезонами, что особенно характерно для средних по водности и маловодных лет (рис. 2.2, 2.3). Только нижнее в днепровском каскаде, Каховское водохранилище, осуществляет сезонное регулирование стока р. Днепр, Кременчугское и Днепровское – годовое, остальные водохранилища – суточное и недельное. Полезный объём Кременчугского водохранилища (4,1 км^3) позволяет осуществлять и многолетнее регулирование стока.



1 --------; 2 ———; 3 ·····;

Рис. 2.3. Внутригодовое распределение расхода воды в вершинах морского устья рек Днепр и Юж. Буг в многоводный (1), средний по водности (2) и маловодный (3) годы

Указанные особенности эксплуатации каскада затрудняют выделение фаз водного режима. Обычно половодье на р. Днепр выделяется лишь в 30 % лет, так как сбросы в этот период либо равномер-

ные (в средневодные годы), либо незначительные (в маловодные годы). В многоводные годы половодье выражено в 50 % лет.

Наибольший сток р. Днепр обычно отмечается в мае (рис. 2.2), наименьший – в сентябре. В многоводные годы гидрограф носит такой же характер, как и в период естественного режима стока реки: сток половодья в 30 – 60 раз превышает меженный (рис. 2.3).

В водном режиме р. Юж. Буг половодье можно выделить с февраля по май в 76 % лет. Минимальный сток характерен для августа, в остальное время года он распределяется довольно равномерно независимо от водности года. Сток многоводного периода в вершине морского устья реки обычно составляет 40 – 50 % годового, что близко к его распределению при естественном режиме стока реки, и, вероятно, обусловлено небольшой ёмкостью водохранилищ и прудов.

Близко к естественному внутригодовое распределение стока рек Ингул и Ингулец, в половодье (которое выделяется в 90 % лет) в морское устье рек поступает 68 – 73 % годового стока, а в остальные месяцы сток распределён равномерно, в среднем эти реки в месяц выносят по 2 – 5 % годового стока. Наибольший расход отмечается в марте, наименьший – в сентябре.

Схожесть внутригодового распределения стока рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец свидетельствует об идентичности комплекса стокообразующих и стокорегулирующих факторов.

Анализ внутригодовой изменчивости стока воды в вершинах морского устья рек показал, что чем меньше река, тем раньше наблюдаются характерные расходы воды: наибольший расход воды рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец отмечается в марте, а р. Днепр – в мае; наименьший – в августе-сентябре и октябре, соответственно. Удлинению периода повышенной водности р. Днепр способствует искусственное регулирование стока, его перераспределение внутри года, приводящее к увеличению стока межени, и то, что половодья и паводки на притоках реки обычно наблюдаются не одновременно, сказываются бассейновые факторы – естественная зарегулированность стока большой реки.

Бассейны рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец меньше, чем р. Днепр, поэтому снеготаяние или выпадение осадков охватывает бóльшую часть водосборов, время склонового и руслового стекания воды в

русла с небольших водосборов притоков меньше, чем больших, меньше и врез русел. Это способствует уменьшению периода повышенного стока рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец.

Внутригодовое распределение стока не постоянно. Например, его анализ за период зарегулированного стока р. Днепр показал, что в последние 23 года, средние месячные значения с января по май и в августе уменьшились на 10 – 20 % по сравнению с предыдущим периодом (с 1956 г. по 1984 г.), а в сентябре – ноябре сток увеличился на 15 – 25 %, т.е. годовой гидрограф стока стал более сглаженным. Таким образом, в последние годы в морское устье поступает более равномерно распределённый между сезонами сток р.Днепр, чем ранее. Это, возможно, объясняется тем, что 50 % лет с 1985 г. по 2009 г. для низовьев реки являлись средними по водности и 33 % лет – маловодными. Не исключён и антропогенный фактор изменения работы каскада (авария на ЧАЭС, перестройка экономики и др.).

Суточная изменчивость расхода воды. Важную составляющую в ансамбле разнопериодных колебаний речного стока, особенно в меженный период, играют его недельные изменения, обусловленные тем, что сбросы в выходные дни в несколько раз меньше, чем в рабочие (рис. 2.4). Это связано с различной потребностью в электроэнергии в рабочие и выходные дни. Межсуточные изменения водности в вершинах морского устья рек Днепр и Юж. Буг имеют различия (рис. 2.4). Их сравнение в период осенней межени показало, что в результате недельного регулирования стока р. Днепр водохранилищами водность в нижнем бьефе Каховского водохранилища в выходные дни в 2 – 3 раза меньше, чем в рабочие, что и обусловливает 6 – 7-суточную цикличность этой характеристики водного режима. Цикличность изменения стока р. Юж. Буг меньше и составляет 4 – 5 сут., при этом значения стока изменяются в 1,5 – 2 раза.

Внутрисуточные изменения стока воды р. Днепр также обусловлены неодинаковыми сбросами из Каховского водохранилища в дневное и ночное время (рис. 2.5). Так как потребность в электроэнергии в ночные часы минимальная, сбросы уменьшаются, и утром сток р. Днепр в нижний бьеф Каховского водохранилища имеет наи-

Таблица 2.2

Средний месячный расход воды и его статистические характеристики (1961 г. – 2009 г.)

Характеристика	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
р. Днепр – Каховская ГЭС												
Средний месячный расход воды, $м^3/с$	1480	1630	1650	1780	1920	1290	898	767	772	1020	1320	1490
СКО расхода воды, $м^3/с$	508	528	668	1190	1160	544	338	307	327	394	460	448
Наибольший средний месячный расход воды, $м^3/с$	2750	2710	2830	5830	7090	2860	1660	2000	1670	2040	2790	2580
Наименьший средний месячный расход, $м^3/с$	628	557	342	447	414	383	384	381	405	513	474	791
Размах расхода воды, $м^3/с$	2120	2150	2490	5380	6680	2480	1280	1620	1270	1530	2320	1790
Коэффициент вариации, C_v	0,34	0,32	0,40	0,67	0,60	0,42	0,38	0,40	0,42	0,38	0,35	0,30
Ошибка среднего значения расхода воды, %	5,0	4,7	5,8	9,7	8,7	6,1	5,4	5,8	6,1	5,6	5,0	4,3
р. Южный Буг – пгт Александровка												
Средний месячный расход воды, $м^3/с$	84,4	107	198	186	77,6	64,3	71,1	56,3	61,7	82,8	76,9	79,0
СКО расхода воды, $м^3/с$	38,6	71,4	132	165	27,0	29,3	45,5	29,7	26,5	29,7	27,2	29,6
Наибольший средний месячный расход воды, $м^3/с$	211	447	580	942	151	148	211	162	160	165	164	177
Наименьший средний месячный расход, $м^3/с$	26,2	25,5	53,8	38,2	32,9	17,3	18,8	17,4	15,9	20,3	24,4	22,9
Размах расхода воды, $м^3/с$	185	422	526	904	118	131	192	145	144	145	140	154
Коэффициент вариации, C_v	0,46	0,67	0,67	0,88	0,35	0,46	0,64	0,53	0,43	0,36	0,35	0,37
Ошибка среднего значения расхода воды, %	6,6	9,6	9,7	12,7	5,0	6,6	9,2	7,6	6,2	5,2	5,1	5,4

меньшее значение. С октября по март минимальные сбросы ГЭС осуществляются в 5 часов, в период половодья производятся равномерные попуски в течение суток и поэтому суточный ход в мае – июне сглажен. С августа по сентябрь минимальный сток р.Днепр отмечается в 8 – 9 часов.

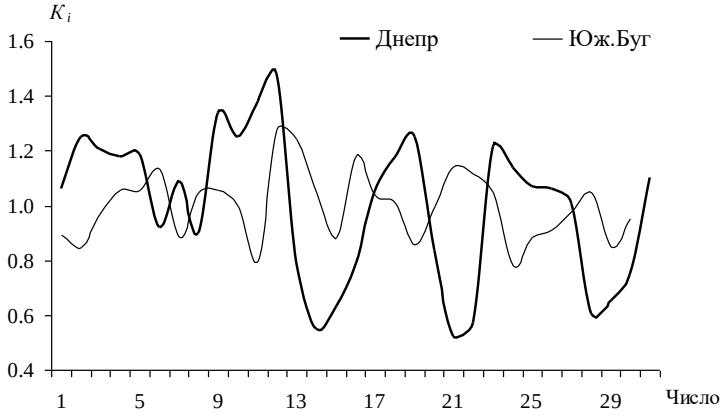


Рис. 2.4. Межсуточные колебания водности в вершинах морского устья рек Днепр и Юж. Буг в меженный период 2000 г.

Максимальные попуски в зимний период приходятся на вечернее время (19 – 23 час), в период летней межени – на 15 – 16 и 21 час. Поэтому на рис. 2.5, при годовом осреднёнии, суточный ход имеет экстремумы в 6, 17 и 23 часа.

Суточные изменения стока рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец в вершинах морского устья из-за недостатка наблюдений не исследовались.

Эмпирическое распределение расхода воды. Особенности формирования и изменчивости водного режима рек отражаются на функции распределения рядов стока, что видно на примере эмпирического распределения средних месячных и средних годовых расходов воды р. Днепр (рис. 2.6, *а*) и р. Юж. Буг (рис. 2.6, *б*).

Обе кривые распределения средних месячных расходов воды имеют умеренную положительную асимметрию, но распределение среднего месячного расхода р. Днепр – более пологой формы. Кривые распределения средних годовых значений расхода воды (по

сравнению с распределением средних месячных расходов) по своему виду более близки к кривым нормального распределения.

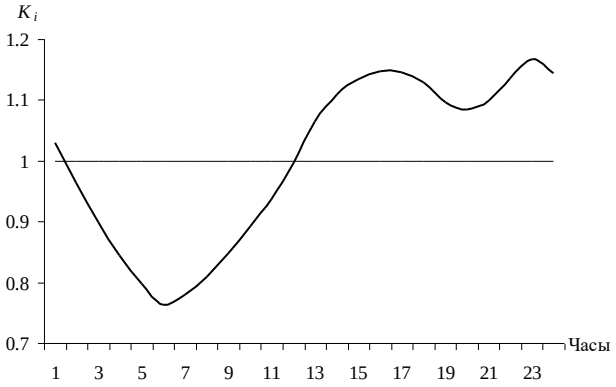


Рис. 2.5. Суточное регулирование стока р. Днепр, осреднённое за 2007 г.

Короткие ряды наблюдений (с 1961 г. по 2009 г.) пока не позволяют считать очертания кривых эмпирических распределений, представленных на рис. 2.6, устойчивыми. Однако очевидно, что кривые распределения расхода воды рек Днепр и Юж. Буг различаются.

Процесс стока в бассейне р. Днепр развивается под влиянием независимых или слабозависимых факторов, ни один из которых не оказывает превалирующего влияния на формирование водоносности реки. Сток этой большой реки естественно зарегулирован, т.к. на её притоках основные фазы водного режима отмечаются не одновременно, а их речные бассейны заболочены (что способствует аккумуляции воды и её последующей отдаче в речную сеть). Кроме того, сток р. Днепр искусственно регулируется каскадом водохранилищ для обеспечения нужд энергетики, судоходства и других отраслей хозяйства. Фаза повышенной водности занимает несколько месяцев, половодье выделить затруднительно в 70 % лет. Межень обычно неустойчивая, гидрографы имеют «пилообразный» вид (рис. 2.3). Внутри года сток распределён довольно равномерно (рис. 2.2). Чаще всего сбросы Каховской ГЭС производятся в пределах 600 – 1800 $м^3/с$, обеспечивая суточное, недельное и сезонное регулирование

стока. В этом интервале расходы воды имеют примерно одинаковую повторяемость, близкую к 20 % (рис. 2.6, а).

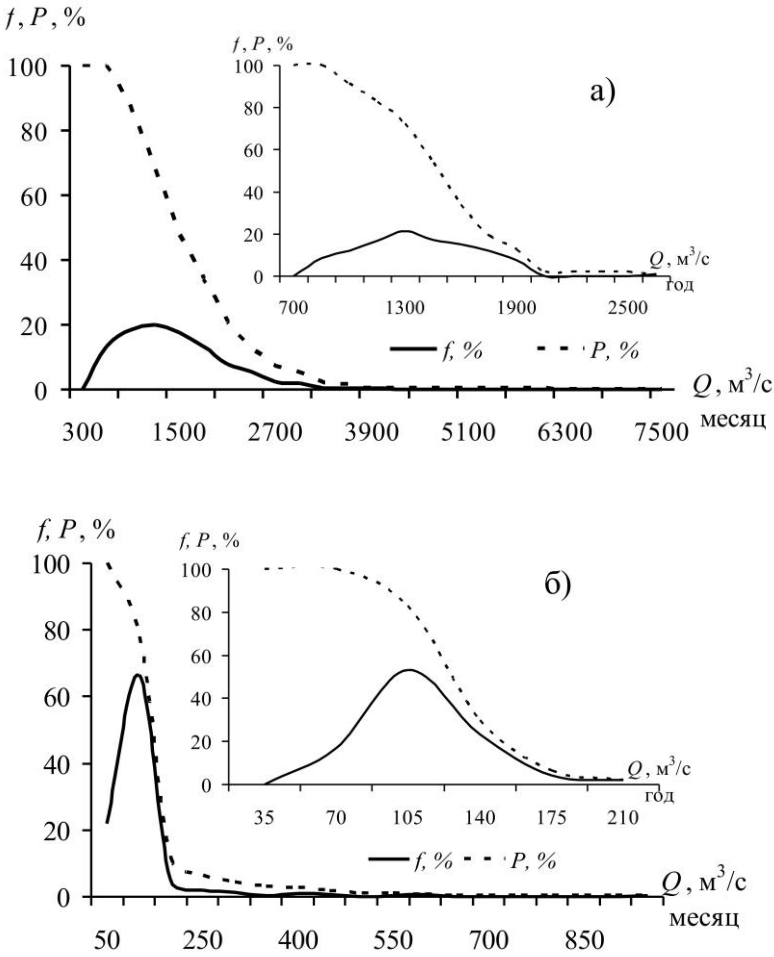


Рис. 2.6. Кривые распределения эмпирической вероятности (*f*, %) и эмпирические кривые обеспеченности (*P*, %) средних месячных и средних годовых значений расхода воды р. Днепр (*а*) и р. Юж. Буг (*б*)

На р. Юж. Буг сток формируется более «дружно», чем на р. Днепр (фронт снеготаяния или осадки распространяются на бóльшую часть водосбора), а зарегулированность стока меньше. Почти в 80 % лет выделяется фаза половодья и межени, то есть процесс формирования стока детерминирован. Причём, половодье обычно непродолжительное, ограничено 1 – 1,5 мес., а в остальное время года отмечается устойчивая межень (рис. 2.3), с расходами воды, близкими к среднему годовому значению (рис. 2.6, б). Эмпирическое распределение среднего годового расхода воды р. Юж. Буг близко к нормальному.

Таким образом, особенности водного режима и внутригодового распределения стока рек (рис. 2.2, 2.3) проявляются в характере кривых распределения расходов воды (рис. 2.6).

2.1.1. Распределение стока воды р. Днепр по устьевым рукавам

В морском устье р. Днепр при впадении реки в лиман, блокированный морскими аккумулятивными косами (Кинбурнской и Очаковской), формируется дельта выполнения. Процессы дельтообразования здесь в настоящее время имеют небольшую интенсивность, преобладают речные факторы, морские ослаблены лиманом, вершина которого медленно заполняется речными наносами. После сооружения каскада водохранилищ на р. Днепр, в их ёмкостях аккумулируются наносы, поэтому их поступление с речной водой в вершину морского устья уменьшилось (по сравнению с периодом естественного стока), а, следовательно, основной фактор дельтообразования, сток наносов, минимизировался.

Процесс устьевого удлинения в период с 1961 г. по 2009 г. слабо выражен в условиях эвстатического подъёма уровня моря и опускания суши (разд. 9.4). В связи с этим, для гидрологического режима устьевых рукавов р. Днепр характерна стабилизация процессов распределения стока воды.

Николаевский ЦГМ и СО ГОИН в 1960 – 1987 гг. проводили эпизодические специальные исследования распределения стока между устьевыми рукавами р. Днепр (рис. 2.7), но в настоящее время эти работы прекращены.

При обобщении части указанных материалов и сравнении с данными [1], Гринько Е.С. и Симовым В.Г. в [52, 53] установлено, что русловые процессы в рукавах р. Днепр малоинтенсивные и перераспределение стока между рукавами за многолетний период не выражено [53].

Река Днепр ниже Каховской ГЭС разветвляется на мелкие рукава, старицы и протоки, распределение стока по которым изучено недостаточно. В районе с. Садовое (вершина дельты р. Днепр, 47 км от НГД) рук. Ингулька впадает в основное русло р. Днепр (2а, рис. 1.3), образуя единый водоток. Сток реки у с. Садовое принимается приближённо равным стоку в створе Каховской ГЭС. У с. Приднепровское сток р. Днепр распределяется между основным руслом и Цюрупинской Конкой, а ниже по течению – между рукавами Конка, Кошевая (2,0 % от стока р. Днепр), Ольховый (45 % от стока р. Днепр) и Старый Днепр (15 % от стока р. Днепр). Конка, впадая в Днепровско-Бугский лиман, выносит 15,2 % от стока в вершине дельты. Остальные рукава в средней части дельты (участок 2б, рис. 1.3) соединяются в единое русло – рукав Забич, через который в среднем поступает 84,8 % стока р. Днепр [52, 53]. В приморской части дельты, в узле разветвления Забич – Рвач – Бакай, сток Забича поступает в два крупных рукава, впадающих в лиман (2в, рис. 1.3): Бакай пропускает в среднем 50,3 %, а Рвач – 34,5 % стока р. Днепр. При впадении в лиман указанные рукава (Конка, Рвач и Бакай) разделяются на многочисленные более мелкие, распределение стока в которых изучено недостаточно детально (рис. 2.7).

Средние месячные и годовые значения расхода воды в крупных устьевых водотоках, характеризующие распределение стока в современный климатический период, получены на основе данных работ [52, 53] и представлены в табл. 2.3.

Из табл. 2.3 видно, что средний месячный сток р. Днепр распределяется по трём основным водотокам, впадающим в лиман (Бакай, Рвач и Конка), в тех же пропорциях, что и средний годовой. Исследованиями НЦГМ и МО УкрНИГМИ [52] установлено, что при колебаниях расхода воды р. Днепр в вершине дельты (у с. Садовое) от 400 до 6500 $м^3/с$ распределение стока воды по основным устьевым рукавам практически не зависит от стока воды р. Днепр.

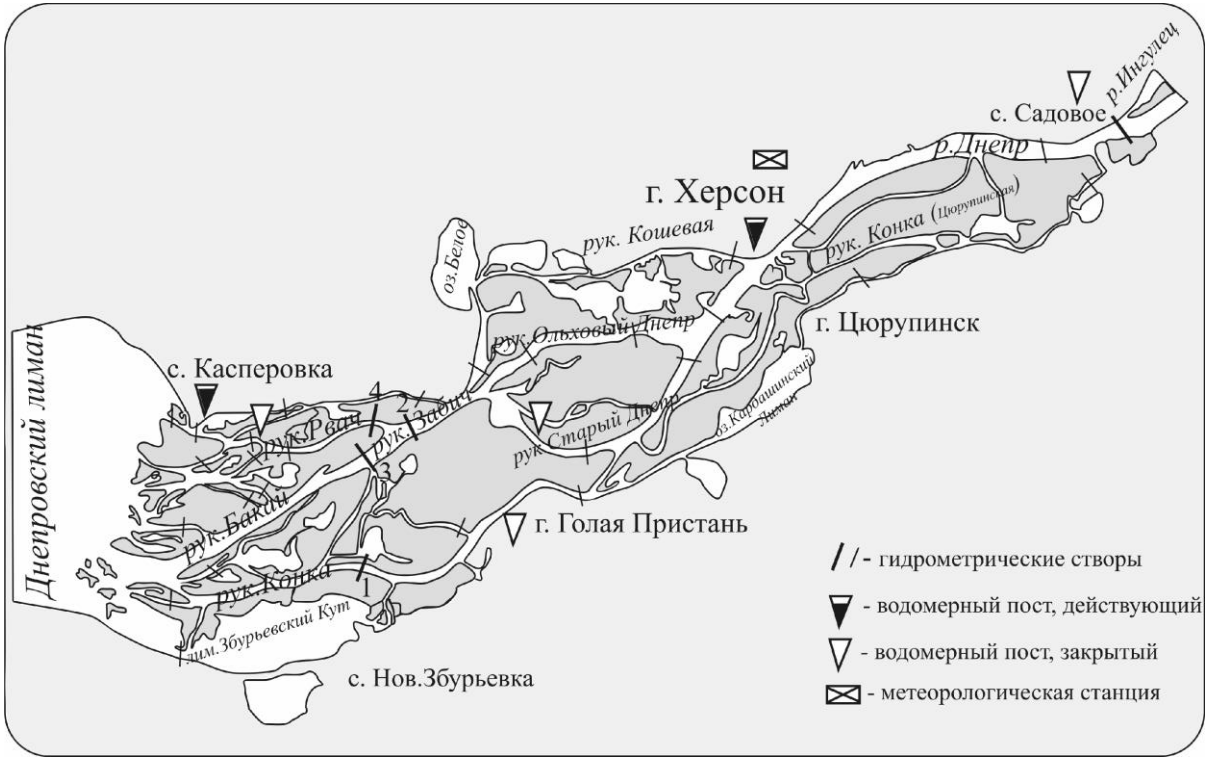


Рис. 2.7. Дельта р. Днепр и сеть гидрометеорологических наблюдений в период с 1933 г. по 1987

По данным многолетних наблюдений (с 1961 г. по 2009 г.) средний месячный расход воды меньше 400 $м^3/с$ (даже в месяцы с минимальной водностью) отмечается с эмпирической вероятностью менее 1 %. Поэтому для расчёта распределения расхода (стока) воды по основным рукавам р. Днепр в различные месяцы используются те же соотношения, что и для оценки распределения среднего годового расхода воды р. Днепр. При расходах воды менее 400 $м^3/с$ доля стока р. Днепр, поступающего в указанные рукава, увеличивается с ростом водоносности реки в вершине дельты [52].

На основании вышеизложенного, для оценки сезонного и годового распределения стока воды по устьевым рукавам р. Днепр принимаются постоянные соотношения между стоком реки и стоком в рукавах, приведенные в табл. 2.3. При возникновении обратных течений в придонных слоях водотоков отмеченные закономерности нарушаются, поэтому использовать полученные зависимости для периодов менее месяца не следует.

2.1.2. Экстремальный сток воды

Максимальный сток в вершинах морского устья рек Днепр и Юж. Буг наблюдается с марта по май, в период половодья, которое иногда совпадает с паводками, так как весной, кроме снеготаяния, часто выпадают осадки, которые увеличивают водоносность рек. В конце лета, в августе, осадков выпадает мало, истощается подземное питание рек, срабатываются водохранилища, поэтому в морское устье рек поступает наименьший за год сток. На реках Ингул и Ингулец обычно минимальный сток бывает в сентябре. Особенно низкий сток был на реках во время наполнения водохранилищ.

Экстремальные значения водоносности определялись по срочным экстремальным уровням воды в вершинах морского устья рек Днепр и Юж. Буг (табл. 2.4).

Кроме экстремальных значений расхода воды в табл. 2.4 представлены модульные коэффициенты экстремумов, характеризующие их отклонение от средней величины. Очевидно, что бóльшая внутригодовая зарегулированность стока р. Днепр (по сравнению с р. Юж. Буг, Ингул и Ингулец) обусловливает меньшее значение модульного коэффициента максимума. Минимальный расход р. Днепр

составляет около 1 % , а р.Юж.Буг – около 3 % от нормы, на реках Ингул и Ингулец бывали случаи, когда стока не наблюдалось.

Таблица 2.3

Среднее за период с 1961 г. по 2009 г. распределение расхода воды р. Днепр по основным устьевым рукавам $\left(\frac{м^3/с}{\%}\right)$

Месяц	Водоток, № гидроствора (в соответствии с рис. 2.7)				
	р. Днепр, Каховская ГЭС	рук. Конка, 1	рук. Забич, 2	рук. Бакай, 3	рук. Рвач, 4
I	1480	225	1260	744	511
II	1630	248	1380	820	562
III	1650	251	1400	830	569
IV	1780	271	1510	895	614
V	1920	292	1630	966	662
VI	1290	196	1090	649	445
VII	898	136	762	452	310
VIII	767	117	651	386	265
IX	772	117	655	389	266
X	1020	155	865	513	352
XI	1320	201	1120	664	455
XII	1490	226	1260	749	514
Год	1340 100	204 15,2	1140 84,8	674 50,3	462 34,5

В период естественного режима стока в вершинах морского устья рек наблюдались расходы воды, превышающие экстремальные значения, приведенные в табл. 2.4. Например, в устье р. Днепр наибольший расход воды (25800 $м^3/с$) отмечался 22 – 24.04.1931 г. Это значение получено по восстановленному ряду, т.к. в створе Каховской ГЭС в это время наблюдения не производились. Коэффициент корреляции использованной зависимости между расходами воды у Каховской ГЭС и на ближайшем гидростворе равен 0,96 ± 0,0002. Повторяемость такого расхода воды р. Днепр не превышает 0,003 %.

Экстремальные значения расхода воды р. Днепр (табл. 2.4) приводятся для периода зарегулированного стока реки, а в замыкающих створах рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец – за весь имеющийся ряд наблюдений, так как на режиме стока этих рек сооружение водохранилищ и прудов сказалось в меньшей степени, чем на р. Днепр. Так как кривые распределения расхода воды рек (рис.2.6) асимметричны, модульные коэффициенты минимальных значений водоносности во много раз меньше максимальных (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Экстремальные значения расхода воды ($м^3/с$) рек

Характеристика	Вершина морского устья реки			
	Днепр	Юж. Буг	Ингул	Ингулец
Наибольший расход воды, $м^3/с$	9750	5320	850	851
Дата	21.05.1958	08.04.1932	20.02.1941	12.03.1937
Модульный коэффициент максимума, равный $Q_{наиб.}/Q_{ср.}$	7,3	55,8	108	112
Наименьший расход воды, $м^3/с$	11,8	2,60	0	0
Дата	14.03.1965	24.02.1954	30.08 – 16.09.1957	1954 (6%)
Модульный коэффициент минимума, равный $Q_{наим.}/Q_{ср.}$	0,01	0,03	0	0
Размах расхода воды, $м^3/с$, равный $Q_{наиб.} - Q_{наим}$	9740	5320	850	851
Модульный коэффициент размаха, равный $(Q_{наиб} - Q_{наим.}) / Q_{ср.}$	7,3	55,8	108	112

Экстремальную водоносность в вершинах морского устья рек характеризует табл. 2.5, где представлены средние месячные экстремальные значения, которые обобщались за период с 1961 г. по 2009 г. Внутригодовая изменчивость экстремальной водоносности показана на рис. 2.8, из которого видно, что в период повышенной водности рек отношение $Q_{макс}$ / $Q_{мин}$ для р. Юж. Буг больше, чем для р. Днепр. Это также последствия бóльшего выравнивания внутриго-

дового распределения стока р. Днепр из-за его регулирования каскадом днепровских водохранилищ.

Таблица 2.5

Средние месячные и абсолютные значения экстремумов водоносности в вершинах морского устья рек

Месяц	Характеристики экстремумов водоносности рек, $м^3/с$					
	Средний из наибольших	Абсолютный максимум	Год	Средний из наименьших	Абсолютный минимум	Год
	р. Днепр					
I	2080	2910	1972	650	62,0	1965
II	2190	2860	1971	912	75,8	1997
III	2360	4760	1966	900	11,8	1965
IV	2570	9000	1970	1070	68,9	1965
V	2420	9440	1970	1310	47,3	1997
VI	1910	4740	1970	575	43,1	1997
VII	1460	2430	1968	320	27,0	1985
VIII	1250	2640	1962	306	61,0	1981
IX	1200	2760	1962	315	76,7	1997
X	1540	2560	1994	433	97,8	1997
XI	1860	3690	1998	571	20,2	1964
XII	2030	3020	1993	669	28,1	1964
	р. Южный Буг					
I	135	855	1979	55,3	15,8	1963
II	191	961	1977	65,0	10,3	1964
III	477	2000	2003	83,5	10,3	1964
IV	383	2410	1980	83,2	21,3	1974
V	126	260	1973	47,6	14,2	1961
VI	98,7	234	1970	39,8	9,20	1968
VII	128	414	1982	39,2	3,34	1968
VIII	97,0	324	1991	32,2	5,40	1963
IX	96,6	343	1989	35,0	7,50	1963
X	112	277	1968	54,7	11,8	1963
XI	99,0	260	1974	54,7	4,60	1961
XII	107	263	1980	55,2	13,6	1963

Таким образом, чем больше относительный размах расхода воды (модульный коэффициент размаха), тем больше изменчивость экстремальной водоносности реки и больше соотношение между средними из максимальных месячных и минимальных месячных расходов воды.

Наибольшие и наименьшие срочные расходы воды могут наблюдаться в год любой водности и не всегда обусловлены только природными факторами. Например, в период зарегулированного стока рек наиболее многоводным для р. Днепр был 1970 г., а наименее водным – 1960 г. Средние месячные экстремумы также отмечались в эти годы, а абсолютный (срочный) максимум стока зафиксирован в 1958 г., минимум – в 1965 г., хотя эти годы не отличались экстремальной водностью.

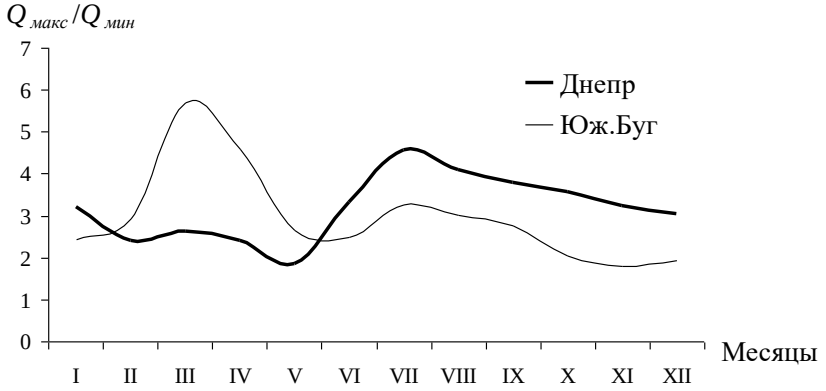


Рис. 2.8. Соотношение экстремального месячного стока рек

Многоводные и маловодные годы группируются обычно по 2 – 3 года. Иногда сразу за многоводным наблюдается маловодный год.

Повторяемость максимумов расходов воды больше минимумов: наибольший расход воды бывает 1 – 2 раза в сто лет, наименьший – 1 раз в 150 лет. Абсолютный максимум, подобный наблюдавшемуся на р. Днепр весной 1931 г., случается редко – 1 раз в 300 лет [1].

Регулирование стока воды водохранилищами способствовало уменьшению экстремальной водоносности рек. Это обстоятельство может быть причиной перераспределения стока воды между устьевыми рукавами р. Днепр.

2.2. Уровень воды

Уровень воды, одна из основных гидрологических характеристик, лимитирующий фактор судоходства, строительства, рыболовства, причина чрезвычайных ситуаций. Поэтому описание его климатических характеристик и изменчивости – важная океанографическая задача.

Наблюдения за уровнем воды. Наблюдения за уровнем воды в пределах морского устья рек Днепр и Юж. Буг (включая водпост в пгт Александровка, расположенный выше вершины устья) в настоящее время осуществляются на 9 водомерных постах, 6 из которых оснащены самописцами уровня воды (рис. 1.28, табл. 1.4).

Ранее всего уровенные наблюдения были организованы в пунктах Очаков (1874 г.), Херсон (1876 г.), Каховка (1877 г.), Касперовка (1904 г.) и Николаев (1916 г.). В разное время были открыты водомерные посты в населённых пунктах Львово, Садовое, Голая Пристань, Дремайловка, Красная Хата, Аджигиол, Нов. Одесса, Прибужаны и др., но наблюдения были прекращены и поэтому данные по указанным постам в обобщении не использовались. Кроме того, различными институтами и ведомствами организовывались временные водомерные посты в устьевых рукавах р. Днепр, озёрах и в Днепровско-Бугском лимане.

До 50-х годов прошлого века только посты в Днепровско-Бугском лимане были привязаны к единой абсолютной системе отметок, речные водомерные посты имели абсолютные отметки Днепровской описной партии, а также условные отметки.

Приведение уровенных наблюдений к Главной высотной основе СССР в Балтийской системе высот 1977 г. осуществлялось на большинстве водомерных постов в 1986 г. По имеющимся сведениям [46] на водпостах Новая Каховка, Херсон и Александровка используется Балтийская система высот эпохи 1950 г., привязка к которой осуществлялась в 1960 г. (пгт Александровка) и в 1963 г. (г. Новая Каховка, г. Херсон). Данных о переходе на систему высот БС-77 по этим постам не имеется. К 1978 г. все водомерные посты морского устья имеют отметку нуля графика -5,00 м БС, за исключением водпоста в пгт Александровка, где нуль графика равен -3,02 м БС.

Посты неоднократно переносились, изменялись отметки нулей графиков постов и сроки наблюдений. В настоящее время наблюдения по футштокам на всех постах осуществляется дважды в сутки – в 06 и 18 часов МСВ.

Точность измерения уровня воды в морском устье рек Днепр и Юж. Буг может быть различная и не всегда удовлетворительная, т.к. высотное положение реперов в последнее время не контролировалось ГУГК, надёжность высотной основы уровенных постов не проверялась, не выполнялась проверка правильности приведения высот уровня к нулю поста. Материалы наблюдений за уровнем воды являются приближёнными.

Обобщение данных наблюдений за уровнем воды выполнялось за 1988 – 2009 гг., 1979 – 2009 гг., а также за современный климатический период (1961 – 2009 гг.) по данным ГВК, ч.2 «Морские устья рек», подготавливаемым НЦГМ и МО УкрНИГМИ [46].

Многолетние изменения уровня воды. Вековые колебания уровня воды морского устья в основном обусловлены изменениями стока рек Днепр и Юж. Буг. На уровень воды устьевого взморья, кроме того, оказывает влияние колебания уровня моря и стока р.Дунай. При этом очевидно, что основная роль в изменении уровня моря принадлежит суммарному стоку впадающих в него рек [45].

Средний годовой уровень воды морского устья рек Днепр и Юж. Буг составляет около 486 см (средний уровень воды Чёрного моря равен 484 см) и изменяется аналогично среднему годовому расходу воды рек Дунай, Днепр и р. Юж. Буг (рис. 2.1, 2.9), вклад которых в суммарном стоке рек в Чёрное море составляет ≈ 80 %.

Однако, если сток воды указанных рек не имеет значимых тенденций (разд. 2.1), то средние годовые уровни воды (за период с 1961 г. по 2009 г.) повсеместно, кроме водпостов, расположенных в населённых пунктах Нов. Каховка, Александровка, Херсон и Касперовка, увеличиваются в среднем на 0,13 – 0,28 см в год. Причём, за последние двадцать лет (1988 – 2009 гг.) тенденции увеличения уровня воды возросли до 0,29 – 0,76 см в год. Эти тенденции, вероятно, обусловлены ростом уровня моря, опусканием суши, а в вершинах морского устья – её поднятием (так как уровень воды здесь, хотя и не значимо, но уменьшается), уплотнением рыхлых осадочных отложений, просадкой грунта и др., см. разд. 1.2). Не исключе-

но, что точность измерения уровня воды в последние годы уменьшилась из-за отсутствия высокоточных нивелировок реперов и реек, невязок при использовании различных высотных систем и других погрешностей наблюдений.

Характерные уровни воды за период с 1988 г. по 2009 г. на водомерных постах морского устья рассматриваемых рек представлены в табл. 2.6

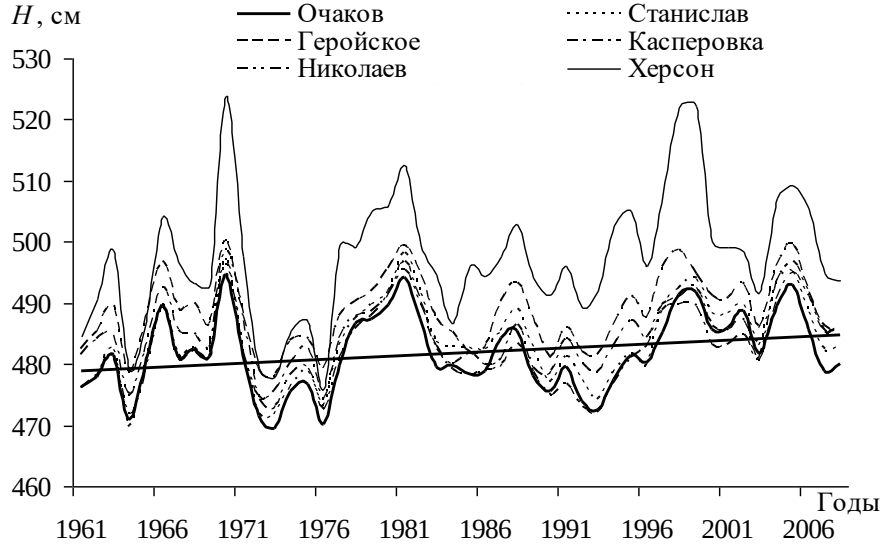


Рис. 2.9. Многолетние изменения уровня воды (*H*, см) на водомерных постах морского устья рек Днепр и Юж. Буг

Анализ уровенных наблюдений показал, что средний многолетний уровень воды, осреднённый за современный климатический период (1961 – 2009 гг.), в Днепровско-Бугском лимане на 1 см ниже среднего уровня, приведенного в табл. 2.6. На водпостах Парутино и Херсон он меньше на 3 и 4 см, а в вершинах морского устья – больше на 4 (Нов. Каховка) и 10 см (Александровка).

Из табл. 2.6 видно, что уровень воды в г.Николаеве ниже, чем где-либо в Днепровско-Бугском лимане и в среднем равен уровню воды в г. Очакове, а в отдельные годы – даже ниже последнего

(рис.2.9), что ранее не отмечалось [1]. В то же время, уровень воды в с. Геройском выше, чем на других постах, даже расположенном в рук. Рвач в/п Касперовка, хотя ранее, по литературным данным [1], наблюдалось обратное – уровень воды в с. Геройском был на 10 – 12 см ниже, чем в этом рукаве р. Днепр. Это вызывает сомнение в достоверности уровенных наблюдений на некоторых водомерных постах. В последние 20 лет средний многолетний уровень воды в с. Геройское превышает уровень воды в г. Николаеве в среднем на 7 см (табл. 2.6, рис. 2.9).

Таблица 2.6

Характерные уровни воды на водомерных постах морского устья

Водомерный пост	Уровень воды, см БС-77 см над нулем графика					Размах уровня воды, см
	средний годовой	наибольший	дата	наименьший	дата	
Новая Каховка	22 / 522	403 / 903	03.05 1970	-142 / 358	23.11.1975	545
Херсон	1 / 501	164 / 664	07.05 1970	-118 / 382	23.11.1975	282
Касперовка	-14 / 486	92 / 592	15.03 1966	-120 / 380	13.11.1957	212
Александровка	110 / 412	1096 / 1398	08.04 1932	-17 / 285	29.08.1994	1113
Николаев	-17 / 483	86 / 590	10.11 1981	-151 / 353	12.11.1984	237
Парутино	-14 / 486	61 / 561	10.11 1981	-118 / 382	12.11.1984	179
Станислав	-15 / 485	91 / 591	03.05 1978	-82 / 418	12.03.1972, 12.11.1984	173
Геройское	-10 / 490	62 / 562	14.05 1970	-81 / 419	13.11.1957	143
Очаков	-17 / 483	55 / 555	02.05 1978	-99 / 401	12.11.1984	154

Причины такой аномалии пока точно не установлены. Возможно, это связано: с недоучётом разнонаправленных движений земной коры (разд.1.2); неточностью нивелировок; погрешностями измерений; увеличением подпора бугско-лиманских вод днепролиманскими; сгонно-нагонными явлениями, обусловленными преобладающими северо-восточными и северными ветрами, вызывающими повышение уровня воды в с. Геройском и понижение – в г. Николаеве. Учитывая, что среднее превышение уровня воды в с. Геройском над уровнем в г. Николаеве изменялось резко, а именно: с 1961 г. по 1986 г. среднее расхождение составляло 5 см, с 1987 г. по 1995 г. – 9 см (максимальное достигало 11 см), с 1996 г. по 2005 г. – 6 см, в 2006 – 2007 гг. оно равнялось 0 – 1 см, а в 2009 г. уровень в г. Николаеве был выше, чем в с. Геройское на 1 см, причины могут быть комплексными, и данный вопрос требует специального исследования.

Межгодовые колебания среднего годового уровня воды в вершинах морского устья рек Днепр и Юж. Буг составляют 50 – 80 см, а на постах в Днепровско-Бугском лимане – 20 – 30 см. В с. Александровка размах среднего годового уровня воды – наибольший и достигает 155 см.

Размах экстремальных уровней (табл. 2.6), выбранных за период зарегулированного стока р. Днепр и из всего ряда наблюдений на р. Юж. Буг (так как зарегулированность стока этой реки меньше, чем р. Днепр), так же уменьшается: с 11,1 – 5,5 м в вершинах морского устья до 1,4 – 1,8 м на устьевом взморье. Это свидетельствует об определяющем влиянии речного стока на развитие экстремальных уровенных изменений.

Уклон водной поверхности. Отметки среднего за год уровня воды закономерно понижаются по направлению к устьевому взморью, исключая сомнительные данные по в/п Николаев и Геройское. Средний годовой перепад уровня вдоль продольных осей Днепровского и Бугского лиманов представлен на рис. 2.10.

Из рис. 2.10 видно, что с увеличением стока р.Днепр возрастает перепад уровня воды вдоль Днепровского лимана (по оси г.Херсон – г.Очаков) и, в основном, уменьшается перепад уровня воды вдоль оси Бугского лимана (с. Геройское – г. Николаев). Очевидно, уровень воды в г. Николаеве при увеличении расхода воды р. Днепр

увеличивается, так как водная масса Бугского лимана «подпирается» днепро-лиманскими водами, что и обусловливает обратный уклон уровня воды в Бугском лимане (между водпостами Парутино – Николаев) в многоводные годы. Подпору бугско-лиманских вод днепро-лиманскими способствует узость пролива между косами Русская и Волошская, а также искусственные сооружения в районе Днепро-Бугского порта, затрудняющие водообмен между лиманами.

Средний многолетний продольный профиль уровенной поверхности в морском устье рек Днепр и Юж. Буг представлен на рис. 2.11. Из рисунка очевидно, что р.Днепр более равнинная, т.к. средний уклон её водной поверхности почти в 3 раза меньше, чем р. Юж. Буг. На участке Николаев – Парутино преобладает обратный уклон водной поверхности (т.к. уровень в с. Парутино в основном выше, чем уровень воды в г. Николаеве), чему пока нет однозначного объяснения (рис. 2.10, 2.11).

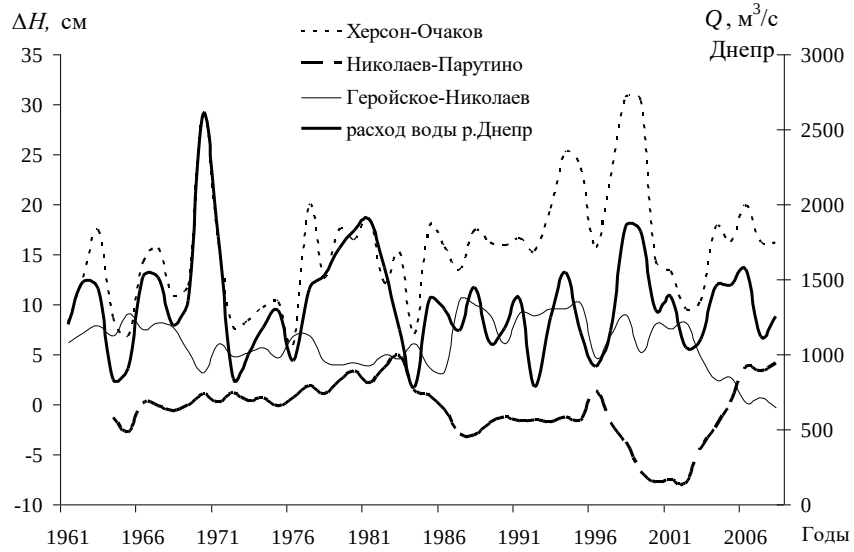


Рис. 2.10. Перепад среднего годового уровня воды между пунктами наблюдений (Δ*H*, см) и расход воды р. Днепр в вершине морского устья рек

Среднее падение уровня воды между вершиной устьевой области р. Днепр и Днепровским лиманом составляет 0,43 м (средний

уклон 0,003 м/км), р. Юж. Буг и Бугским лиманом – 1,26 м (средний уклон 0,008 м/км).

В многоводные годы уклон водной поверхности вдоль оси Днепровского лимана увеличивается, в маловодные уменьшается. При среднем годовом расходе воды р. Днепр у Каховской ГЭС менее 800 $м^3/с$ уровень воды в г. Новая Каховка и г. Херсон имеет близкие отметки, уклон водной поверхности незначительный. Увеличение среднего годового расхода воды до значений, превышающих 1800 $м^3/с$, приводит к росту уклона между водпостами Нов.Каховка – Очаков почти вдвое.

Влияние стока рек и уровня моря на средний годовой уровень воды в морском устье. Уровень воды – интегральная характеристика, зависящая от стока рек (расхода воды), ветра, колебаний уровня приёмного водоёма и др. При этом, средний за год уровень моря и устьевого взморья обусловлен водоносностью рек бассейна Чёрного моря, так как осадки, выпадающие на поверхность моря, компенсируются испарением [45], а нагонные повышения уровня – его понижением при сгонах и наоборот. Если сток рек Днепр и Юж. Буг непосредственно влияет на уровень в водотоках и водоёмах морского устья, то суммарный сток рек, впадающих в Чёрное море, влияет опосредованно через колебания уровня приёмного водоёма.

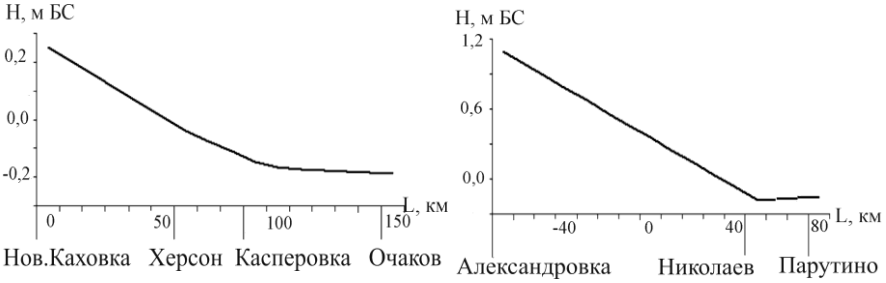


Рис. 2.11. Средний продольный профиль водной поверхности морского устья рек Днепр и Юж. Буг

В вершинах морского устья рек зависимость между средним годовым расходом и уровнем воды однозначная, но уже в устьевых рукавах р. Днепр она становится менее тесной (рис. 2.12), а в Днепровско-Бугском лимане уровень почти не зависит от расхода воды,

изменяясь синхронно с изменениями уровня моря. Это подтверждается наличием высокой корреляции уровня воды на в/п Очаков с уровнем воды на в/п Севастополь (рис. 2.13, а). При этом связь между значениями среднего годового уровня воды в г. Очакове и г. Херсоне менее тесная.

Из рис. 2.12 видно, что коэффициент корреляции зависимостей $Q = f(H)$ уменьшается по направлению к морю с 0,98 (г. Нов. Каховка) до 0,69 (г. Очаков). Это свидетельствует о том, что колебания уровня воды в зависимости от расхода р. Днепр (в створе Каховской ГЭС) закономерно затухают.

Уменьшение коэффициента корреляции между этими характеристиками водного режима обусловлено особенностями Днепровско-Бугского лимана. В узости лимана, особенно в его вершинах, происходит усиление сгонно-нагонных, шельфовых, сейшевых и других колебаний уровня, как Чёрного моря, так и самого лимана, что и отражается на характере связи уровня с расходом р.Днепр. Уровень воды в устьевых рукавах обычно включает подпорную составляющую, что уменьшает зависимость между уровнем и стоком (расходом) воды.

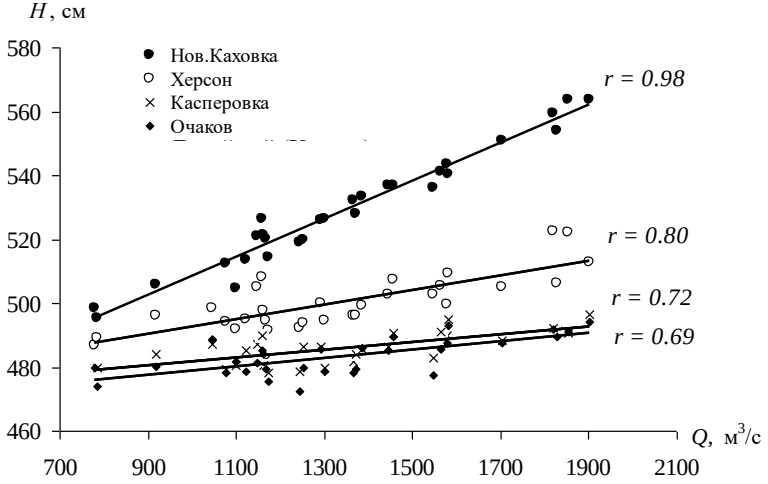


Рис. 2.12. Зависимости уровня (H, см) на водомерных постах морского устья от среднего годового расхода воды (Q, м^3/с) р. Днепр за 1979 – 2009 гг.

О зависимости среднего годового уровня воды в г. Николаеве и с. Геройском от среднего годового расхода воды р. Днепр (за период с 1963 г. по 2009 г.) свидетельствует рис. 2.14.

В последние 25 лет аналогичные, представленным на рис. 2.14, зависимости – менее тесные, их корреляционные отношения уменьшились до 0,51 (с. Геройское) и 0,50 (г. Николаев).

Характер уровенных колебаний у нижней границы дельты р. Днепр усложняется особенностями водообмена между Днепровским и Бугским лиманами и с прилегающей северо-западной частью Чёрного моря. Средний годовой уровень воды на водпостах Херсон и Касперовка (за весь период наблюдений и за 1979 – 2009 гг.) в бóльшей степени зависит от среднего годового уровня воды на водпосту в г.Очакове (коэффициенты корреляции 0,88 и 0,93 соответственно), чем от среднего за год расхода воды р. Днепр (рис.2.12).

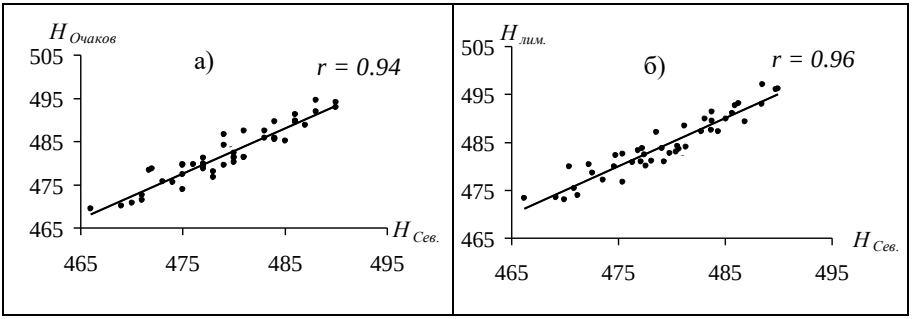


Рис. 2.13. Связь среднего годового уровня воды в г.Очаков (а) и среднего уровня Днепровско-Бугского лимана (б) с уровнем моря в г. Севастополь ($H_{Сев.}$, *см*) за 1963 – 2009 гг.

Годовой сток р. Днепр влияет на средний уровень Днепровско-Бугского лимана, коэффициент корреляции этих величин за период с 1961 г. по 2009 г. составляет 0,72. Однако в последние 25 лет зависимость стала менее тесной, коэффициент корреляции уменьшился до 0,56. Возможно, это связано со стабилизацией попусков Каховской ГЭС на низком уровне, средний годовой расход с 1984 г. по 2009 г. составлял 1270 $м^3/с$, что ниже нормы (разд. 2.1), поэтому влияние морских факторов на уровень в лимане могло возрасти. Не исключено, что снижение качества уровенных наблюдений также

могло быть причиной уменьшения коэффициента корреляции зависимости $Q = f(H)$. Действительно, влияние уровня моря на режим уровня в лимане существенное – коэффициент корреляции среднего годового уровня воды Днепровско-Бугского лимана и уровня воды в г.Севастополе равен 0,96 (рис. 2.13, б). Он выше, чем между уровнем в г. Очакове и г. Севастополе (рис. 2.13, а), так как при осреднении значений уровня в лимане отфильтровывается сгонно-нагонная составляющая уровня и осреднённый уровень лимана становится ближе к уровню моря, чем уровень в г. Очакове, на величину которого влияет сгонный и нагонный ветер и др. факторы, зачастую локальные.

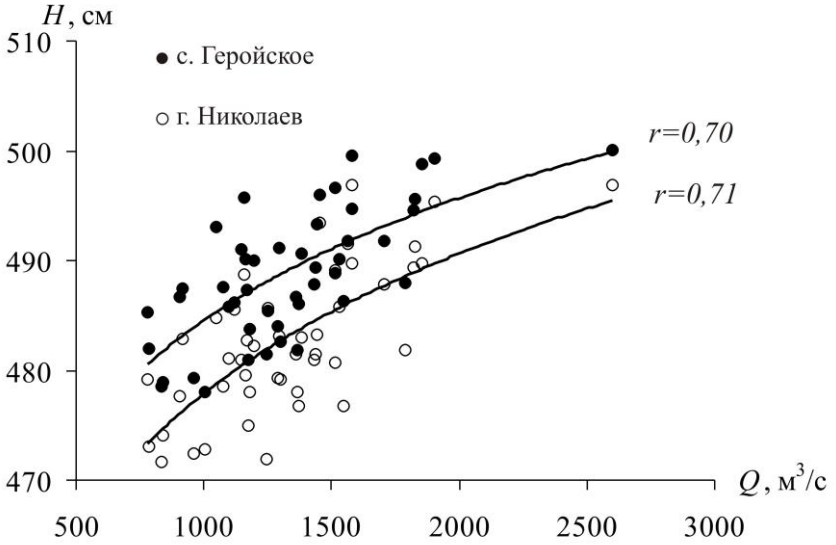


Рис. 2.14. Зависимости среднего годового уровня воды в г.Николаеве и с.Геройском (H, см) от расхода воды р.Днепр у Каховской ГЭС (Q, м^3/с) за период с 1963 г. по 2009 г.

При анализе уровня воды открытой части устьевого взморья использовать наблюдения на в/п Одесса можно только за периоды с 1963 г. по 1987 г. и с 1997 г. по настоящее время, так как в период с 1988 г. по 1995 г. однородность рядов наблюдений за уровнем воды на этом водомерном посту была, очевидно, нарушена (рис. 2.15).

Этот вывод подтверждается отклонением точек на линейной зависимости, приведенной на рис. 2.15, и аналогичной зависимостью между уровнями воды на водпостах Одесса и Севастополь, где также отмечается отклонение точек от линии связи в тот же период, с 1988 г. по 1995 г.

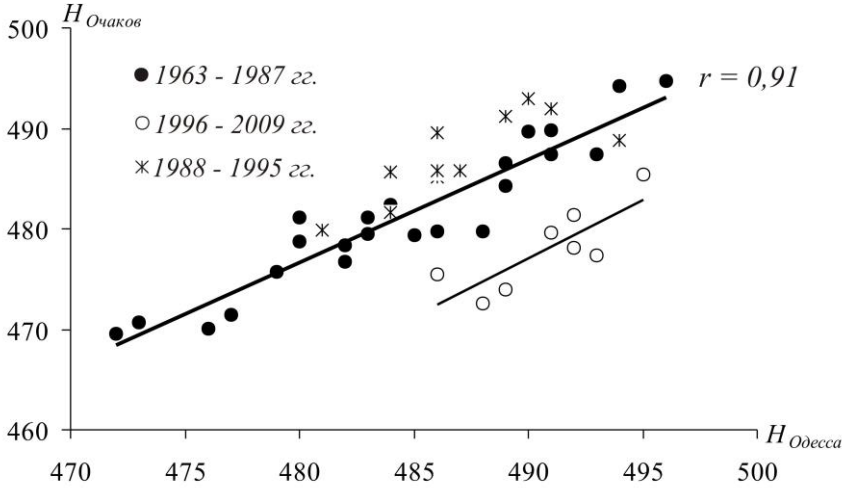


Рис. 2.15. Связь между уровнем воды на в/п Очаков и в/п Одесса в разные периоды наблюдений

Сезонные колебания уровня воды. Внутригодовые изменения уровня обусловлены сезонными изменениями стока рек и наиболее выражены в устьевой области р. Юж. Буг, сток которой, по сравнению с р. Днепр, менее зарегулирован.

Зарегулирование стока привело к его сезонному перераспределению и уменьшению внутригодовых изменений уровня воды, снижению уровня воды в период половодья и его увеличению в меженный период. Сбросы в нижний бьеф водохранилищ осуществляются не только во время половодья и паводков, но и в предшествующий им период (для подготовки ёмкости водохранилищ к приёму повышенного объёма воды), они имеют недельную периодичность (в выходные дни резко уменьшаются) и суточный ход (в ночное время сбросы минимизируются). Указанные особенности попусков из во-

дохранилищ, способствующие сглаживанию годового хода уровня, затрудняют выделение отдельных фаз водного режима, особенно на устьевом взморье, так как гидрограф имеет «пилообразный» вид.

Сезонные изменения уровня воды на водомерных постах морского устья рек Днепр и Юж. Буг идентичны внутригодовому распределению расхода воды рек (рис.2.2) и показаны на рис. 2.16. В среднем сезонный размах уровня составляет 0,2 м (на большинстве постов) – 1,1 м (р. Юж. Буг – пгт Александровка).

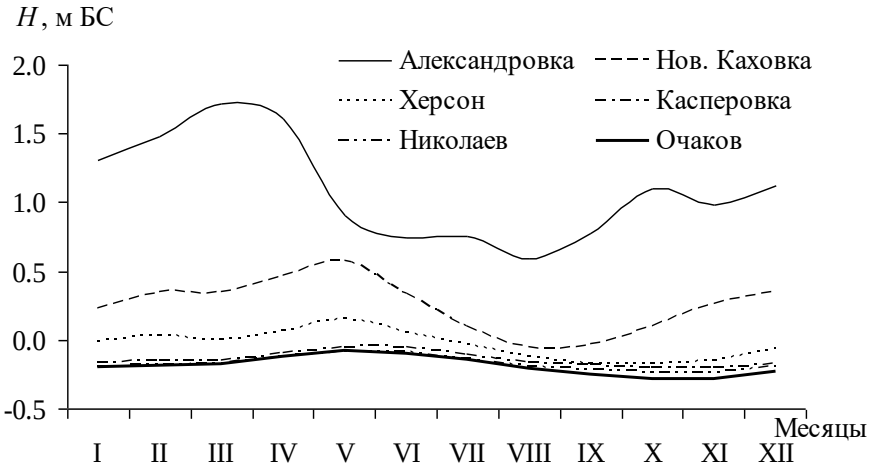


Рис. 2.16. Внутригодовые изменения уровня воды (*H*, м БС) на водомерных постах морского устья рек Днепр и Юж. Буг

У г. Херсона годовой размах уровня воды в среднем в 2,5 раз, а в с. Касперовка в 3,9 раз меньше, чем в вершине морского устья р. Днепр, у г. Новая Каховка (рис.2.16).

Функция распределения средних месячных значений уровня воды на водпостах в Днепровско-Бугском лимане, в отличие от распределения расхода воды рек Днепр и Юж. Буг (рис. 2.6), может быть аппроксимирована близким к нормальному законом распределения. Это свидетельствует, вероятно, о многофакторной обусловленности уровня, так как он зависит не только от расхода воды, но и

от сгонно-нагонных явлений, а также других слабо зависимых случайных факторов.

Модуль уровня или модульный коэффициент (K_i), рассчитанный аналогично модулю стока (разд. 2.1), показывает, во сколько раз среднее месячное значение отличается от среднего годового (рис. 2.17).

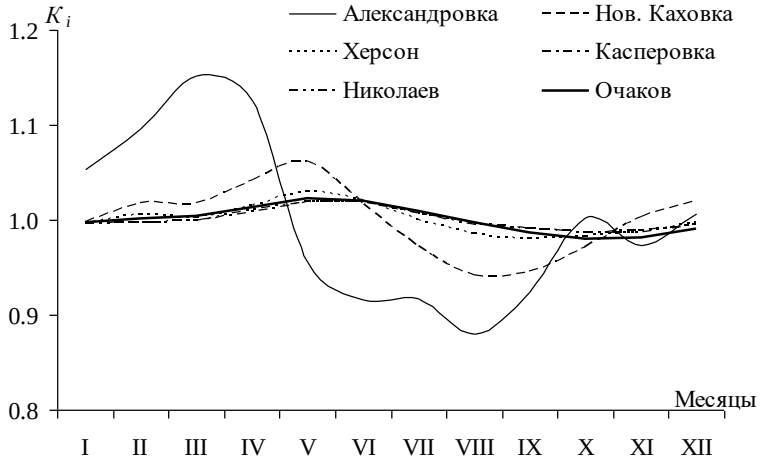


Рис. 2.17. Внутригодовые изменения модульного коэффициента (K_i) уровня воды морского устья рек Днепр и Юж. Буг за 1988 – 2009 гг.

Различия в годовом ходе модульного коэффициента уровня воды на водпостах морского устья рек Днепр и Юж. Буга *(K_i)*, очевидные из рис. 2.17, обусловлены особенностями водного режима в отдельных частях морского устья. Чем дальше расположен водомерный пост от вершин морского устья, тем меньше отклонение среднего месячного уровня воды от среднего годового, что обусловлено преобладающим влиянием на изменчивость уровня морских факторов. Осреднённая за месяц высота стояния уровня в устьевых рукавах р. Днепр и Днепровско-Бугском лимане отличается от среднего годового уровня за период зарегулированного стока рек в среднем на 1 – 2 %. Даже в вершине устьевой области р. Днепр (в г. Новая Каховка) максимальное отклонение среднего месячного уровня воды от годового не превышает ± 6 %.

Зарегулирование стока р. Днепр сказалось на внутригодовом распределении K_i, он стал менее изменчивым в течение года.

Сезонный ход *СКО* (рис. 2.18), рассчитанный по среднемесячным величинам, показывает особенности изменчивости уровня в различных частях морского устья: наиболее изменчив уровень воды р. Юж. Буг (в/п Александровка), наименее – уровень воды в западной части Днепровского лимана (в/п Очаков). Максимальные значения *СКО* характерны для периодов повышенной водности рек.

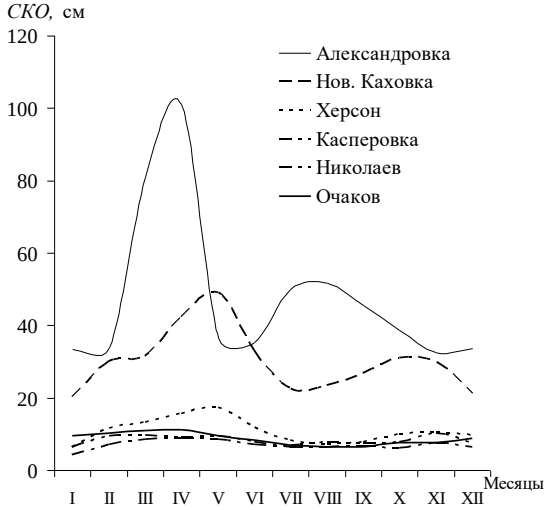


Рис. 2.18. Среднее квадратическое отклонение среднемесячного уровня воды на водпостах морского устья рек Днепр и Юж. Буг

Зарегулированность стока рек Днепр и Юж. Буг способствовала уменьшению изменчивости уровня воды во времени, особенно на водпостах в лимане. Только в вершинах морского устья рек *СКО* уровня достигает 49 см в мае в г. Новая Каховка (р. Днепр) и 101 см в апреле в пгт Александровка (р. Южный Буг).

Синоптическая изменчивость уровня воды. Кратковременные колебания уровня обусловлены действием ветра, сейшами, сбросами из водохранилищ, осадками, собственными колебаниями, как лима-

на, так и Чёрного моря длинноволновой природы и другими причинами.

Среди краткосрочных изменений уровня наиболее выражены и изучены синоптические, недельные, суточные и полусуточные колебания.

При определённых гидрометеорологических условиях короткопериодные изменения уровня могут быть значительными, вызванные сгонным или нагонным ветром они приводят к отклонениям уровня от средних многолетних величин, иногда опасным.

Синоптические изменения уровня (с периодом 3 – 7 дней) обусловлены сменой синоптических условий, изменением метеорологических факторов (направления ветра, давления, количества осадков и пр.). При этом, для одних частей морского устья рек действующий ветер может быть сгонным, для других – нагонным (разд. 1.7). Например, для восточной части Днепровского и Бугского лимана преобладающий северо-восточный ветер является сгонным, а для южной части Днепровского лимана – нагонным. Восточный ветер вызывает сгон в устьевых рукавах р. Днепр и восточной части Днепровского лимана, нагон – в районе г. Очакова и мало влияет на уровень воды в Бугском лимане и у с. Геройское. Южный ветер способствует сгону воды у Кинбурнской косы и её нагону в Бугский лиман.

Наибольшие изменения уровня воды при нагонах бывают в сужении лимана вблизи мыс. Станислав (из-за подпора днепровской водой), при сгонах – у г. Николаева и с. Парутино (гл. 10). По направлению к рекам и к морю размах колебаний уровня воды сгонно-нагонного происхождения уменьшается.

Резкие краткосрочные изменения уровня могут осложнять хозяйственную деятельность, как в водной среде, так и на побережье. Критерием опасности этих изменений являются критические отметки уровня воды для постов морского устья рек, представленные в табл. 2.7. Отклонение уровня воды от указанных отметок может оказать негативное влияние на хозяйственную деятельность и сооружения. Критические отметки уровня воды не остаются постоянными во времени, они могут уточняться и изменяться в соответствии с реальными условиями затопления объектов хозяйствования. Анализ экс-

тремальных отклонений уровня воды от критических отметок выполнен в разд. 10.1.

Таблица 2.7

Критические отметки уровня воды в морском устье рек Днепр и Юж. Буг в 2009 г.

Пункт, водный объект	Критические отметки, см БС-77 / см над нулём графика	
	при нагоне	при сгоне
г. Новая Каховка – р. Днепр	280 – 480 / 780 – 980*	–
г. Херсон – р. Днепр	60 / 560	-70 / 430
с. Касперовка – рук. Рвач, р.Днепр	35 / 535	-80 / 420
пгт Александровка – р. Юж. Буг	858 / 1160	–
г. Николаев – лим. Бугский	45 / 545	-70 / 425
с. Парутино – лим. Бугский	35 / 535	-70 / 430
с. Станислав – лим. Днепровский	35 / 535	-85 / 415
с. Геройское –лим. Днепровский	25 / 525	-75 / 425
г. Очаков – лим. Днепровский	20 / 520	-80 / 420

*Примечание: * – при отметке 280 см БС происходит выход воды на пойму, при отметке 480 см БС – подтопление сооружений и объектов; «–» – критическая отметка при сгоне не установлена.*

Пример сгонно-нагонных явлений, сопровождающихся кратковременным изменением уровня воды на постах, показан на рис. 2.19.

Северо-восточный ветер, скоростью 5 – 13 м/с, 27 февраля 2005 г. вызвал понижение уровня воды в устьевых рукавах р. Днепр и у её нижней границы (в/п Херсон, в/п Касперовка), а также на в/п Николаев. В конце суток на в/п Очаков уровень повысился на 36 см, так как это направление ветра является для данного района нагонным, потому что пропускная способность Кинбурнского пролива, соединяющего Днепровско-Бугский лиман с Чёрным морем, не достаточна для транспорта всей водной массы, накопленной в западной части лимана в период сгона. Вода, аккумулировавшаяся в западной части Днепровского лимана, и вызвала повышение уровня у г. Очакова при сгонном ветре. Увеличение объёма воды в западной и центральной частях Днепровского лимана привело к подъёму уровня на в/п Геройское на 17 см и на 53 см на в/п Николаев (из-за подпора бугско-лиманских вод днепро-лиманскими). Значительное повыше-

ние уровня в г. Николаеве, очевидно, произошло в результате компенсационного нагона в Бугском лимане после ослабления действия сгонного ветра в ночные часы.

28 февраля северо-восточный ветер сменился северо-западным, скорость которого достигала 10 – 20 м/с. Это вызвало повышение уровня воды на водпостах Херсон и Касперовка на 39 и 36 см соответственно (рис.2.19). При этом на в/п Очаков, защищённом Очаковской косой от воздействия нагонного ветра, развился компенсационный сгон (после нагона 27.02), усиленный сейшеобразным колебанием уровня, вызванным сменой направления ветра.



Рис. 2.19. Пример сгонно-нагонных колебаний уровня воды 27 – 28.02.2005 г.

В результате уровень здесь понизился на 77 см. На в/п в г. Николаеве также произошло понижение, так как в это время объём воды в центральной части лимана не увеличивался, уровень на в/п Геройское начал понижаться, развился компенсационный сгон в Бугском лимане. Как видно из рис. 2.19 экстремумы уровня воды наблюдаются на водпостах со сдвижкой на 1 – 3 часа.

Как правило, кратковременные изменения уровня воды, обусловленные сгонно-нагонными явлениями, составляют ± 30 см. Денивеляция уровня в лимане может усиливаться бризовой циркуляцией, приливо-отливными и компенсационными течениями. Иногда нагоны в этом устье достигают 50 – 60 см, а сгоны – 80 – 100 см.

Уровень Днепровско-Бугского лимана в результате сгонно-нагонных явлений и воздействия комплекса факторов может за несколько часов измениться в пределах 100 см. Особенно это характерно для «граничных» постов в населённых пунктах Николаев, Очаков и Касперовка, расположенных вдоль осей Днепровского и Бугского лиманов.

Суточная изменчивость уровня воды. Из короткопериодных колебаний уровня воды доминируют полусуточные и суточные, которые однозначно выделяются при частотном анализе записей самописцев уровня.

Осреднённый за последнее двадцатилетие суточный ход уровня воды на различных водпостах показан на рис.2.20.

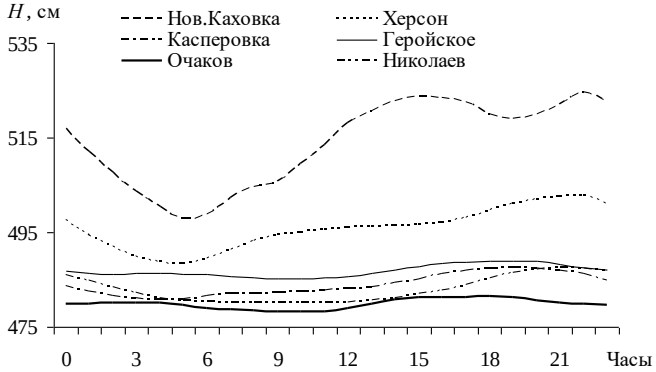


Рис. 2.20. Осреднённый суточный ход уровня воды морского устья рек Днепр и Юж. Буг

Из рис. 2.19 и 2.20 видно, насколько существенно может отклоняться уровень воды от средних суточных значений под действием ветра. Так средний размах синоптических колебаний уровня на отдельных постах, зачастую, в 2 – 3 раза больше суточного.

Суточные и полусуточные колебания уровня в этом морском устье обусловлены влиянием бризов, длинных волн, суточным регулированием стока гидроузлами водохранилищ. Средний суточный размах уровня в Днепровском лимане составляет 3 – 5 см, в северной части Бугского лимана и у нижней границы дельты р. Днепр – около 7 см, в устьевых рукавах р. Днепр – 14 см и в районе г. Нов. Каховка – 25 – 30 см (рис. 2.20).

В среднем, суточный максимум уровня воды Днепровского лимана отмечается на 6 час. позже, чем на устьевом взморье р. Дунай, что свидетельствует в пользу гипотезы М. Энгеля и И.В. Курчатова о распространении вдоль побережья волны перемещения [45]. В Кинбурнском проливе уровень воды достигает максимума в 15 – 18 час, в с. Геройское и с. Касперовка он отмечается спустя 1 – 2 часа и в северной части Бугского лимана (г. Николаев) его фиксируют обычно в 21 – 22 часа. На устьевом участке и в устьевых рукавах р. Днепр, подверженных влиянию сбросов Каховской ГЭС, максимальное значение уровня воды обычно приурочено к 20 – 22 час. Начиная с 23 час. в нижнем бьефе Каховской ГЭС уровень резко уменьшается.

На постах также несинхронно наблюдается наступление минимума уровня воды: ранее всего минимум фиксируют на устьевом участке и в устьевых рукавах р. Днепр (4 – 6 час.), затем (в 9 – 10 час.) – в Днепровском лимане, в Бугском лимане минимум бывает с 7 до 11 часов.

По осреднённому суточному ходу (рис. 2.20) затруднительно выявить основные причины внутрисуточных изменений уровня, так как ход уровня носит интегральный характер, обусловленный стоковой, бризовой, длинноволновой и др. составляющими.

Краткосрочные значительные изменения уровня воды могут отражаться на средней высоте стояния уровня на отдельных постах. Например, если исключить наличие ошибок измерений, средний многолетний уровень воды в с. Геройское выше, а в г. Николаеве ниже, чем на других постах в Днепровско-Бугском лимане (табл. 2.6), что, возможно, кроме прочего, связано с преобладанием и воздействием (рис. 2.19) на уровенную поверхность сгонно-нагонных ветров.

На режим уровня оказывает влияние как суточное, так и недельное регулирование стока р.Днепр гидроузлами ГЭС, которое приводит к уменьшению сбросов воды в нижний бьеф в ночное время и в выходные дни, а, следовательно, и к уменьшению уровня на устьевом участке реки. Однако волны попусков при эксплуатации каскада поступают в низовье р.Днепр с разной скоростью, «распластываются» в устьевых рукавах, поэтому краткосрочные колебания уровня в лимане в зависимости от стока не всегда чётко выражены. Но, рост уровня на устьевом участке р. Днепр, особенно выраженный во вто-

рой половине дня (с максимумом в 22 час), способствует увеличению перепада уровня вдоль оси Днепровского лимана (до 7 см), что активизирует прямой поток. Волна спада уровня на разных постах наблюдается до 6 – 11 час. и сменяется волной наполнения, при которой отмечается рост уровня воды и солёности в лимане (гл. 5). В Бугском лимане уровень изменяется в противофазе, обычно со сдвигом 3 – 6 час.

Средний размах недельных колебаний уровня воды на водпосту Нов. Каховка составляет 15 см. Неравномерная работа агрегатов ГЭС, попуски, вызывают иногда резкие изменения уровня воды (на 1 – 3 м), что является причиной распространения длинных волн в нижнем бьефе, скорость перемещения которых достигает иногда 10 м/с. Пример типичных краткосрочных изменений уровня воды при эксплуатации каскада водохранилищ на водпосту Нов. Каховка показан на рис. 2.21.

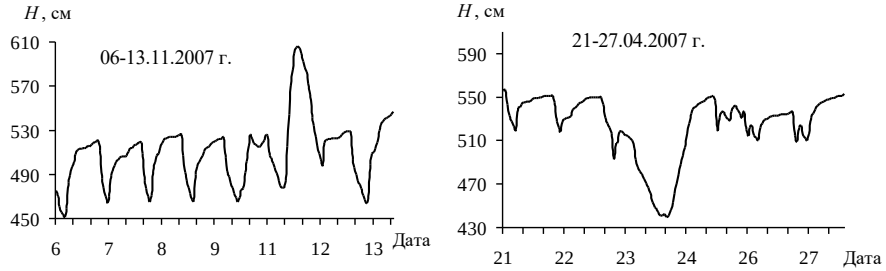


Рис. 2.21. Влияние попусков водохранилищ на уровень воды р. Днепр у г. Новая Каховка в различные периоды 2007 г.

Анализ изменчивости уровня воды морского устья рек Днепр и Юж. Буг показал, что наибольшее влияние на уровень оказывают межгодовые и сезонные изменения стока рек. В среднем стоковая составляющая уровня в Днепровско-Бугском лимане и прилегающей части Чёрного моря остаётся приблизительно постоянной. В короткопериодных колебаниях уровня в основном преобладает сгонно-нагонная составляющая. Для устьевых участков рек характерна суточная и недельная изменчивость уровня воды, для Днепровско-Бугского лимана – полусуточная, имеющие комплексную волновую природу.

2.3. Режим течений

Из всех морских устьев рек Азовского и Чёрного морей наиболее полно режим течений исследован в устье рек Днепр и Юж. Буг.

Здесь течения изучались путём выполнения разрезов (вдоль и поперёк Днепровско-Бугского лимана), створов (поперёк потока при измерении расхода воды в рукавах р.Днепр), пространственных съёмок течений (в открытой части устьевого взморья), многосуточных (в Кинбурнском и Сакенском проливах, в рук. Рвач) и рейдовых наблюдений на отдельных станциях (в Кинбурнском проливе), а также с помощью буйковых станций и авиаметодов. В настоящее время объём исследований значительно сокращён, но опубликовано достаточно много работ [1, 54 – 62], подробно рассматривающих схемы течений в Днепровско-Бугском лимане при различных гидрометеорологических условиях, методы расчёта и моделирования течений. Однако обобщённая характеристика течений в разных частях морского устья сделана только в работе [63], где даны схемы преобладающих течений.

Анализ течений проведен на основе обобщения материалов натурных наблюдений НЦГМ и МО УкрНИГМИ за последние 25 – 30 лет, которые получены на стационарной сети станций (рис. 1.28) и в результате многосуточных и рейдовых наблюдений, выполненных в основном с апреля по ноябрь при различных гидрометеорологических условиях (исключая стихийные, катастрофические явления) на стандартных горизонтах (0, 3, 5, 10, 15, 20 м, а также в придонном слое и слое скачка плотности). Всего проанализировано около 45 тыс. наблюдений за течениями и 10 тыс. наблюдений за направлением и скоростью ветра, полученных во время измерения течений. Обобщение направления ветра и течений по 8 румбам выполнялось путём построения распределения характеристик по градациям скорости.

Общие закономерности и особенности течений в морском устье рек. Основными факторами формирования течений в морском устье рек Днепр и Юж. Буг являются: сток рек, ветер, длинноволновые колебания уровня воды, градиенты плотности, ветровое волнение. Однако указанные факторы в разной степени влияют на компоненты устья, поэтому режим течений в его различных частях имеет

свои особенности, которые обусловлены морфологическими отличиями, стоком рек, расположением относительно направления действующих на водный объект ветров. Роль стока неодинакова: наибольшее влияние оказывает р. Днепр, несущественное – р. Юж. Буг, реки Ингул и Ингулец – практически не влияют на режим течений. Течения в Днепровском лимане подвержены ветро-волновому воздействию в направлении восток – запад, в Бугском лимане – север – юг.

На устьевых участках рек Днепр и Юж. Буг и в устьевых рукавах р. Днепр превалируют течения, обусловленные стоком рек (особенно р. Днепр), на устьевом взморье – течения смешанного происхождения, иногда неоднородные или суммарные [2].

Колебания расхода воды рек обычно не изменяют принципиально схемы течений, сток влияет на их величину. Однако вопрос распространения попусков из каскада днепровских водохранилищ (которые представляют собой длинные волны) в лиман и их влияния на режим течений в Днепровско-Бугском лимане остаётся до сих пор мало изученным. Особенности течений здесь заключаются в том, что они формируются на фоне постоянно действующих, изменяющихся по величине, в зависимости от фазы водного режима, стоковых течений. Изменения уровня воды в лимане, в свою очередь, оказывают влияние на течения в устьевых водотоках. Таким образом, локальные течения в рассматриваемом морском устье взаимосвязаны и изменчивы в пространстве и во времени существенно.

Чаще всего на устьевых участках рассматриваемых рек отмечаются стоковые течения, которые эпизодически трансформируются при нагонах (прямых и компенсационных).

В устьевых рукавах, в зоне транзита речного стока, также преобладают стоковые течения, т.к. именно сток является здесь основным, постоянно действующим фактором.

На устьевом взморье стоковые течения прослеживаются на всём его протяжении (особенно при повышенном стоке рек), т.к. Днепровско-Бугский лиман при штиле или слабоветрии речные воды проходят транзитным потоком. При этом генеральное направление движения в Днепровском лимане совпадает с направлением уклона водной поверхности, создаваемого стоком р. Днепр, с продольной

осью взморья. Чем больше расход воды, тем больше величина стоковых течений, зона их распространения и тем они устойчивей.

Так как Бугский лиман примыкает к Днепровскому почти перпендикулярно, в районе контакта днепро-лиманских и бугско-лиманских вод формируется сложная циркуляция, которая зависит от комплекса гидрометеорологических условий. Поэтому при разном сочетании ветро-волновых характеристик и разном стоке р. Днепр (в меньшей степени р. Юж. Буг и р. Ингулец) в бугской части устьевого взморья могут наблюдаться разные схемы течений. Например, в северной части Бугского лимана преобладают стоковые течения, обусловленные стоком рек Юж. Буг и Ингул, направленные на юг, а в южной части – стоковые течения, сформированные стоком р.Днепр, направленные на север, к центральной части Бугского лимана. Поток днепровских вод в лимане под действием силы Кориолиса отклоняется вправо, т.е. направлен в сторону Бугского лимана, что подтверждается большинством исследователей течений.

Толщина слоя, охваченного стоковыми течениями, уменьшается по направлению к морю, так как более плотная морская вода перемещается в сторону лимана, противодействуя распространению пресных вод. В узостях Днепровского лимана скорости стоковых течений больше, чем в его расширениях.

В чистом виде стоковые течения по всей толще морского устья практически не устанавливаются даже в половодье. При расходе воды р. Днепр более 6500 $м^3/с$ и штиле стоковые течения наблюдаются в слое 4 – 6 м по всей акватории Днепровского лимана. А при среднем многолетнем суммарном расходе воды рек, равном 1450 $м^3/с$ (табл. 2.1), и среднем ветре (4,2 м/с) течения – смешанные. Только в отдельные непродолжительные периоды, при большом стоке р. Днепр, течения в Днепровском лимане имеют прямое направление по всей глубине. В Бугском лимане при этом чаще всего отмечаются обратные течения.

Влияние ветра на режим течений зависит от его скорости, устойчивости (продолжительности воздействия ветра одного направления) и от вертикального градиента плотности. Чем меньше сток р. Днепр и больше однородность водной массы в лимане, тем глубже распространяются ветровые течения. Под действием ветра в морском устье рассматриваемых рек развиваются сгоны, нагоны, а

после прекращения действия ветра – сейши, формирующие сложные устьевые циркуляции вод. Сейшевые течения быстро затухают и устанавливается обусловленная стоком циркуляция вод. Поверхностный слой воды лимана реагирует на ветровое воздействие быстро, через 0,5 – 1,0 час. Поэтому бризы могут вызывать периодические бризовые течения на мелководьях.

Наибольшие изменения в схемы течений на устьевом взморье вносят сильные и устойчивые нагонные ветры. Под их воздействием сначала уменьшаются стоковые течения, особенно в поверхностном слое воды, затем, по мере усиления ветра, формируются дрейфовые течения, образуется нагон воды, возникает перекос уровня. При образовании перекоса уровня на устьевом взморье под влиянием нагонного ветра дрейфовые течения в поверхностном слое направлены в сторону подъёма уровня, а под действием градиента силы тяжести в придонном слое развиваются противотечения – компенсационные градиентные течения.

Дрейфовые течения преобладают в мелководной части взморья, компенсационные – в глубоководной (особенно в судоходном канале и прилегающем районе).

При сгонном ветре в поверхностном слое развиваются течения прямого направления (совпадающие со стоковыми течениями), в придонном слое – обратного. Максимальные скорости прямых течений, как правило, отмечаются вблизи нижней границы дельты (с. Касперовка) в узостях Днепровского лимана (с. Станислав, Кинбурнский пролив), а при северном ветре – в районе г. Николаев.

Северо-восточные и восточные ветры являются преобладающими для днепровской части лимана (разд. 1.7), для бугской – северо-восточные и северные (суммарная повторяемость 35 %). Но на разные участки устья они воздействуют по-разному (разд. 2.2, рис. 2.19). Обычно они усиливают поверхностные течения в лимане. Западные ветры, уменьшая поверхностные течения, зачастую могут способствовать активизации придонных.

Влияние ветра на режим течений устьевого взморья не столь существенное, как полагает ряд авторов [1, 60]. В 85 % случаев над морским устьем преобладают ветра переменных направлений скоростью 1 – 5 м/с. Слабые и даже умеренные ветра (вплоть до 7,5 м/с), как указал Слатинский Ю.Г. в своих работах [56, 57], не вызывают

принципиальной перестройки течений, воздействуя в основном на поверхностный слой воды и мелководные участки.

В Днепровско-Бугском лимане при совместном влиянии на водный поток всех ранее упомянутых факторов скорость течения также зависит от действия сил трения (так как лиман – отмелое устьевое взморье), инерционной составляющей движения воды, плотности речной и морской воды. Спецификой лимана является наличие глубоководного судоходного канала, способствующего проникновению более плотных морских вод в устье и развитию плотностных, фрикционных течений в придонном слое.

Анализ натурных данных показал, что в морском устье рассматриваемых рек основными факторами формирования устойчивых устьевых циркуляций являются сток р.Днепр и разность плотности морской и пресной воды. Оба эти фактора (в отличие от ветра) являются постоянно действующими. Сток р. Днепр создаёт перепад уровня воды между дельтой р. Днепр и Кинбурнским проливом, обусловливая стоковые, градиентные течения, чаще всего усиленные преобладающими сгонными ветрами. В придонном слое более плотные морские воды поступают в лиман. При этом, чем больше градиент плотности, тем больше плотностные течения. Существующая общая схема течений усложняется наличием поперечных циркуляций и локальных горизонтальных циркуляций в расширениях Днепровского лимана. Только устойчивый продолжительный сильный ветер (средней повторяемостью 3 – 4 % в год) вносит существенные изменения в сложившуюся систему течений.

Менее изучен режим течений в Бугском лимане, но он не менее сложен, чем в Днепровском, так как формируется под влиянием стока рек Юж. Буг, Ингул и Днепр, а также поступающих вдоль судоходного канала более плотных солёных вод.

Преобладающее распределение скорости течения в поперечном сечении потока в различных компонентах морского устья неодинаковое. На устьевых участках рек обычно наблюдается прямой однонаправленный поток, в устьевых рукавах р.Днепр при нагонах могут отмечаться обратные или двухслойные разнонаправленные течения, но преобладает перенос из реки в лиман. В Днепровско-Бугском лимане чаще всего формируется разнонаправленный поток, а в отдельных его частях (например, в Кинбурнском проливе) течения иногда

носят «винтовой» характер, т.е. по глубине нулевое значение скорости и изменение направления течения наблюдается 2 и более раза (рис. 2.22). Повторяемость такой сложной циркуляции в глубоководной части пролива составляет около 27 %, а в 8 % случаев направление потока на вертикалях 4-х слойное и более.

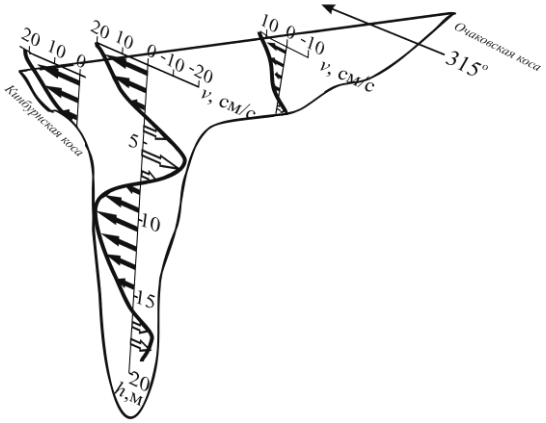
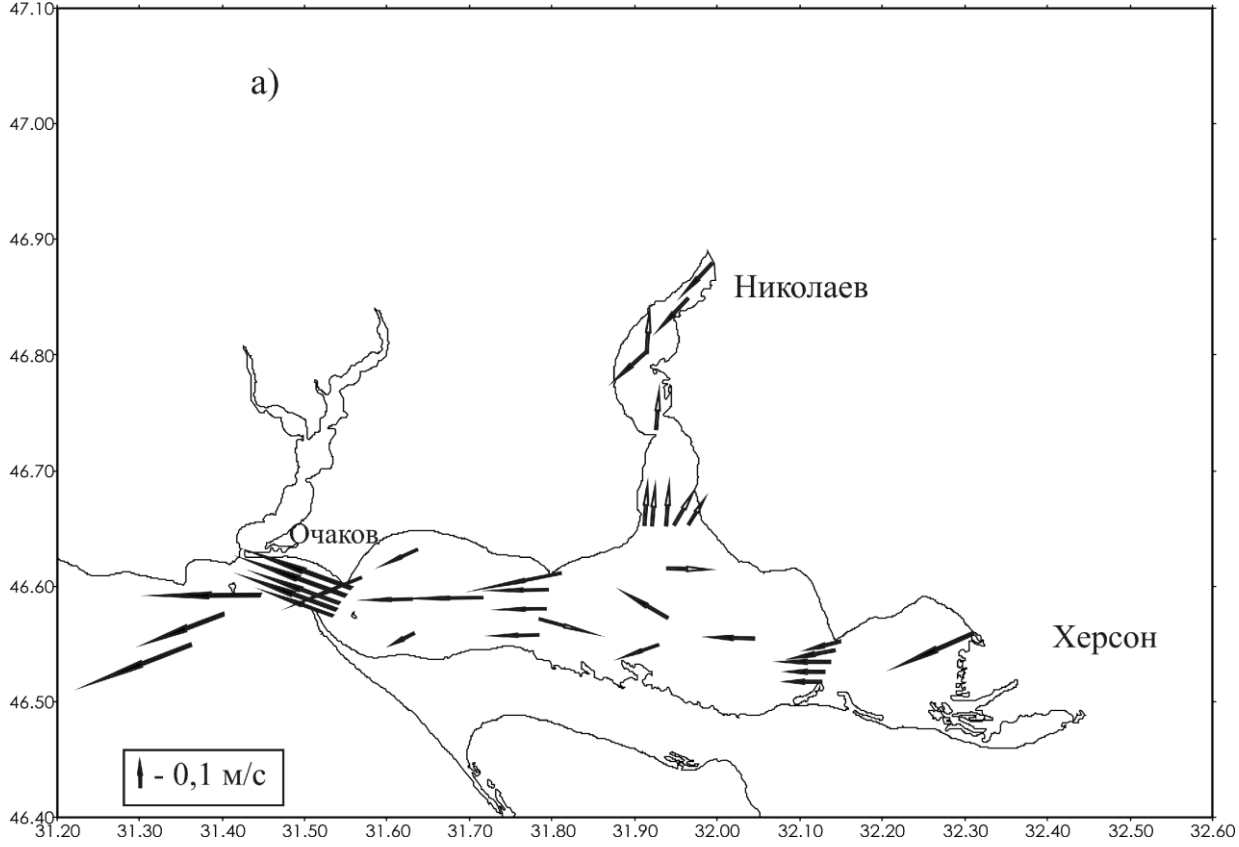


Рис. 2.22. Многослойные течения в Кинбурнском проливе 14.10.2006 г.

Для более детальной характеристики течений использовались результаты многолетних наблюдений в морском устье рек, полученные во время выполнения гидроло-гидрохимических съёмок (рис. 1.28) за 1975 – 2009 гг.

Преобладающие течения в морском устье рек. В результате обобщения материалов натурных наблюдений получены осреднённые схемы течений преобладающих направлений по 8 румбам. Средние за многолетний период значения являются интегральной характеристикой течений, показывающей наиболее вероятный перенос воды на стандартных горизонтах при преобладающих гидрометеорологических условиях. Схемы течений, отражающие преобладающее направление переноса в поверхностном и придонном слоях устьевого взморья (рис. 2.23) и средние скорости течений по этому направлению, дают представление об осреднённых режимных характеристиках и могут отличаться от распределения течений при конкретном ветре и стоке рек.


а)
Николаев
Очаков
Херсон
- 0,1 м/с
47.10
47.00
46.90
46.80
46.70
46.60
46.50
46.40
31.20
31.30
31.40
31.50
31.60
31.70
31.80
31.90
32.00
32.10
32.20
32.30
32.40
32.50
32.60

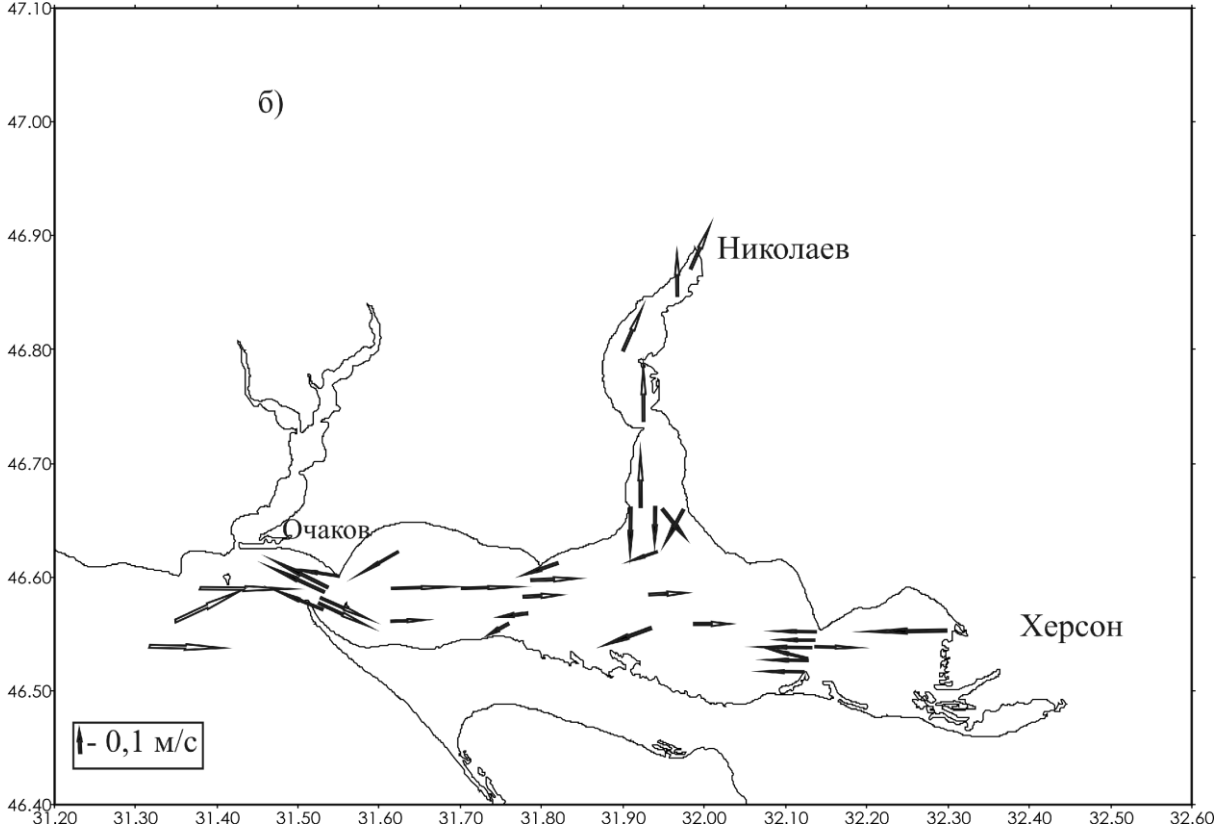


Рис. 2.23. Схема преобладающих течений в морском устье рек Днепр и Юж. Буг в поверхностном (*а*) и придонном (*б*) слоях

Комплексное воздействие ранее указанных основных факторов обусловливает постоянно отмечающиеся течения смешанного происхождения, отсутствие течений имеет повторяемость 1 – 14 % на разных вертикалях и горизонтах. Бóльшую часть года в лимане фиксируют разнонаправленные потоки, и только во время значительных сбросов воды из водохранилищ и сгонов преобладает однонаправленный поток.

Из схем, представленных на рис. 2.23, видно, что на устьевых участках рек Днепр и Юж. Буг в основном наблюдаются стоковые течения, направленные в лиман, скорость которых (в устье р. Днепр) зависит от величины попусков Каховской ГЭС. Средняя скорость течения на стрежне устьевого участка р. Юж. Буг составляет 0,20 – 0,30 м/с, р. Днепр – 0,50 – 0,70 м/с. Средняя в сечении потока скорость течения р. Днепр в створе с.Садовое около 0,30 м/с, в районе с. Гурьевка – около 0,20 м/с.

В период сбросов Каховской ГЭС (обычно в половодье) скорость течения на устьевом участке р. Днепр увеличивается до 0,80 – 1,50 м/с.

Иногда, чаще всего в межень при нагонах, в устьевых рукавах р. Днепр, до впадения р. Ингулец, бывают двухслойные или обратные течения. Скорость обратных течений невелика и составляет в среднем 0,05 – 0,15 м/с, но, зачастую, она достигает 0,40 м/с. Обратный поток наблюдается в различных рукавах р. Днепр с повторяемостью 5 – 30 %. Обратные течения могут распространяться на устьевые участки рек Юж. Буг и Ингул, что особенно характерно для придонного слоя воды.

Суточное и недельное регулирование стока рек каскадом водохранилищ способствует значительной суточной и недельной изменчивости течений на устьевом участке р. Днепр и в устьевых рукавах. Резкое уменьшение скорости течения здесь наблюдается ночью (как и уровня воды, разд. 2.2), минимум скорости на 0,5 – 1 час предшествует минимуму уровня. Затем течения изменяют направление с прямых на обратные, а утром, при увеличении попуска, поле течений перестраивается за 1,5 – 2 часа и течения изменяют своё направление на противоположное [53].

На устьевом взморье в поверхностном слое Днепровского лимана доминирует перенос воды в направлении моря, скоростью 0,10 –

0,40 м/с. Наибольшие средние скорости течения (0,30 – 0,40 м/с) отмечаются в Кинбурнском проливе, прилегающей к нему части и вблизи нижней границы дельты р. Днепр. В Днепровском лимане, вдоль его продольной оси, течения направлены на запад и имеют среднюю скорость от 0,15 до 0,25 м/с. Стрежень обычно проходит вдоль судоходного канала, но в сужениях лимана скорости не только увеличиваются, но и становятся почти одинаковыми по ширине потока, который приближается к прямолинейному.

В расширениях Днепровского и Бугского лиманов отмечаются циркуляции, характер которых хотя и недостаточно изучен, но наглядно проявляется в формировании встречных кос и других аккумулятивных форм. Особенности рельефа лимана и баланс действующих сил способствуют формированию в его центральной части, севернее и южнее вдольосевого потока, двух циркуляций, направленных по часовой стрелке.

В поверхностном слое воды в южной части Бугского лимана течения в основном направлены к реке, а в северной части отмечается поток прямого направления (рис. 2.23, *а*). В Сакенском проливе, соединяющем Бугский и Днепровский лиманы, северный перенос вод обусловлен, очевидно, подпором, вызванным распространяющимся вдоль оси Днепровского лимана потоком днепровских вод и действием силы Кориолиса. Интересно, что уровень воды в северной части Бугского лимана (г. Николаев) в среднем ниже, чем в его южной части (с. Парутино) и у с. Геройское (табл. 2.6, разд. 2.2). Это подтверждает вероятность преобладания обратных течений в Бугском лимане (особенно на его юге), что отмечается по натурным данным и другими авторами [1, 56, 57]. Поступлению воды из Бугского в Днепровский лиман также препятствуют южные, юго-восточные, юго-западные и западные ветра, которые усиливают эффект подпора водной массы Бугского лимана днепровскими водами. Такая циркуляция в бугской части устьевого взморья способствует образованию застойных зон в центральной глубоководной части Бугского лимана, обусловливая его осолонение, особенно в период межени.

В придонном слое Днепровского лимана, вдоль судоходного канала, распространяется поток воды, поступающей из прилегающей к лиману открытой части устьевого взморья. Обратные течения на

взморье Днепровского лимана имеют скорость 0,15 – 0,20 м/с. Они распространяются в центральную часть Днепровского лимана и к нижней границе устьевого участка р. Юж. Буг (рис. 2.23, *б*). Средняя скорость обратных течений в лимане имеет величину 0,10 – 0,25 м/с и достигает наибольших значений в Кинбурнском проливе (0,20 – 0,25 м/с). От Сакенского пролива до устьевого участка р. Юж. Буг вдоль оси Бугского лимана средняя скорость обратного потока составляет 0,15 – 0,20 м/с. В придонном слое Днепровско-Бугского лимана скорость течения обычно на 0,05 – 0,10 м/с меньше, чем на поверхности. У дна в восточном, мелководьях центрального и севере западного районов Днепровского лимана, в устьевых рукавах и на устьевом участке р. Днепр течения направлены к морю. В центральной части Днепровского лимана также, как и на поверхности, выделяются две крупные циркуляции (но, в отличие от поверхностных, против часовой стрелки). Ранее авторами указанные циркуляции не выделялись из-за недостатка данных и использования других методов обобщения течений.

Таким образом, однонаправленный поток прямого направления в морском устье рек Днепр и Юж. Буг преобладает на устьевых участках рек, в устьевых рукавах р. Днепр и в восточной части Днепровского лимана. Однонаправленный поток обратного направления отмечается чаще всего в южной и центральной частях Бугского лимана. В остальных районах морского устья этих рек наблюдается разнонаправленный поток (рис. 2.23), средняя скорость которого около 0,15 – 0,20 м/с.

По материалам специальных исследований Управления Гидрометеослужбы Черноморского флота в Днепровском лимане (выполненным в период естественного стока рек в 1920 – 1940 гг.) Ивановым О.К. были построены схемы преобладающих течений в поверхностном 3-х метровом слое при умеренных сгонных (рис. 2.24, а) и нагонных (рис. 2.24, б) ветрах, полученные за 20 лет с июля по декабрь, т.е. в меженный период.

Так как влияние речного стока в период межени уменьшается, в формировании течений усиливается роль ветра. При сгонных ветрах в поверхностном 3-х метровом слое Днепровского лимана преобладает прямой поток, осложнённый прибрежными циркуляциями, развивающимися в северном районе, в расширениях лимана (рис. 2.24,

а). При нагонных умеренных и сильных ветрах, действующих более 10 час., развивается обратный поток (рис. 2.24, б). Циркуляции вдоль северных берегов меняют направление на противоположное, а в восточной части лимана формируется циклоническая циркуляция.

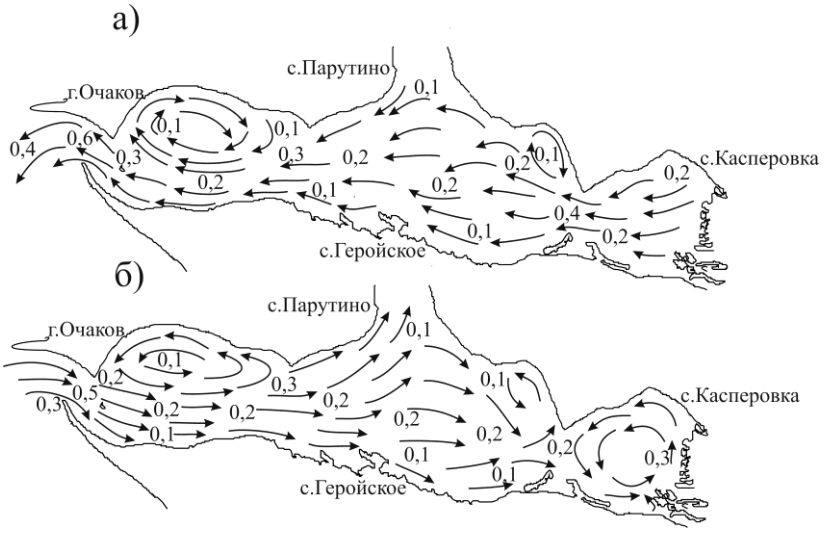


Рис. 2.24. Преобладающие течения в слое 0 – 3 м при умеренных сгонах (а) и нагонах (б) в Днепровском лимане (по Иванову О.К., 1943 г.); цифрами указана средняя скорость течения в м/с

По данным натурных наблюдений в Днепровско-Бугском лимане в 0,2 – 1,3 % случаев на разных станциях наблюдалась скорость течения более 1,00 м/с. Чаще всего максимальная скорость течения была зафиксирована в районе Кинбурнского пролива и в судоходном канале прилегающей открытой части устьевого взморья. В среднем экстремальная скорость течения в районе судового хода равна 1,50 м/с, но иногда (в 10 % случаев наблюдения максимальных значений скорости течения) она достигала 2,00 – 6,23 м/с. При таких течениях редкой повторяемости преобладает совпадающее с ориентацией судоходного канала в проливе северо-западное направление переноса. Однако, сильные течения (более 1,00 м/с) могут быть и обратного направления. Интересно, что направление экстре-

мального течения не всегда соответствовало направлению и скорости действующего в момент съёмки ветра: большие скорости течений, направленные из лимана в море или, наоборот, в лиман, наблюдались и при штиле, и при ветре, направленном против течения. Возможно длинноволновое происхождение таких течений.

Обычно экстремальные скорости течения отмечались на глубине 3 – 5 м от поверхности воды, т.е. в области смены направления течений. Вероятно, перестройка структуры потока иногда сопровождается значительными течениями в узости Кинбурнского пролива.

Скорости течения более 1,00 м/с также обусловлены большими сбросами воды из каскада днепровских водохранилищ. В этих случаях наибольшие значения скорости течения фиксировались в устьевых рукавах р. Днепр, у НГД и в Кинбурнском проливе. Большие скорости течения в районе судоходного канала в отдельных случаях отмечались также в центральной части Днепровского лимана и в Сакенском проливе.

Генезис таких редких и значительных локальных течений пока недостаточно изучен. Возможно, причиной их возникновения в Кинбурнском проливе является тягун или суммарное влияние ряда факторов, действующих в резонансе в условиях глубоководного судоходного канала. Не исследовано влияние шельфовых волн, приливов и сейшевых колебаний на режим течений в лимане.

Временные изменения течений обусловлены сменой сезонов. Наибольшие скорости течений наблюдаются в многоводные периоды года. В ледовый сезон, когда перестаёт влиять нагонный ветер, возрастает роль стоковых течений.

Из короткопериодных изменений направления и скорости течений доминируют полусуточные и суточные, особенно в Кинбурнском проливе и узостях лимана. Вероятные причины этих изменений уровня и течений рассмотрены выше. При маловетрии и штиле в Днепровско-Бугском лимане отмечаются внутрисуточные циклические изменения течений, иногда с дискретностью менее полусуток.

По данным многосуточных наблюдений в Кинбурнском и Сакенском проливах течения за сутки могут изменять своё направление и скорость 2 – 5 раз. Обычно ночью и утром преобладает прямой поток, во второй половине дня – обратный. Внутрисуточная периодичность смены направления течений является, очевидно, результа-

том комплексного действия различных гидрометеорологических и астрономических факторов. В период бризов и стабилизации меженного стока смена течений установившаяся: с утра до середины суток в поверхностном слое вода перемещается на запад, вечером и ночью – на восток. Скорость таких течений обычно равна 0,1 – 0,2 м/с, а в узостях лимана (у с. Станислав и г. Очаков) – не превышает 0,2 – 0,3 м/с.

Под воздействием установившегося сгонного или нагонного ветра короткопериодные колебания затушёвываются синоптическими, имеющими бóльший вес. При штормовом сгонном ветре в районе Кинбурнского пролива скорости течений достигают значений 1,5 – 1,9 м/с, а при нагонном – 0,9 – 1,0 м/с.

В период существенных сбросов Каховской ГЭС приоритет приобретают течения, обусловленные стоком р. Днепр, направленные к морю. При этом сбросы из водохранилища также имеют внутрисуточную, недельную и др. изменчивость в связи с особенностями его эксплуатации. При повышенном стоке, слабоветрии или умеренном сгонном ветре скорости прямого течения изменяются следующим образом: в восточной части Днепровского лимана они составляют 0,5 – 0,7 м/с, в центральной части – 0,4 – 0,5 м/с, в узости Кинбурнского пролива увеличиваются до 0,8 – 0,9 м/с. Умеренные и даже сильные нагонные ветра несколько уменьшают значения скоростей, но, если они достигают штормовых значений, направление течений может измениться на обратное. Поэтому схемы, представленные на рис. 2.23, характеризуют лишь преобладающий перенос вод в устьевой области р. Днепр и р. Юж. Буг.

Учитывая комплексность генезиса течений в морском устье, сделан анализ основных направлений переноса вдоль осей Днепровско-Бугского лимана. Для этого выполнен расчёт повторяемости течений прямого и обратного направлений, результаты которого представлены в табл. 2.8. Вдоль судоходного канала течения сохраняют некоторую устойчивость, которая обусловлена его «твёрдыми» границами глубже 6 – 7 м и наибольшими скоростями в вышерасположенном слое, т.к. здесь преимущественно расположен стрежень потока.

В табл. 2.8 приводятся результаты расчёта повторяемости генеральных направлений течений на глубоководных станциях в судо-

ходном канале, которые получены путём определения скорости течения по формуле 2.1

$$v = \vec{v}_{TN} \cdot \cos\left|TN - N\right|, \qquad (2.1)$$

где v – проекция скорости течения на ось судоходного канала; $\vec{v}_{TN}$ – измеренная скорость течения в направлении TN;

$\left|TN - N\right|$ – разность между азимутами направления скорости течения (TN) и осью судоходного канала на участке лимана (N).

Таблица 2.8

Повторяемость (%) преобладающих течений вдоль судоходного канала в Днепровско-Бугском лимане за период с 1975 г. по 2009 г.

Горизонт	Тип течения	Номер станции, в соответствии с рис. 1.28						
		ст. 4	ст. 5	ст. 8	ст.11	ст.11г	ст. 15	ст. 18
поверхность	1	82	76	55	71	78	41	62
	2	17	21	44	27	21	55	34
	3	1	3	1	2	1	4	4
3 м	1	84	75	58	61	63	51	60
	2	13	23	42	35	36	47	38
	3	3	2	0	4	1	2	2
5 м	1	75	68	46	50	46	49	51
	2	22	28	53	47	50	46	43
	3	3	4	1	3	4	5	6
10 м	1				37	41		
	2				56	56		
	3				7	3		
дно	1	73	47	28	33	33	33	30
	2	24	47	67	59	62	62	61
	3	3	6	5	8	5	5	9

Примечания: 1 – прямое течение; 2 – обратное течение; 3 – течение отсутствует.

Полученные результаты согласуются с распределением эпюр на вертикалях в глубоководной части Днепровско-Бугского лимана (рис. 2.25). Наибольшая повторяемость прямых течений характерна для восточной части Днепровского лимана и поверхностного слоя в

его узостях. В придонном слое обратные течения распространяются вдоль канала по направлению в Бугский лиман. Здесь же наблюдается наименьшая проточность.

Повторяемость прямого течения в глубоководной части Кинбурнского пролива, равная 51 % (к общему числу случаев) больше, чем обратного (44 %), в 5 % случаев течения здесь не наблюдается. Эти результаты отличаются от приводимых в работах [1, 22, 59], т.к. ряды наблюдений больше на 50 – 20 лет и методы обобщений разные.

В прибрежной зоне течения менее устойчивые и больше подвержены влиянию ветра, волнения и других факторов. Например, в период активной ветро-волновой деятельности, особенно при штормах, локальные течения у берегов могут быть существенными и достигать 0,5 – 1,5 м/с, при штиле и слабоветрии – течений здесь же может не наблюдаться.

Результаты, полученные при обобщении течений, использованы для оценки водообмена через Кинбурнский пролив и расчёта водного баланса Днепровско-Бугского лимана (разд. 2.4).

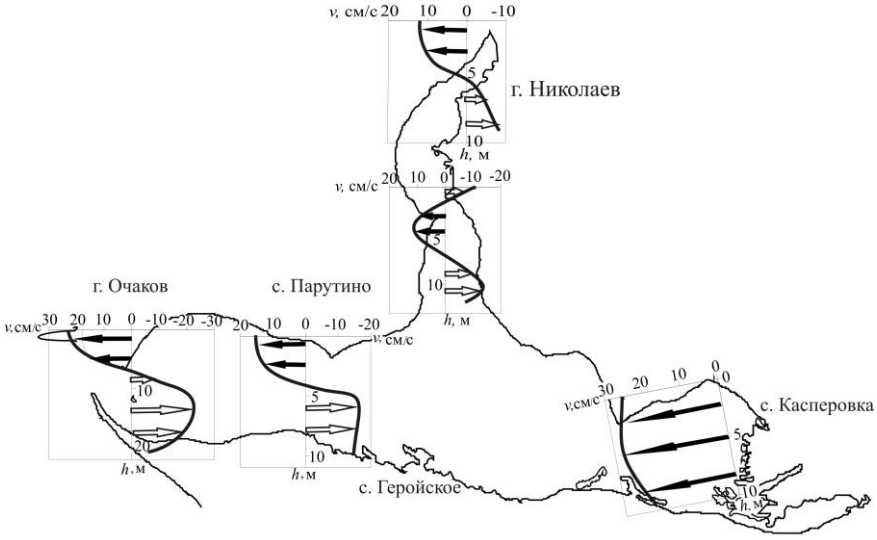


Рис. 2.25. Преобладающее распределение скорости течений по глубине вдоль судоходного канала в Днепровско-Бугском лимане

2.4. Водный баланс

До настоящего времени оценка водного баланса морского устья рек Днепр и Юж.Буг достаточно проблематична, что обусловлено сложностью процессов водообмена между контактирующими средами и водными объектами и недостаточной изученностью его составляющих. Основными составляющими водного баланса морского устья рек являются: водообмен на границах река – устье и море – устье; потери воды на испарение, её поступление с осадками; водообмен с поймой и водными объектами устьевого участка, дельты, с грунтовыми водами, изменение водозапаса при ледообразовании и ледотаянии, а также антропогенная составляющая, характеризующая водозабор и сброс воды в морское устье [7]. Практически в годовом балансе учитывают лишь приход воды с речным стоком и водообмен с морем. Остальные составляющие по сравнению с ними – незначительные. Пока расчёты водного баланса ограничиваются только отдельными участками морского устья рек.

Некоторые оценки годового водного баланса Днепровско-Бугского лимана приведены в табл. 2.9. Здесь представлены противоречивые результаты различных авторов, полученные за различные периоды и разными методами.

Уточнение составляющих водного баланса Днепровско-Бугского лимана осуществлялось на основе стационарных и специальных наблюдений НЦГМ и МО УкрНИГМИ. Осадки рассчитывались как средние арифметические по данным метеостанций Николаев, Херсон и Очаков. Испарение с водной поверхности определялось по рекомендации Самойленко В.С. [64] с использованием стационарных и экспедиционных наблюдений в морском устье рек и данных испарителя в г.Херсоне.

Составляющие водообмена между закрытой и открытой частями устьевого взморья рассчитывались по наблюдениям в Кинбурнском проливе, полученным при различных гидрометеорологических условиях, за исключением экстремальных, имеющих незначительную повторяемость (разд. 2.3).

Обобщались материалы специальных натурных и рейдовых наблюдений в Кинбурнском проливе, выполненные НЦГМ, МГС Очаков и МО УкрНИГМИ с 1965 г. по 2009 г., по методике, изло-

женной в [65]. Всего использовано 814 измеренных расходов воды. Диапазон изменчивости измеренных расходов воды в проливе ± 13 000 м^3/с.

Таблица 2.9

Составляющие среднего годового водного баланса Днепровско-Бугского лимана

Приходная часть, км^3			Расходная часть, км^3	
сток рек	осадки	обратный поток	прямой поток	испарение
Копайгородский Е.М., 1892 – 1927 гг. [54]				
55,1	0,36	10,7	65,5	0,70
–	–	14,5	69,4	–
Слатинский Ю.Г., 1920 – 1960 гг. [56], 1956 –1970 гг. [57]				
55,7	0,32	46,5	97,4	0,87
47,4		43,0	98,0	
Костяницын М.Н., 1945 – 1960 гг. [1]				
59,1	0,32	45,4	103,9	0,87
59,1	0,32	43,8	102,4	0,87
Розенгурт М.Ш., Толмазин Д.М., 1958 – 1970 гг. [58]				
47,8	–	22,0	72,0	–
Большаков В.С., 1948 – 1960 гг., 1970 г. [66]				
55,0	0,34	26,0	79,0	0,66
Журавлёва Л.А., 1955 – 1980 гг. [67]				
45,1	0,32	10,1	54,3	0,84
Симов В.Г., Морозов В.И. 1956 – 1986 гг. [68]				
46,9	–	28,8	75,2	–
Тимченко В.М., 1956 – 1986 гг. [25, 69]				
46,0	0,37	40,7	86,3	0,80
1961 – 2009 гг.				
45,8	0,34	13,6	59,0	0,74

Так как измерения расходов воды в Кинбурнском проливе осуществлялись при различном суммарном стоке рек и ветре, они получены при комплексном воздействии всех основных факторов водообмена и являются интегральной характеристикой переноса воды через сечение пролива. Это позволяет упростить расчёты водообмена и не дифференцировать его по отдельным составляющим.

Для интервала расходов воды в Кинбурнском проливе прямого и обратного направления от 12000 до -12000 м^3/с получены расчётные

зависимости соответствующих расходов воды от результирующего значения переноса, имеющие вид (2.2) и (2.3)

$$Q_{пр} = 2 \cdot 10^{-21} Q_{рез}^{6} + 4 \cdot 10^{-18} Q_{рез}^{5} - 6 \cdot 10^{-13} Q_{рез}^{4} - 5 \cdot 10^{-10} Q_{рез}^{3} + \\ + 8 \cdot 10^{-5} Q_{рез}^{2} + 0{,}5 Q_{рез} + 970\,, \qquad (2.2)$$

$$Q_{об} = Q_{пр} - Q_{рез}. \qquad (2.3)$$

Здесь $Q_{пр}$ – прямой поток (с плюсом), направленный из лимана в море, м^3/с; $Q_{об}$ – обратный поток (из моря в лиман), имеющий знак минус м^3/с; $Q_{рез}$ – результирующий перенос, м^3/с, равный разности прямого и обратного потока, имеющий знак бóльшего из них. При расчётах баланса воды Днепровско-Бугского лимана $Q_{пр}$ входит в расходную, $Q_{об}$ – в приходную части баланса.

Определив методом водного баланса среднее годовое значение $Q_{рез}$, по уравнениям (2.2) – (2.3) рассчитаны средние годовые величины $Q_{пр}$ и $Q_{об}$. Результаты расчёта среднего за многолетний период (с 1961 г. по 2009 г.) водного баланса Днепровско-Бугского лимана представлены в последней строке табл. 2.9.

При суммарном стоке рек, равном 45,8 км^3, и потерях при водообмене с атмосферой в объёме 0,40 км^3, в среднем за год в лиман через пролив поступает 13,6 км^3, а из лимана в открытую часть устьевого взморья – 59,0 км^3. Невязка баланса, менее 1 % от среднего объёма лимана, обусловлена недоучётом некоторых составляющих и погрешностями расчёта. Обеспеченность предлагаемого метода расчёта составляющих водообмена через Кинбурнский пролив согласно [70] составляет 91 %. Рассчитанные величины водного баланса, приведенные в табл. 2.9, хорошо согласуются с данными Журавлёвой Л.А. [67] и Копайгородского Е.М. [54], использовавших для определения значений водообмена другой подход – решение уравнений водного и солевого балансов.

Сравнение результатов расчёта современного водообмена с данными [54], полученными Копайгородским Е.М. для периода естественного стока рек, а также с его прогнозом водообмена после сооружения водохранилищ, свидетельствует о достоверности результатов, так как очевидно, что уменьшение годового стока рек, обусловленное его зарегулированием и безвозвратными изъятиями,

снижение ветровой активности [45], повышение уровня Чёрного моря – закономерно способствовали некоторому уменьшению прямого потока и увеличению обратного.

Для определения водообмена открытой части устьевого взморья с морем необходимо рассчитать прямой и обратный потоки на морской границе устьевого взморья (рис. 1.3), что пока затруднительно из-за отсутствия данных наблюдений и надёжных расчётных методов. Так как морская граница устьевого взморья является, по сути, конечной границей влияния речных вод на морские, в среднем адвективная составляющая водообмена между морем и устьем здесь должна быть равна нулю.

Сезонные, синоптические и внутрисуточные изменения составляющих водообмена через Кинбурнский пролив соответствуют изменчивости стока рек, уровня и течений (разд. 2.1 – 2.3, разд. 9.5).

Водный баланс морского устья рек можно определить по отдельным районам, указанным на рис. 1.3. Особенно это необходимо при расчётах баланса воды малой дискретности (сутки, декада, месяц, сезон). С помощью уравнений (2.4 – 2.6) рассчитывается изменение количества воды р.Днепр в пределах дельты (2.4, 2.5) или в Днепровском лимане (2.6) за произвольный период времени ($\pm\Delta u$).

$$\pm \Delta u \pm \eta_б = Q + x + z_1 + y_{бер} + \Sigma Q_{об} \pm w \pm a \pm Q_n \pm l - \Sigma Q_{рук} - z_2, \qquad (2.4)$$

$$z_2 = z_{вп} + z_{рс} + z_с + z_{пл} + t\ , \qquad (2.5)$$

$$\pm \Delta u \pm \eta_б = \Sigma Q_{рук} + x + z_1 + Q_{об} + y_{бер} \pm w \pm a \pm l - Q_{пр} - z_2, \qquad (2.6)$$

где $\eta_б$ – невязка водного баланса; Q – речной сток в вершине дельты; $\Sigma Q_{рук}$ – суммарный сток устьевых рукавов; x – атмосферные осадки; z_1 – конденсация; $y_{бер}$ – береговой склоновый сток, приточность; $\Sigma Q_{об}$ – поступление лиманных вод в рукава р.Днепр; $Q_{об}$ – обратный поток в лимане; водообмен за счёт: w – подземных вод и l – ледовых явлений; Q_n – водообмен с поймой; a – сброс или водозабор воды; z_2 – испарение: $z_{вп}$ – с водной поверхности, $z_{рс}$ – с суши, покрытой растительностью, $z_с$ – с суши без растительности, $z_{пл}$ – с плавней, болот и затопленных заросших территорий, t – транспирация; $Q_{пр}$– прямой поток в лимане.

В обязательном порядке (в среднем многолетнем масштабе) обычно учитывают составляющие Q, x, $\Sigma Q_{рук}$, z_2, $Q_{об}$, $Q_{пр}$.

Антропогенная составляющая водообмена ± a по разным оценкам может превышать водообмен с атмосферой, т.к. средний водозабор в морском устье рек составляет 0,07 – 1,3 км^3/год, а сбросы – около 0,20 – 0,25 км^3/год [46, 74]. Суммарное испарение с лиственных пород в дельте и на устьевом участке р. Днепр приближённо равно 0,072 км^3/год, испарение с плавней и болот – около 0,13 км^3/год. Суммарную транспирацию водной растительности можно приближённо оценить в пределах 0,074 – 0,082 км^3/год. Приток подземных вод в Днепровско-Бугский лиман в среднем составляет около 0,058 км^3/год, а дренажных – 0,034 км^3/год [56]. Согласно расчётам, выполненным в [25, 71], за вегетационный период водообмен между русловой сетью устьевого участка и дельты р. Днепр с поймой равен 1,35 км^3. Большинство исследователей остальными составляющими при расчёте среднего годового баланса воды (за многолетний период) пренебрегают, в связи с тем, что они меньше прихода воды за счёт осадков и потерь на испарение.

При расчёте водного баланса морского устья рек Днепр и Юж. Буг иногда необходимо рассчитать водный баланс его отдельных частей: Днепровского лимана, Бугского лимана, водотоков и водоёмов в дельте р. Днепр и др. В этом случае подлежит учёту водообмен между Днепровским и Бугским лиманами, водообмен между устьевыми водоёмами, водотоками и поймой. Для определения этих составляющих водного баланса необходимы специальные исследования, которых в настоящее время недостаточно.

Предварительные оценки, выполненные по имеющимся натурным наблюдениям в Сакенском проливе, дают некоторое представление о водообмене между днепровской и бугской частями устьевого взморья. Они также противоречивы, как и результаты расчёта водообмена через Кинбурнскитй пролив (табл.2.9).

По данным Черёминой Р.П. и Симова В.Г. (МО УкрНИГМИ), приведенным в [7], в среднем прямой поток равен 24,7 км^3, обратный – 16,0 км^3. Результирующая составляющая направлена в Днепровский лиман, равна 8,7 км^3 и превышает сумму основных приходных составляющих на 5,5 км^3. Невязка водного баланса Бугского лимана составила 6,3 км^3. Избыток вытекающей из Бугского лимана

воды над поступающей в него (составляющий 33 % от прихода в лиман) авторы объясняют поступлением стока р. Днепр и морских вод в Бугский лиман, что не убедительно.

Поэтому по натурным наблюдениям за направлением и скоростью течения, с использованием графо-аналитического метода расчёта и данных о повторяемости переноса воды на различных горизонтах в Сакенском проливе, получены новые сведения о составляющих водного баланса в этом створе. В среднем за год из южной части Бугского лимана в Днепровский поступает 48,2 км^3/год, а в обратном направлении – 45,3 км^3/год. При этом, приходная часть баланса составляет 48,9 км^3/год, расходная – 49,0 км^3/год.

Водообмен в створе м. Сакен характеризует не столько водообмен между граничащими лиманами, сколько особенности постоянной циркуляции вод, отмечающейся в этом районе Днепровско-Бугского лимана (разд. 2.3, рис.2.23, 2.24), и обмен Днепровского лимана с южной частью Бугского лимана. Для получения более достоверных величин притока и оттока воды в Бугский лиман надо измерять или рассчитывать водообмен на траверзе коса Русская – коса Волошская.

Водный баланс в пределах дельты р.Днепр рассмотрен в работе [72]. При этом уравнение (2.4) предельно упрощено до вида (обозначения те же)

$$Q = \pm \Delta u - \Sigma Q_{рук}. \qquad (2.7)$$

Здесь $\pm \Delta u = x - z_2 \pm a + y_{бер} + w.$ (2.8)

Составляющая z_2 рассчитывалась как сумма величин испарения с водной поверхности, плавней и суши, $z_{вп}$ определялась в соответствии с [11]. По расчётам Палеевой С.В. [72] осадки на поверхность дельты равны 0,14 км^3/год, испарение с водной поверхности 0,098 км^3/год, с плавней 0,255 км^3/год, суммарное испарение 0,35 км^3/год. Таким образом, результирующая водообмена с атмосферой принята равной -0,21 км^3/год, что обусловливает невязку стока в границах дельты, равную 0,5 % от величины стока р. Днепр у Каховской ГЭС. Следовательно, при расчётах средних годовых характеристик выноса воды р. Днепр в лиман допустимо использовать данные о стоке в вершине морского устья рек, пренебрегая его потерями в дельте.

ГЛАВА 3
НАНОСЫ И ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Наименее изученным в морском устье рек Днепр и Юж. Буг является режим наносов. После сооружения каскада днепровских водохранилищ, аккумулирующих наносы р. Днепр, систематических исследований мутности воды в морском устье рек не производится, сток наносов не подсчитывается. Поэтому сведения о мутности воды р. Днепр приводятся по материалам ГВК за период естественного стока рек, немногочисленным натурным наблюдениям и литературным источникам.

Сведения о мутности воды, гранулометрическом составе и стоке наносов средних и малых рек морского устья имеются только по водпостам Александровка (р. Юж. Буг) с 1938 г., Новогорожено (р. Ингул) с 1931 г. и Могиловка (р. Ингулец) с 1932 г., расположенным выше вершин морского устья рек на 73 (р. Юж. Буг) – 266 км (р. Ингулец). Хотя содержание наносов в воде рассматриваемых рек и определяется в основном транзитом наносов с вышерасположенных участков, эти сведения не характеризуют режима мутности воды устьевых участков и не дают представления о реальном стоке наносов в морское устье рек. Поэтому в данной главе систематизированы доступные материалы наблюдений и литературные данные, дающие приближённое представление о содержании наносов в воде морского устья рек Днепр и Юж. Буг. Данные наблюдений за мутностью воды, механическим составом, прозрачностью и др. элементами режима взвешенных и донных наносов на устьевом взморье – эпизодические, полученные разными организациями в период отдельных экспедиций, поэтому также являются ориентировочными.

3.1. Мутность воды

Содержание в воде взвешенных наносов характеризуется мутностью, которая является важнейшим экологическим параметром, определяющим биохимические процессы в водной среде, а, следовательно, биоразнообразие водной экосистемы. Знания о мутности воды необходимы для расчёта стока и баланса наносов в морском устье рек, проектирования водоснабжения, оросительных систем, судовых ходов и др.

Анализ мутности воды рек Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец выполнен по данным изданий Государственного водного кадастра Гидрометеослужбы Украины [10, 11, 73, 74] и других литературных источников, результаты представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Изменчивость средней годовой мутности воды (г/м^3) морского устья рек Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец

Характеристика	Водный объект – пункт				
	Днепр, Каховская ГЭС	Южный Буг, пгт Александровка	Ингул, с. Новогорожено	Ингулец, с. Могиловка	лим. Днепровско-Бугский
Средняя	20	36[*)]	120	130	12
Наибольшая	155	1340	600	760	160
Наименьшая	2	10	6	4	3
Размах	153	1330	590	756	157

Примечание: [*)] – за период с 1989 г. по 2009 г.; за период с 1961 г. по 1989 г. средняя мутность воды р. Юж. Буг составляла 56 г/м^3; с 1938 г. по 1980 г. – 230 г/м^3.

Наибольшая средняя годовая мутность потока в последнее время характерна для рек Ингул и Ингулец (120 – 130 г/м^3), что обусловлено эрозионными свойствами почв, их смывом, густотой овражно-балочной сети, особенностями формирования ливневого стока, стока талых вод, хозяйственной деятельностью в бассейнах указанных рек и др. факторами. Согласно исследованиям Соболева С.С. [10, 11] и фундаментальной работе Шамова Г.И. [75] в бассейнах этих рек местами отмечается сильный смыв, ветровая эрозия.

Средняя годовая мутность р.Днепр в последние 20 лет порядка 15 – 25, р. Юж. Буг – 30 – 70 г/м^3. Вероятно, вода на устьевых участках морских устьев этих рек имеет небольшую концентрацию наносов из-за их накопления в водохранилищах, значительной урбанизации и зарастания береговой черты, уменьшающих степень эродированности почв. На устьевом участке р. Юж. Буг встречаются сухие балки и небольшие овраги, но интенсивность водной эрозии здесь значительно слабее, чем в верхнем течении рек Юж. Буг, Ингул и

Ингулец. В левобережье р. Днепр водная эрозия практически отсутствует, песок и более мелкие частицы здесь переносятся при пылевых бурях, обогащая воду наносами. Заросшие днепровские плавни, поймы водотоков способствуют осаждению взвесей, являясь для них природными фильтрами. На правом берегу р. Днепр, на участке г. Херсон – с. Львово расположено 25 балок, имеющих в половодье выносы материала в реку, что может эпизодически увеличивать мутность воды.

По данным [6] в междуречье р. Днепр и р. Юж. Буг, на северо-восточном берегу Днепровского лимана, низовьях р. Ингулец отмечается интенсивная водная эрозия, потери пахотного слоя здесь достигают за год 15 – 20 т/га.

Наибольшие изменения средней годовой мутности воды отмечаются в воде р. Юж. Буг. Например, по данным [74] за период с 1949 г. по 1965 г. средняя годовая мутность воды составляла 350 г/м^3, а в последнее двадцатилетие – около 36 г/м^3. Такие существенные колебания значений мутности могут быть обусловлены не только естественными причинами, сооружением водохранилищ или снижением уровня хозяйственного освоения, но и сокращением количества наблюдений. В бóльшую часть года мутность воды этой реки не превышает 50 г/м^3, но в среднем 3 раза в году её значения больше 1000 г/м^3. Недостаток наблюдений в период повышенной мутности и могут приводить к занижению значений средней годовой мутности потока.

Данные других литературных источников о мутности воды рассматриваемых рек также разнятся [1, 10, 11, 22, 25, 73]. Например, в работе [22, 25] мутность р. Днепр в устье составляет 3 – 25 г/м^3 (в среднем 10 – 15 г/м^3), р. Юж. Буг – в среднем 60 – 70 г/м^3, увеличиваясь в половодье до 200 – 300 г/м^3. В других изданиях р.Юж. Буг имеет среднее значение мутности, равное 230 г/м^3, р.Ингул – 140 г/м^3, а р.Ингулец – 130 г/м^3.

В табл. 3.2 показана изменчивость значений мутности воды в замыкающих створах по данным ГВК [74]. Как видно из данных этой таблицы величина мутности воды в зависимости от фазы водного режима может изменяться на 2 – 4 порядка. При такой существенной изменчивости мутности воды её средняя характеристика не является показательной.

Кроме минеральной составляющей мутность включает и органическую, так как зависит от количества органических веществ, содержащихся в водной среде. Чем больше их в воде, тем больше мутность воды.

Во взвесях более мутных рек (Ингул и Ингулец) количество частиц органического происхождения варьирует от 30 до 70 % от общего веса взвешенных наносов.

Таблица 3.2

Изменчивость срочной*) и средней месячной мутности воды (г/м^3)

Характеристика	Водный объект – пункт				
	Днепр, Каховская ГЭС	Юж.Буг, пгт Александровка	Ингул, с. Новогорожено	Ингулец, с. Могиловка	лим. Днепровско-Бугский
Срочная мутность	5 – 160	2 – 6400	1 – 8900	1 – 2700	0,1 – 5000
Средняя месячная мутность	–	3 – 2490	0,001– 95	2 – 630	–

*Примечание: *)– средняя мутность потока в срок измерения расхода наносов.*

По данным [25, 76] в Каховское водохранилище извне в среднем за год поступает 500 тыс. т наносов, 10 – 15 % которых органического происхождения. В самом водохранилище формируется 98 % взвеси (21700 – 21922 тыс.т), что обусловлено размывом берегов, дна и др. Органическая составляющая взвеси увеличивается с 10 – 15 % весной до 60 – 90 % летом и в среднем составляет около 75 % массы наносов, что обусловлено большой биопродуктивностью днепровских водохранилищ. В связи с тем, что аккумулирующая способность каскада днепровских водохранилищ очень существенна, в Каховском водохранилище оседает 99,5 % поступающих извне наносов [25], транзит взвешенного вещества в Днепровско – Бугский лиман после сооружения водохранилищ уменьшился.

В воде р. Юж. Буг органических веществ во взвесях содержится до 30 – 35 %, количество выносимых в устье наносов уменьшилось (в 5 – 6 раз) после зарегулирования стока реки водохранилищами.

Система наблюдений Гидрометеослужбы Украины не включает регулярных наблюдений за мутностью воды на устьевом взморье рек Днепр и Юж.Буг, выполнялись только единичные отборы проб на мутность в разных частях Днепровско-Бугского лимана.

По [22, 25] мутность воды Днепровско-Бугского лимана в среднем составляет 10 – 15 г/м^3, а при сбросах из водохранилища воды, насыщенной фитопланктоном, или при его развитии в воде лимана, увеличивается до 45 – 50 г/м^3. Летом доля органических веществ в наносах в среднем составляет 60 – 70 % [25]. Мутность воды уменьшается по направлению к морю, что обусловлено смешением с менее мутными морскими водами. В прибрежной зоне лимана при ветреной погоде мутность может увеличиваться до 60 – 70 г/м^3 и более. Размах мутности воды в глубоководной части Днепровско-Бугского лимана по данным Слатинского Ю.Г. [56] достигал 260 г/м^3, пределы её изменения у берегов более значительны и составляли в отдельных точках лимана 0,1 – 5000 г/м^3. Мутность воды существенно повышается при дождевых паводках и штормах, но измерений в этот период недостаточно для детального анализа максимальных значений этой характеристики. Зимой мутность минимальная.

Содержание взвешенных наносов на устьевом взморье определяется их количеством, поступившим из водотоков устья, режимом течений, смешением морских (лиманных) и речных вод, волнением, осаждением частиц. Наиболее мутные воды сосредотачиваются в районе устьев водотоков, поэтому чаще всего распределение мутности, также как и прозрачности воды, на устьевом взморье неоднородное. Отмечаются случаи, когда мутность в восточной части лимана меньше, чем в западной и в открытой части взморья.

Количество наносов в водоёмах, расположенных в дельте р. Днепр, меньше чем в водотоках – в среднем мутность равна 3 – 10 г/м^3 и увеличивается при ветре и волнении до 50 – 70 г/м^3. Зарастаемость водоёмов способствует осветлению воды, так как водная растительность препятствует взмучиванию и способствует седиментации наносов.

Внутригодовые изменения мутности воды представлены на рис. 3.1. Для анализа закономерностей изменения содержания взвешенных наносов сезонный ход мутности рассмотрен в комплексе с расходом воды.

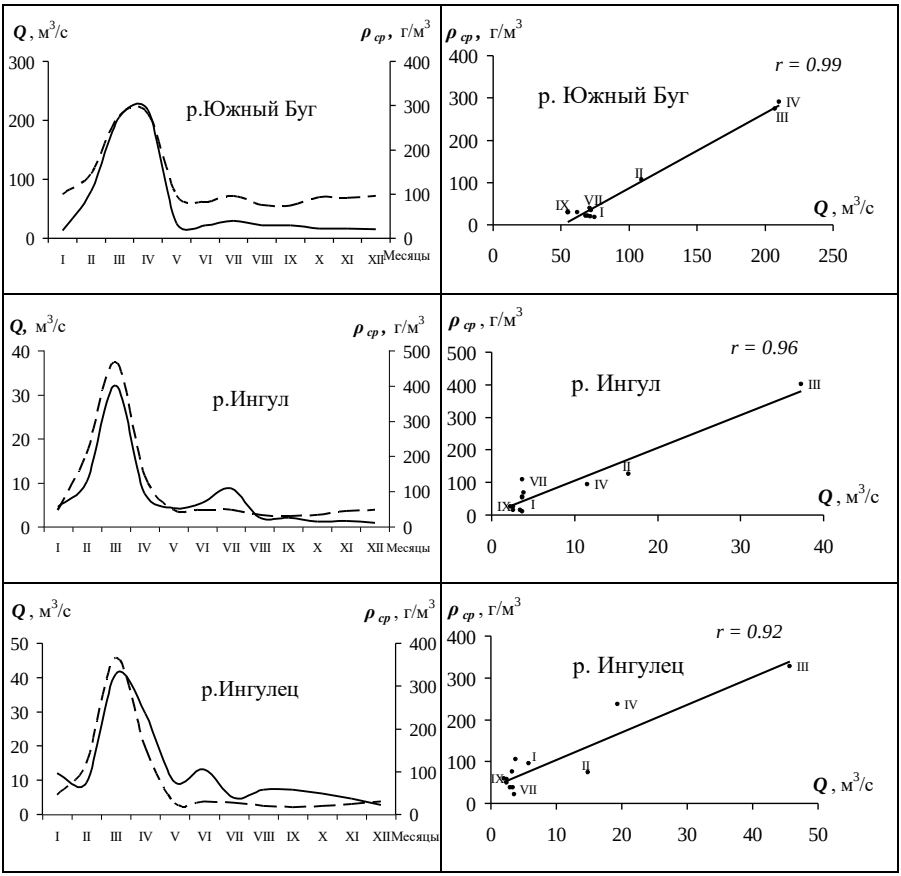


Рис. 3.1. Сезонный ход мутности (——), расхода воды (----) и зависимости мутности от расхода воды $\rho_{ср} = f(Q)$ (римскими цифрами указаны месяцы)

Связи между расходом воды и мутностью $\rho_{ср} = f(Q)$, полученные по данным измерений, раскрывают особенности процессов наносообразования, их транспорта и аккумуляции.

Характер зависимости $\rho_{ср} = f(Q)$ для разных рек схожий (рис. 3.1), что свидетельствует об идентичности процессов разрушения пород, эрозии почв, перемещения наносов, сроков формирования максимального стока и максимального смыва, размыва, что и обусловливает совпадение изменений во времени мутности $\rho_{ср} = \varphi(t)$ и расхода воды $Q = f(t)$. Как видно из рис. 3.1 максимальные расходы

воды рек и максимальная мутность отмечаются практически одновременно, в марте; интенсивность изменения мутности и расхода воды примерно одинаковая. В более ранний период пик мутности предшествовал пику половодья на всех реках, включая р. Днепр у г. Херсона, что, очевидно, было связано с поступлением талых вод не в водохранилища, где наносы аккумулируются, а непосредственно в реки.

Связи между средними месячными значениями мутности воды и стока – тесные (коэффициенты корреляции равны 0,99 – 0,92) и представлены следующими зависимостями для рек Юж. Буг (3.1), Ингул (3.2) и Ингулец (3.3)

$$\rho_{ср} = 1{,}77Q - 89{,}9 \quad \text{при } Q \geq 50{,}8\,, \tag{3.1}$$

$$\rho_{ср} = 10{,}1Q + 3{,}50\,, \tag{3.2}$$

$$\rho_{ср} = 6{,}60Q + 38{,}0\,. \tag{3.3}$$

Такие зависимости типичны для морских устьев средних и малых рек, в водном режиме которых выделяется половодье. В основном с февраля по апрель поступает 60 – 90 % наносов с водой этих рек и их притоков. В бассейнах рек наибольшее поступление наносов происходит в период снеготаяния, весенний склоновый сток здесь интенсивен и сопровождается эрозией, смывом и поступлением продуктов смыва в русло.

Распределение мутности воды на взморье практически не изучалось, но отдельные натурные данные свидетельствуют о том, что оно неоднородное. На устьевых участках рек мутность воды уменьшалась от поверхности ко дну, была одинаковой или увеличивалась – с одинаковой повторяемостью. В Днепровско-Бугском лимане в 60 % случаев мутность придонного слоя воды была больше, чем поверхностного. Максимальная мутность обычно отмечалась в слое скачка или у дна, если скачка плотности не наблюдалось или измерения производились только на поверхности и у дна. Зачастую по каналу у дна поступала солёная вода, но она была более мутной, чем в вышележащих слоях. Возможно, здесь преобладают процессы осаждения взвесей, флокуляции и происходит взмучивание донных

отложений течениями (рис. 2.23 б). Градиент мутности воды достигал 5 – 25 г/м^3 на метр. Вода Днепровского лимана иногда бывает более мутной (в 2 – 3 раза), чем вода р. Днепр, так как эта река содержит мало наносов, а на взморье отмечается ветро-волновая активность, способствующая взмучиванию осадков на обширных мелководьях лимана, и развитие фитопланктона. Мутность р. Юж. Буг обычно больше мутности Бугского лимана (табл. 3.1), т.к. в нём происходит седиментация наносов, усиленная процессами флокуляции, сюда поступают менее мутные днепро-лиманские воды, ветроволновое перемешивание меньше, чем в Днепровском лимане. По данным наблюдений мутность воды в разных частях морского устья может отличаться на порядок и более. На устьевом взморье, зачастую, наблюдаются разнонаправленные потоки, с разным содержанием наносов, поэтому для оценки пространственного распределения мутности здесь необходимо определять мутность воды прямого и обратного потоков, что пока сделать невозможно из-за недостатка наблюдений.

3.2. Прозрачность воды

Важным оптическим свойством воды, которое характеризует её качество и биопродуктивность водного объекта, является прозрачность воды. Относительная прозрачность воды, определяемая по дальности видимости белого диска, не только гидрооптический параметр водной среды, но и удобный показатель для изучения процессов смешения речных и морских вод.

Мутность, прозрачность и цвет воды связаны между собой. Поэтому распределение мутности воды на устьевом взморье можно характеризовать изменением прозрачности, которая измеряется чаще, чем мутность.

Приемлемая универсальная зависимость между прозрачностью (P) и мутностью воды (ρ) была предложена Тимченко В.М. и Сипченко П.В. в [77]. Эта зависимость эффективна в диапазоне изменения мутности от 0,5 до 140 мг/л, прозрачности от 15 до 280 см (а, следовательно, и для устьевого взморья рек Днепр и Юж. Буг) и имеет вид

$$P = 190 \cdot \rho^{-0,513} \cdot 10^{0,006k}. \qquad (3.4)$$

Коэффициент k здесь зависит от относительного содержания в воде органики (в %). При одной и той же мутности воды бóльшему содержанию частиц органического происхождения соответствует бóльшая прозрачность воды, а при одинаковой прозрачности, чем больше органическая составляющая, тем больше мутность воды [25, 77], что обусловлено различными оптическими свойствами частиц.

При расчёте средней мутности Днепровско-Бугского лимана по средней прозрачности воды (1,1 м) и при среднем содержании органической составляющей (50 %) с использованием формулы (3.4) получается результат, близкий к данным работы [25], средняя мутность воды устьевого взморья равна 12 мг/л.

Обычно прозрачность воды увеличивается по направлению к морю, а мутность уменьшается, но в Днепровско-Бугском лимане наблюдается и обратная картина. Изменчивость прозрачности воды морского устья рек Днепр и Юж. Буг существенная: в устье р. Юж. Буг она имеет значения 0,2 – 0,9 м, на устьевом участке р. Днепр – 1,0 – 2,2 м, в устьевых рукавах р. Днепр – 1,5 – 3,5 м, в Днепровско-Бугском лимане 0,1 – 2,8 м. Прозрачность воды открытой части устьевого взморья может изменяться от 0,1 до 4,5 м, а цвет воды – в пределах X – XX.

В Днепровско-Бугском лимане годовой ход прозрачности воды выявить не удалось из-за её зависимости от: сбросов из Каховского водохранилища, поступления воды из прилегающей части моря, ветро-волновой активности, развития фитопланктона в самом лимане, его поступления из р. Днепр и др. По материалам наблюдений в открытой части устьевого взморья, средняя прозрачность воды изменялась в следующих пределах: в большую часть года она составляла 2 – 3 м, в период повышенной водоносности рек уменьшалась до 1 – 2 м, осенью и в предзимний период увеличивалась до 3 – 5 м. По немногочисленным данным наблюдений суточный ход прозрачности был в пределах 0,1 – 1,0 м.

Прозрачность воды, определяемая с помощью белого диска, зависит от высоты стояния Солнца над горизонтом, облачности и волнения. Обобщённые за многолетний период материалы характеризуют только прозрачность при осреднённых гидрометеорологических условиях. Для учёта влияния на прозрачность воды определённых гидрометеорологических ситуаций, поля наблюдавшейся в экспедициях прозрачности (относительной) по специальным методикам

необходимо приводить к стандартным условиям (полдень, безоблачное небо, штиль и др.). Приведенная прозрачность больше наблюдавшейся.

С самолётов и спутников обычно хорошо заметен раздел между менее прозрачными, желтовато-бурыми водами устьевого взморья и сине-зелёными или серовато-зелёными водами северо-западной части Чёрного моря. Визуально он выглядит, как «облака мутности» [7], с чередованием участков разной насыщенности наносами. Вдоль берега лиман окантован более мутными водами. Такая картина обусловлена динамикой вод.

По исследованиям Скриптунова Н.А. и Демиденко Н.А. [78], средние скорости придонных течений (рис. 2.23 б) в Днепровско-Бугском лимане способствуют активному взвешиванию частиц грунта, что является важным фактором уменьшения прозрачности и увеличения мутности воды в мелководной части устьевого взморья. Зависимость величины прозрачности от мутности и ветрового волнения, установленная Скриптуновым Н.А., является универсальной и свидетельствует о том, что ветровое волнение в Днепровско-Бугском лимане, когда высота волны изменяется в пределах от 0,5 до 1,5 м, уменьшает прозрачность воды [78] в мелководной части акватории (около 70 % Днепровско-Бугского лимана) в среднем на 0,7 м. Значительное увеличение мутности воды (в 30 – 40 раз) и уменьшение её прозрачности в волноприбойной зоне устьевого взморья при волнении подтверждается натурными наблюдениями.

При анализе мутности воды взморья по материалам наблюдений за прозрачностью воды необходимо учитывать, что зависимости вида (3.4) являются эмпирическими и достоверны, обычно, в определённых диапазонах изменения элементов. На постоянную составляющую прозрачности воды, обусловленную речным выносом на устьевое взморье, накладывается переменная составляющая, зависящая от динамики вод взморья, содержания органики и др., что также необходимо учитывать при анализе пространственно-временных изменений содержания взвесей в воде.

Таким образом, до настоящего времени прозрачность и, особенно, мутность воды остаются слабоизученными элементами режима в рассматриваемом морском устье рек, где они формируются под действием речного выноса наносов, взмучивания частиц волнением и течениями, а также за счёт гидробиологической составляющей.

3.3. Гранулометрический состав наносов

Процессы русло- и дельтообразования, транспорта наносов, заиления каналов, водотоков и водоёмов зависят от размеров частиц, взвешенных, влекомых или осевших на дно. Исследование размеров наносов, осуществлялось только для р. Юж. Буг в створе пгт Александровка, р. Ингулец у с. Могиловка и эпизодически в различных частях Днепровско-Бугского лимана и низовье рек Днепр и Ингул.

В отличие от других водных объектов в морском устье рек Днепр и Юж. Буг наносы и донные отложения смешанного генезиса: речного, лиманного, озёрного, болотного и морского. Донные отложения откладывались в различные фазы формирования устья (разд.1.1), в котором происходит обмен веществами между речной и морской водами, отличающимися содержанием и составом взвешенных наносов, а также с сушей, биосферой и атмосферой. Поэтому идентифицировать взвешенные, донные наносы и донные отложения, особенно в лимане, бывает затруднительно, не всегда можно определить, к какому типу они относятся, так как здесь происходит смешение разнородных по составу и содержанию наносов речных и морских вод с материалом разрушения берегов. Это приводит к формированию сложного гранулометрического состава наносов и донных отложений, который в рамках речной или морской методики исследований бывает трудно классифицировать [7].

По эпизодическим измерениям [73, 74] в составе взвешенных наносов рек Юж. Буг и Ингулец преобладают фракции менее 0,05 мм. Доля мелкого песка в стоке наносов этих рек составляет 0,5 – 10 %, ещё меньше доля крупного песка (1 – 2 %). В составе влекомых наносов и донных отложений, в отличие от взвешенных наносов, преобладает песок, размером не менее 0,25 мм. Более крупные фракции встречаются на перекатах, мелкие – на плёсовых участках. Сведения о гранулометрическом составе взвешенных и донных наносов этих рек представлены в табл. 3.3.

Исследование состава наносов в русле р. Ингул (в районе с. Новогорожено) выполнялось эпизодически только в период летне-осенних паводков [73, 74]. Содержание донных наносов р. Ингул по фракциям аналогично приведенным в табл. 3.3: преобладает диаметр частиц в диапазоне 0,5 – 0,25 мм (34,1 % по массе). Более крупные

частицы (диаметром 1 – 0,5 мм) составляют 23,2 %, наиболее мелких частиц содержится 18,4 %.

Таблица 3.3

Гранулометрический состав взвешенных и донных наносов (% по массе) рек Юж. Буг и Ингулец

Диаметр частиц, мм	р. Ингулец – с. Могиловка	р. Южный Буг – с. Александровка
взвешенные наносы		
1 – 0,5	1,5	0,7
0,5 – 0,25	10,5	12,2
0,25 – 0,1	16,1	9,4
0,1 – 0,05	20,2	9,0
0,05 – 0,01	31,4	45,4
0,01 – 0,005	20,3	23,3
донные наносы		
25,0 – 10,0	0,6	5,6
10,0 – 5,0	11,2	5,6
5,0 – 2,5	10,9	11,0
2,5 – 1,0	8,2	11,4
1,0 – 0,5	10,5	13,2
0,5 – 0,25	18,6	23,3
0,25 – 0,1	17,0	5,1
0,1 – 0,05	14,3	5,0
менее 0,05	8,7	19,8

Гранулометрический состав взвешенных и влекомых наносов р. Днепр изучался в районе г. Киева [73, 74], донные отложения – на некоторых участках дельты р. Днепр [1, 56, 79]. В среднем в устьевых водотоках р. Днепр в составе взвесей преобладают частицы диаметром менее 0,01 мм (49 %) и от 0,01 до 0,05 мм (38 %). В период сбросов ГЭС в составе наносов увеличивается доля крупных фракций, в межень содержание крупных фракций уменьшается, а мелких – увеличивается. Вниз по течению водотоков обычно доля крупных наносов уменьшается. Сведения о механическом составе донных отложений (отобранных дночерпателем) в отдельных частях морского устья рек Днепр и Юж. Буг представлены в табл. 3.4 по [56, 79].

Гранулометрический состав взвешенных наносов и донных отложений в Днепровско-Бугском лимане и на открытом устьевом взморье мало изучен. Имеются отдельные натурные данные о меха-

ническом составе пляжных и донных отложений мелководий. Средний взвешенный диаметр частиц пляжей изменяется в пределах 0,3 – 2,5 мм, приурезная отмель сложена крупными отложениями, имеющими средний взвешенный диаметр частиц 0,2 – 0,6 мм. В лимане, на глубине 1,0 м, преобладают пески диаметром частиц 0,2 – 0,3 мм, а глубже 3 – 4 м – илистые отложения, которыми занято более половины площади дна. Их размер от 0,001 до 0,01 мм, а в смеси с алевритом и песком – до 0,15 мм.

Таблица 3.4

Гранулометрический состав (% по массе) донных отложений [56, 79]

Место отбора пробы	Диаметр частиц (мм)								
	более 5,0	5,0 – 3,0	3,0 – 2,0	2,0 – 1,0	1,0 – 0,5	0,5 – 0,25	0,25 – 0,05	0,05 – 0,01	менее 0,01
р. Днепр – г. Херсон	–	–	–	–	0,2	0,5	31,4	67,9	–
рук. Юж. Речище	–	–	–	–	0,2	2,0	57,9	39,9	–
рук. Кошевая	–	–	–	–	0,2	2,9	38,0	56,0	2,9
лим. Стеблиевский	–	–	–	–	–	0,7	0,9	13,4	85,0
Западная часть Днепровского лимана, глубина 2 м	0,2	3,0	1,5	1,6	3,9	29,0	61,0	–	–
Открытое устьевое взморье, глубина 3 м	–	–	17,7	5,0	3,4	17,0	56,9	–	–

На рис. 3.2 показаны гистограммы осреднённого распределения взвешенных, влекомых наносов и донных отложений, дающие наглядное представление об их гранулометрическом составе. Очевидно, что донные отложения в основном имеют диаметр частиц более 0,05 мм (самой мелкой фракцией является крупный алеврит), а размеры взвешенных наносов, обычно меньше 0,05 мм; в их составе преобладает мелкий алеврит и пелит. Причём, в устье р. Днепр в гранулометрическом составе наносов превалируют более мелкие фракции, чем в устье рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец, потому что чем больше длина реки, тем мельче диаметр руслоформирующих частиц.

Таким образом, взвешенные наносы устьеобразующих рек в 30 – 45 % случаев имеют диаметр 0,01 – 0,05 мм.

Донные (влекомые) наносы в реках Ингул, Юж. Буг и Ингулец распределены по фракциям более равномерно (по 5 – 20 %), чем взвешенные наносы, преобладают размеры диаметра 0,05 – 0,4 мм.

Преобладающие размеры частиц, слагающих русло р.Днепр (район г.Херсона), в диапазоне 0,05 – 0,01 мм (около 70 %), а донных отложений в мелководной части лимана вдоль Кинбурнской косы – 0,1 – 0,5 мм (около 90 %).

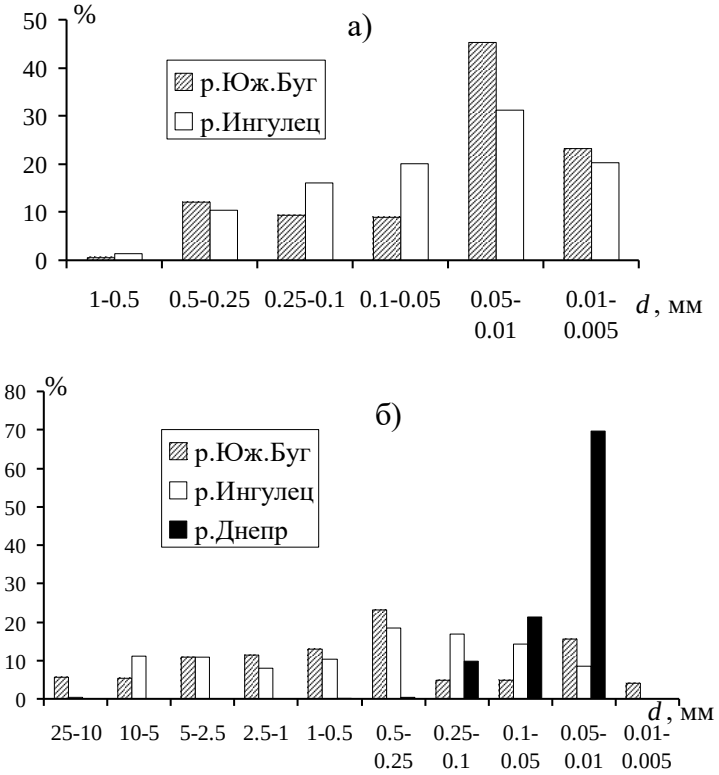


Рис. 3.2. Гистограммы среднего годового распределения по фракциям взвешенных наносов (*а*), донных наносов и донных отложений (*б*)

Интегральные кривые осреднённого гранулометрического состава наносов р. Юж. Буг (в искажённом горизонтальном масштабе) показаны на рис. 3.3. Они дают наглядное представление о том, какой процент частиц, меньше указанного размера, содержится в со-

ставе рассматриваемой пробы. Например, из рис. 3.3, *б* видно, что в среднем в пробах донных наносов р. Юж. Буг 50 % частиц имеет диаметр меньше 0,5 мм, т.е. диаметр частиц донных наносов обеспеченностью 50 % ($d_{50\%}$) равен 0,5 мм, а $d_{50\%}$ (эффективный диаметр) в пробах взвешенных наносов не превышает 0,03 мм (рис. 3.3 а), максимальный диаметр около 1,0 мм.

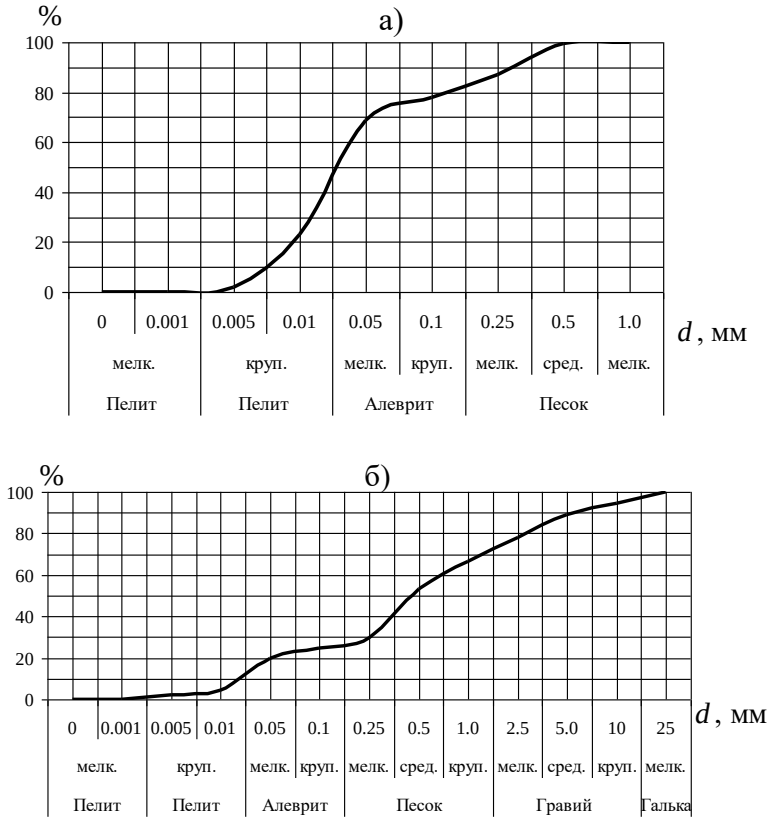


Рис. 3.3. Интегральные кривые фракционного состава взвешенных наносов (а) и донных наносов (б) р. Юж. Буг

После сооружения водохранилищ на реках механический состав наносов, по исследованиям [25], изменился, увеличилась доля более

мелких фракций, т.к. в составе наносов стали превалировать глинистые частицы.

3.4. Распределение донных отложений

Эпизодические наблюдения за донными отложениями на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг позволили картировать их распределение в Днепровско-Бугском лимане (рис. 3.4). При этом использовались данные обобщений Слатинского Ю.Г. [56], иллюстрирующие особенности осадконакопления в приёмном водоёме, и другие литературные источники.

В лимане преобладает аккумуляция выносимых реками взвешенных наносов, отложение влекомых в придонном слое частиц, поступление наносов морского происхождения, их транспорт и переотложение, поступление продуктов разрушения берегов, накопление отмирающей органики, оседание твёрдых частиц при ветровом переносе (особенно при пылевых бурях). Существенную роль в перераспределении отложений играет расчистка канала и дампинг грунта.

Так как уменьшение скорости течения на устьевом взморье вызывает уменьшение транспортирующей способности потока, а поступление солёной воды способствует седиментации наносов, слой донных отложений в Днепровско-Бугском лимане наибольший в морском устье.

Многофакторность процессов формирования донных отложений лимана отражается на их составе и распределении (рис. 3.4). В различные эпохи развития морского устья (рис. 1.2) преобладало доминирование речных или морских факторов на различных участках, равновесное состояние, что постепенно изменяло картину распределения донных отложений. На рис. 3.4 представлены донные отложения активного слоя взморья, который для песков принят равным 10 см, для илов – 30 см.

В составе донных отложений преобладают песчанистые и глинистые илы. Пески или пески с примесью ракуши залегают в прибрежной части. При этом встречается ракушечник как морского, так и пресноводного типа.

Распределению донных отложений в прибрежной зоне свойственна зональность, доминирует песок, материал разрушения берегов, затем следуют пески пылеватые и илистые, к которым примыкает зона песчанистых, глинистых и пр. илов. В Кинбурнском проливе, соединяющем лиманную и морскую часть устьевого взморья, отмечаются скопления ракушечника и крупнозернистого материала (рис. 3.4). Здесь ракушечник – морского происхождения с преобладанием мидий.

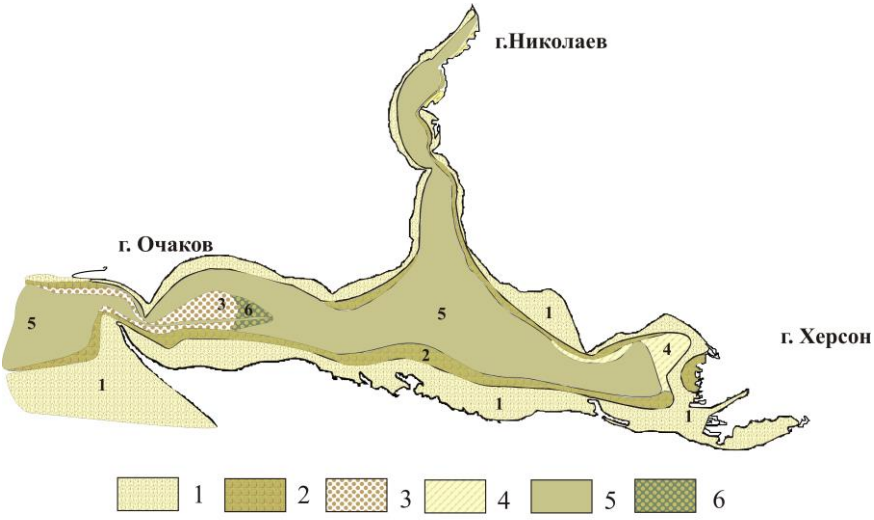


Рис. 3.4. Схема распределения донных отложений в лимане

По особенностям распределения донных отложений морское устье рек можно разделить на характерные районы: устьевые участки рек, дельта и устьевое взморье. В свою очередь, устьевое взморье подразделяется на подрайоны. Для р. Днепр и устьевых рукавов типично заполнение стрежневой части русла песчанистыми отложениями, иногда с гравием и осколками ракуши, которые по берегам граничат с илистыми и песчано-илистыми отложениями. К нижней границе дельты в отложениях увеличивается доля ила. Для русла р. Юж. Буг характерно преобладание глинистого ила в глубоковод-

ной части русла и песка на верхних участках склона. Эти особенности обусловлены различной ролью стока больших, средних и малых водотоков, различиями в склоновых процессах, в степени активности водотоков, в уровне антропогенного воздействия и др.

Схема распространения донных отложений может применяться при зонировании морского устья, выделении областей влияния речных и морских факторов. Очевидно, за морскую границу устьевого взморья в придонном слое можно принимать область раздела между зоной распространения донных осадков, образованных речным выносом, и зоной залегания грунтов морского происхождения.

3.5. Сток взвешенных наносов

Сток наносов в вершинах морского устья рек сформирован, бóльшей частью, на вышерасположенных участках бассейна.

Особенности переноса и аккумуляции наносов устьеобразующими реками зависят от климатических, ландшафтных факторов, хозяйственной деятельности в бассейнах рек, реках, приёмном водоёме и его бассейне. В морском устье рек, кроме поступления наносов с речным стоком (которое зависит от климатических, бассейновых факторов), большую роль в режиме наносов играют местные азональные факторы и хозяйственная деятельность: наличие дельты, плавней, озёр, зарастаемость водной растительностью, переработка и эрозия берегов, сбросы и заборы воды, обвалование, дноуглубительные работы и дампинг, спрямление русел и др.

Сток наносов, особенно в нижних звеньях морского устья практически не изучен. Неизвестно его распределение в устьевых водотоках р. Днепр и динамика наносов при сгонно-нагонных явлениях, проникновении в водотоки устья клина солёной воды.

Анализ изменчивости расхода и стока наносов в морском устье рек выполнялся по Ежегодным данным Государственного водного кадастра [73, 74].

Средние годовые значения расхода и стока наносов в вершинах морского устья рек Днепр и Юж. Буг представлены в табл. 3.5. Из таблицы видно, что чем больше водоносность реки, тем больше сток наносов.

Сток наносов р. Юж. Буг уменьшается. Основной причиной таких изменений является, по-видимому, то, что, с одной стороны,

происходит снижение хозяйственного потенциала (уменьшился смыв с полей, не производятся дноуглубительные работы на судовых ходах трассы море – река); с другой, – отмечается накопление наносов в водохранилищах, сказывается обвалование русел, водозабор и другие водохозяйственные мероприятия. Эти факторы, вероятно, привели к уменьшению мутности воды, что обусловило уменьшение расхода наносов. Возможно, определённую роль играет недостаток данных по определению мутности воды в период её максимальных значений (разд. 3.1).

Таблица 3.5

Характеристика годового расхода и стока взвешенных наносов за 1961 – 2009 г.г.

Река	Расход наносов, кг/с			Размах ($R_{нмакс}$– $R_{нмин}$) / коэффициент неравномерности стока наносов ($R_{н\ макс}$ / $R_{н\ мин}$)	Сток наносов, млн. т/год	Модуль стока наносов, т/км^2 год
	средний, $R_{н\ сред}$	наибольший, $R_{н\ макс}$	наименьший, $R_{н\ мин}$			
Днепр	26,8	350	0,40	350 / 875	0,85	1,8
Юж. Буг	21,9	170	0,70	169 / 243	0,69	14,9
Юж. Буг*)	3,4	–	–	–	0,10	2,2
Ингул	1,0	8,70	0,026	8,7 / 335	0,03	4,5
Ингулец	1,0	13,0	0,021	13,0 / 619	0,03	3,4

*Примечание:**) *– за период с 1989 г. по 2009 г.*

Сток наносов р. Днепр рассчитан ориентировочно, так как отсутствуют систематические наблюдения за мутностью воды. Река Днепр выносит в Днепровско-Бугский лиман около 0,85 млн. тонн наносов в год, что почти столько же, сколько поступало с р. Юж. Буг, сток которой намного меньше стока р. Днепр. Полученная приближённая оценка выноса наносов р. Днепр соответствует литературным данным – различные авторы оценивают его в 0,8 – 1,2 млн. т/год. Суммарный сток речных наносов в морское устье можно приближённо оценить в 1,0 млн. т/год. Модуль стока наносов в табл. 3.5 рассчитан для створа, где определялась мутность воды, поэтому полученные результаты отличаются от приводимых в [7].

Внутригодовое распределение стока наносов рек идентично гидрографам стока (рис. 2.2, разд. 2.1, рис. 3.5). В вершинах морского устья рек Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец максимум стока воды и наносов, в основном, отмечается одновременно. Смыв с местного бассейна может быть значимым в тех местах, где имеется развитая овражно-балочная сеть и соответствующий уклон. Очевидно, этим и объясняется совпадение с пиком водности максимумов мутности и расхода наносов (рис. 3.1, 3.5).

Максимальный средний месячный расход наносов почти в 30 раз больше минимального.

Средний месячный расход наносов р. Юж. Буг бóльшую часть года составляет около 1 – 2 кг/с, в феврале он начинает увеличиваться и в марте – апреле достигает 100 – 200 кг/с, иногда и более.

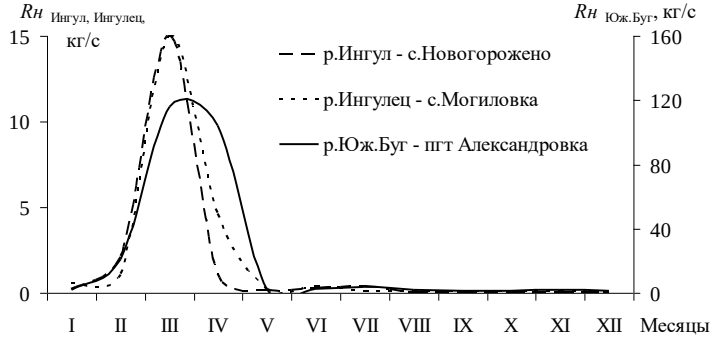


Рис. 3.5. Внутригодовая изменчивость среднего месячного расхода наносов (кг/с) в вершинах морского устья рек за период с 1961 г. по 2009 г.

Зависимости $R_н = f(Q)$ для средних месячных значений расхода наносов, полученные за однородные периоды (табл. 3.1, 3.5), имеют высокие коэффициенты корреляции и могут использоваться для ориентировочных оценок стока наносов при отсутствии наблюдений за мутностью воды. Например, средний месячный расход наносов р. Юж. Буг у пгт Александровка ($R_н$, кг/с) за период с 1975 г. по 1988 г. можно рассчитать по среднему месячному расходу воды (Q, м^3/с) в этом створе по зависимости

$$R_н = 10^{-6}Q^3 + 0{,}0004Q^2 - 0{,}26\ Q + 0{,}35\ , \qquad (3.5)$$

имеющей корреляционное отношение, равное 0,99.

Наибольший средний суточный расход наносов р. Юж. Буг достигал 9200, р. Ингул – 1100 и р. Ингулец – 730 кг/с.

Отсутствие систематических наблюдений за процессами формирования стока наносов до настоящего времени является главной причиной недостаточной изученности режима наносов в морском устье рек Днепр и Юж. Буг.

3.6. Баланс наносов

Основной составляющей баланса наносов является их поступление при разрушении берегов, смыве и с речным стоком. Твёрдые частицы также попадают на поверхность воды в период пыльных бурь, которые бывают почти ежегодно (разд. 1.7).

В связи с тем, что уклоны в устье минимальные, а иногда бывают и обратными, здесь, вероятно, преобладает не размыв, а аккумуляция наносов.

При водообмене Днепровско-Бугского лимана с прилегающей частью взморья происходит перенос наносов через Кинбурнский пролив. Бóльшее их количество выносится, а поступает в лиман ¼ часть суммарного переноса наносов через пролив.

Точная оценка баланса наносов в морском устье рек пока невозможна из-за отсутствия данных наблюдений и надёжных расчётных методов, однако, рассчитать отдельные составляющие баланса взвешенных наносов Днепровско-Бугского лимана с некоторым приближением возможно. Результаты такого расчёта представлены в таблице 3.6.

Составляющие баланса взвешенных наносов определены в соответствии с данными таблиц 3.1, 3.5 и материалами немногочисленных натурных исследований.

Для проверки правильности расчётов баланса наносов Днепровско-Бугского лимана выполнена оценка баланса наносов Каховского водохранилища. По данным [76] в него, в среднем за год, поступает 0,50 млн. т аллохтонного вещества, а в самом водохранилище за это время образуется около 21,9 млн. т твёрдых веществ из-за размыва дна, островов, берегов, за счёт органической составляющей и др. Перерасчёт проточности водохранилища и его аккумулирующей

способности показал, что около 96 % поступающих из всех источников частиц аккумулируется, в среднем за год слой илов увеличивается на 0,8 – 0,9 см, что близко к результатам, полученным в работе [76]. Следовательно, из Каховского водохранилища в среднем выносится в год около 0,9 млн. т наносов, что соответствует полученному по эпизодическим наблюдениям значению выноса наносов р. Днепр (табл. 3.5).

Таблица 3.6

Составляющие среднего годового баланса взвешенных наносов в воде Днепровско-Бугского лимана

Приходная часть, млн. т/год		Расходная часть, млн. т/год		Содержание наносов в воде лимана, млн. т/год
аллохтонное вещество	1,17	вынос из лимана	0,34	
автохтонное вещество	3,9	отложение наносов	4,7	0,03
всего	5,07	всего	5,04	

Наибольшей приходной статьёй баланса является образование твёрдого вещества в Днепровско-Бугском лимане, расходной – отложение наносов. Исходя из полученных данных (табл. 3.6) средний слой осаждающихся за год осадков составляет 0,7 – 0,8 см (исключая судоходный канал). Зная толщину слоя осадков в Днепровско-Бугском лимане, накопленных за тысячелетия, можно уточнить возраст лимана. Оценка баланса наносов в Днепровско-Бугском лимане сделана впервые.

Учесть такие составляющие баланса наносов, как эоловый перенос, смыв с берега, хемогенную сорбцию-десорбцию, а также антропогенную составляющую, пока не представляется возможным. Как влияет поступление солёной воды на режим наносов в морском устье рек практически не исследовано. Антропогенная составляющая баланса наносов включает: сбросы сточных вод, обогащённых взвесями, нецентрализованные поступления взвешенных веществ, расчистку и обвалование русел, каналов, дампинг, канало- и портостроение, берегоукрепление, подсыпку пляжей, забор песка и гальки, сбросы ГЭС и др. В результате хозяйственной деятельности в морском устье, вероятно, не столько изменяется баланс наносов, сколько происходит их перераспределение по акватории.

ГЛАВА 4
ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ И СТОК ТЕПЛА

Температура воды играет существенную роль в гидрологическом режиме морского устья рек Днепр и Юж. Буг, является важной характеристикой устьевых процессов, определяет физико-химическое и экологическое состояние водных объектов устья и их температурный режим. Она влияет на ледовые явления, испарение с водной поверхности, самоочищающую способность водной среды от загрязнения, продолжительность биологических циклов в водных экосистемах, гидрофизические и гидрохимические процессы, является составляющей выноса тепла с речным стоком в Чёрное море.

Основными факторами, обусловливающими температурный режим морского устья рек, являются: теплообмен с атмосферой, рекой, морем и подстилающей поверхностью. Влияние на температуру воды оказала и хозяйственная деятельность [80], так как в результате антропогенного воздействия произошли изменения составляющих теплообмена, приведшие к современному режиму температуры, отличному от ранее наблюдавшегося [81].

Адвективный перенос тепла в этом морском устье играет значительную роль. Он существенно превышает теплопроводность (обусловленную разностью температур), так как вызван подвижностью водной массы, бóльшими, по сравнению с другими водоёмами (озёрами, морями), скоростями течений (разд. 2.3). Динамическими факторами переноса тепла здесь являются сбросы Каховской ГЭС и сгонно-нагонные явления, волнение, проникновение солёной воды в морское устье рек. Важной особенностью является выраженный, иногда разнонаправленный, адвективный перенос тепла (холода). Обычно в поверхностном слое распространяются более пресные и контактирующие с атмосферой воды, а в придонном – в устье реки поступает более солёная и плотная морская вода, чему способствует судоходный канал.

Природные факторы, определяющие режим температуры воды, имеют географическую зональность и могут быть районированы в соответствии с выделенными климатическими районами (рис. 1.29, разд. 1.7). В Днепровском районе наиболее велика роль адвекции тепла (холода) из каскада водохранилищ и влияние северо-

восточного воздушного переноса; Южнобугский район подвержен влиянию переноса северной воздушной массы и стока тепла рек Юж. Буг, Ингул, а в южной части и р.Днепр; Лиманно-морской район отепляется (в период охлаждения) и охлаждается (в период нагрева) воздухом и водой, поступающими с моря.

Изменение температуры воды морского устья рек является результатом изменения теплового баланса. Основные факторы, обусловливающие поступление и трансформацию тепла в водной среде, можно разделить на метеорологические, гидрологические, гидравлические, морфологические и антропогенные.

Метеорологические факторы определяют обмен теплом через поверхность раздела вода – воздух; гидрологические и гидравлические – способствуют адвекции тепла, преобразованию части механической энергии в тепловую (при трении) и перераспределению разных по температуре водных масс; морфологические и антропогенные – влияют на условия перемешивания и перераспределения тепла. Кроме того, на формирование теплового режима оказывает влияние минерализация (солёность) и загрязнённость воды, сбросы тёплых вод.

Многофакторность формирования температурного режима морского устья рек Днепр и Юж. Буг и недостаток натурных наблюдений затрудняют изучение этого вопроса.

Температурный режим в различных частях морского устья, несмотря на схожесть, имеет свои особенности. В водотоках, из-за значительной скорости течения, преобладает транзитный перенос тепла, в лимане влияние составляющих теплового баланса более выражено, чем в водотоках или в открытой части устьевого взморья.

Особенности морфометрии Днепровско-Бугского лимана (ограничение берегами, наличие пролива и глубоководного канала) способствуют формированию фронтальных разделов, так как здесь происходит смешение разнородных по температуре пресных и солёных вод. Только при значительных штормах, нагонах или повышенном стоке рек температурные контрасты здесь сглаживаются.

Именно в процессе адвекции, перемешивания и смешения разные по температуре воды реки и моря образуют при контакте водную среду морского устья рек, с особыми тепловыми свойствами, отличающими её от реки и моря. Здесь отмечается не только

наибольшая пространственная неоднородность температуры воды, но и её наибольшая временная изменчивость. Это связано с непостоянством динамических факторов, быстрой сменой гидрологического состояния.

Для исследования температурного режима морского устья рек Днепр и Юж. Буг обобщены результаты стационарных наблюдений на постах Гидрометеослужбы Украины в прибрежной части морского устья рек Днепр и Юж. Буг (рис. 1.28, табл. 1.4, разд. 1.6). Они выполнялись в стандартные сроки, в 06 и 18 часов международного скоординированного времени (МСВ). Сроки наблюдений на постах Новая Каховка, Александровка и Прибужаны – 08 и 20 часов местного времени или 05 и 17 час. МСВ.

Для анализа режима температуры в глубоководной части морского устья рек систематизированы результаты натурных наблюдений за 1961 – 2009 гг., полученные НЦГМ и МО УкрНИГМИ (в том числе с участием автора) при выполнении сезонных съёмок на стандартной (полной или сокращённой) сети станций. Температура воды измерялась на стандартных горизонтах: поверхность, 3, 5, 10 м и далее через 10 м, а также у дна (обычно в 0,5 м от дна). При обнаружении слоя скачка плотности в нём производились дополнительные измерения температура воды.

Кроме того, в данной работе использованы специальные рейдовые наблюдения МГС Очаков в Кинбурнском проливе, температурные авиасъёмки, специальные измерения температуры воды в различных частях морского устья (в том числе по программе исследований, разработанной автором, и при его участии), которые использовались для определения стока тепла рек и других составляющих баланса тепла.

Короткопериодная изменчивость температуры воды исследовалась путём обобщения материалов многосуточных наблюдений (дискретность измерений – 3 часа) на отдельных станциях, а также учащённых и стандартных наблюдений на водомерных постах.

Таким образом, в основе выполненных обобщений лежат данные наблюдений за температурой воды, приводимые в изданиях Государственного водного кадастра [46] и в других литературных источниках, например, в [80, 82].

4.1. Временная изменчивость температуры воды

Основные причины временных изменений температуры воды в различных частях морского устья рек – это смена сезонов года, времени суток и кратковременная адвекция тепла (холода). Долговременные изменения температурного режима связаны с климатическими факторами и особенностями хозяйственной деятельности.

Влияние хозяйственной деятельности сказалось на временных изменениях температуры воды разного масштаба. Произошли изменения теплообмена в нижнем бьефе Каховского водохранилища, что привело к нарушению однородности рядов температуры воды. Эксплуатация каскада водохранилищ, осуществление внутригодового регулирования стока воды и его изъятия (разд.1.5, 2.1) привели к перераспределению стока тепла р. Днепр внутри года. Сбросы ГЭС способствуют переносу водной массы Каховского водохранилища с температурой, сформированной в этом искусственном водоёме, на устьевой участок р. Днепр, где температурный режим иной, чем в водохранилище и чем тот, что был до его сооружения, что обусловливает бóльшую кратковременную изменчивость температурных характеристик [80].

Средняя годовая температура воды. Средняя годовая температура воды вдоль побережья морского устья почти одинаковая (отличается в пределах точности осреднения). Значения экстремальной температуры также мало отличаются (табл. 4.1) по пространству морского устья. Это свидетельствует о том, что макроклиматические факторы формируют в среднем довольно однородный температурный фон. Средняя годовая температура поверхности воды устья составляет 11,6 °С, что на 2,4 –1,9 °С меньше, чем в Чёрном море и его северо-западной части, соответственно.

Изменчивость во времени средней годовой температуры воды в различных частях морского устья рек характеризует размах, СКО и *Cv* (табл. 4.1). Размах межгодовых изменений составляет 2,7 – 3,1 °С, *СКО* – 0,6 – 0,7 °С, *Cv* – 0,05 – 0,06. При этом коэффициенты вариации средней годовой температуры воды намного меньше аналогичных характеристик изменчивости гидрологических элементов режима (табл. 2.1, разд. 2.1), что объясняется малой изменчивостью от года к году основного источника тепла – солнечной радиации.

Многолетние изменения средней годовой температуры воды преимущественно имеют 4, 6, и 11-летнюю периодичность, что свидетельствует об их гелиофизической природе [80].

В прибрежной мелководной зоне, где производятся стационарные наблюдения за температурой воды, небольшой теплозапас и хорошее перемешивание (способствующие относительно равномерному распределению характеристик по глубине), температура воды повторяет ход температуры воздуха, идентичный в разных частях морского устья рек (разд. 1.7). По данным наблюдений её значения в поверхностном слое воды несущественно отличаются от температуры воздуха (на 1 – 2 °С меньше в летний период, на 2 – 4 °С больше в осенний) и только подо льдом разность между температурой воды и воздуха может быть значительной.

Однако, несмотря на то, что средняя годовая температура воздуха в г. Херсоне выше, чем в городах Николаеве и Очакове, температура воды р. Днепр и устьевых рукавов несколько ниже, что, вероятно связано с поступлением в тёплый период года более холодной воды из Каховского водохранилища.

Степень влияния хозяйственной деятельности на температурные условия обнаруживается при анализе зависимости между средними годовыми значениями температуры воды и воздуха за периоды с разными уровнями хозяйственного освоения (рис. 4.1).

Таблица 4.1

Статистические характеристики средней годовой температуры воды (°С) за период с 1961 г. по 2009 г.

Пункт наблюдений	Характеристика				
	средняя	максимум	минимум	размах	*СКО* / *Cv*
Херсон	11,5	12,9	10,0	2,9	0,61/0,05
Касперовка	11,7	13,1	10,4	2,7	0,62/0,05
Станислав	11,7	13,4	10,3	3,1	0,71/0,06
Геройское	11,5	12,8	10,1	2,7	0,60/0,05
Николаев	11,6	13,1	10,2	2,9	0,64/0,06
Парутино	11,5	12,9	10,2	2,7	0,62/0,05
Очаков	11,6	13,0	10,2	2,8	0,64/0,06

Из рис. 4.1 видно, что после сооружения каскада днепровских водохранилищ (в период с 1961 г. по 2009 г.) при одной и той же средней годовой температуре воздуха (например, при 10,0 °С) температура воды у г. Херсона уменьшилась на 0,22 °С; уменьшился и коэффициент корреляции между температурой воды и температурой воздуха (на 18 %). Эти изменения обусловлены работой каскада ГЭС, так как в морское устье реки, по сравнению с более ранними годами (1921 – 1955 гг.), стали сбрасываться более холодные воды весной и летом и более тёплые – зимой и осенью.

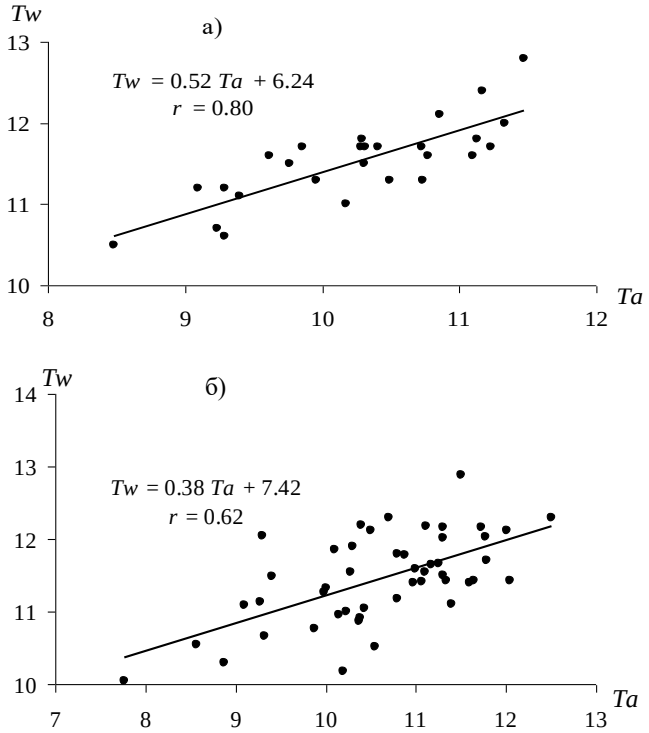


Рис. 4.1. Зависимость средней годовой температуры воды (*Tw*) от температуры воздуха (*Ta*) в г. Херсоне в период естественного (а) и зарегулированного (б) режима стока р. Днепр

В тёплый период года попуски из водохранилища оказывают охлаждающее влияние на устьевой участок реки и прилегающую часть лимана, в холодный – отепляющее. Например, температура воды на устьевом участке р. Днепр после сооружения Каховского водохранилища зимой увеличилась на 90 – 190 %, а в период половодья уменьшилась на 2 – 25 % [80].

С 90-х годов отмечается увеличение средней годовой разности *Tw – Ta* (температурного напора) на 0,02 °С/год (рис. 4.2), что, возможно, обусловлено изменением режима работы каскада днепровских водохранилищ, так как температура воздуха практически осталась неизменной.

Анализ многолетних изменений (за период с 1961 г. по 2009 г.) температуры воды и воздуха (как основного фактора, обусловливающего температурный режим) показал, что для всех постов морского устья (за исключением водпоста Геройское) характерны значимые тенденции увеличения температуры воды (рис. 4.2), хотя средняя годовая температура воздуха не растёт (разд. 1.7). Причём, температура воды особенно увеличилась в последние 2 – 3 года.

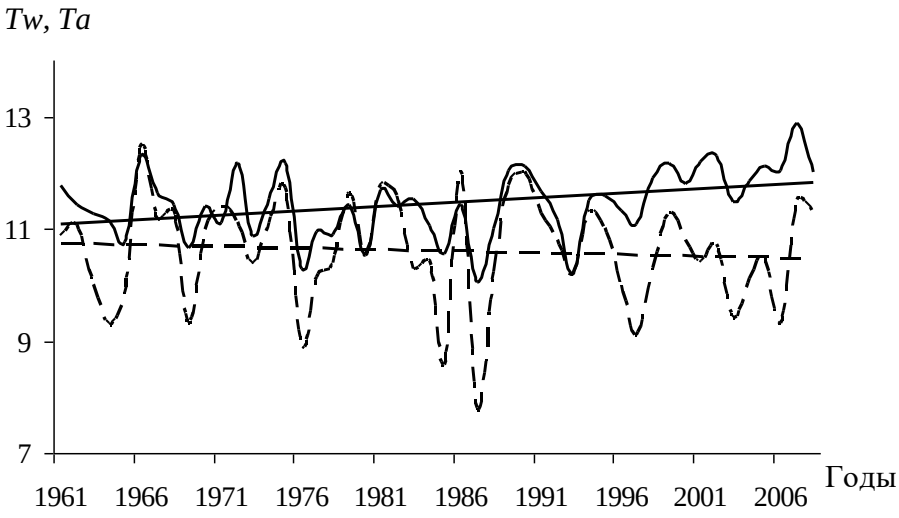


Рис. 4.2. Изменчивость средней годовой температуры воды *Tw* (——) и воздуха *Ta* (------) в г. Херсоне за период с 1961 г. по 2009 г.

Среднее ежегодное увеличение температуры воды на водпостах составляет 0,02 °С, наиболее выражены тенденции в с. Станислав и с. Парутино (до 0,03 °С в год), наименее – в г.Очаков (0,01 °С в год). Чем дальше расположен пункт наблюдений от НГД, тем меньше величина тренда средней годовой температуры воды.

Так как роста температуры воздуха на метеостанциях за рассматриваемый период не происходит (разд. 1.7), а температура воды увеличивается, можно предположить, что это связано с изменением внутригодового распределения стока воды и тепла р. Днепр (разд. 2.1) в последнее двадцатилетие. Из-за уменьшения весеннего стока (на 20 %) сократилось поступление в устье более холодной воды из каскада днепровских водохранилищ (следовательно, уменьшилось охлаждающее влияние сбросов Каховской ГЭС на морское устье в период нагрева), а увеличение стока воды осенью (на 20 – 25 %), напротив, способствовало адвекции более тёплых вод на устьевой участок реки и в лиман в период охлаждения. Прогреву воды в водохранилищах и лимане с 1986 г. способствовала и низкая межень, так как в этот период каждый третий год на устьевом участке р. Днепр был маловодным. Эти выводы подтверждают расчёты, выполненные по методике, изложенной в разд. 9.6.

Зависимости средней годовой температуры воды от температуры воздуха в разных частях морского устья рек Днепр и Юж. Буг отличаются. В дельте р. Днепр зависимость $T_w = f(T_a)$ имеет небольшой коэффициент корреляции (0,62), вероятно, из-за адвективного переноса воздушной массы (быстрой смены континентальной воздушной массы морской) и адвекции воды при сбросах Каховской ГЭС. В районе г. Николаева коэффициент корреляции аналогичной зависимости составляет 0,76, г. Очакова – 0,89.

Годовой ход температуры воды. В табл. 4.2 представлены данные о среднемесячных значениях температуры воды на постах, расположенных в разных частях морского устья рек. Очевидно, что годовой ход температуры воды в отдельных структурных компонентах устья идентичен, так как причина сезонных изменений общая: в весенне-летний период это солнечная радиация, а в осенне-зимний – длинноволновое и контактное выхолаживание. Различия в годовом ходе температуры воды обусловлены влиянием речных и морских вод, потому что колебания температуры воды при сгонах и нагонах,

Таблица 4.2

Средняя месячная и экстремальная температура воды за период с 1961 г. по 2009 г.

Характеристика температуры воды	Месяц												Наиб.	Наим.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
р. Юж. Буг – пгт Александровка														
Средняя	0,5	0,5	2,7	10,3	17,1	21,5	23,4	22,6	18,6	12,5	5,9	1,6	28,4	-0,1
Наибольшая	2,5	2,8	7,1	13,1	19,9	24,1	25,4	24,4	21,6	15,9	9,0	4,1		
Наименьшая	-0,1	0,0	0,1	4,6	14,2	19,8	21,9	21,1	16,6	9,3	2,6	0,0		
р. Юж. Буг – г. Николаев														
Средняя	0,6	0,6	3,0	10,4	17,4	21,7	23,6	23,0	18,6	12,7	6,1	1,9	30,8	-0,5
Наибольшая	3,0	2,8	7,1	13,1	19,9	24,4	26,1	25,3	21,6	15,9	9,0	4,6		
Наименьшая	-0,1	0,0	0,1	4,6	14,8	19,8	19,9	21,1	16,0	9,3	2,6	0,0		
лим. Бугский – с. Парутино														
Средняя	0,7	0,7	3,2	10,2	16,9	21,3	23,2	22,5	18,3	12,5	6,2	2,0	30,4	-0,5
Наибольшая	3,4	2,7	7,2	13,2	19,6	23,9	25,9	25,0	21,4	15,7	9,3	5,2		
Наименьшая	0,0	0,0	0,2	5,0	14,4	19,3	21,5	19,9	15,9	9,0	2,3	-0,2		
р. Днепр – г. Херсон														
Средняя	0,9	0,6	2,1	7,0	13,9	19,7	23,0	23,4	19,9	14,7	8,6	3,5	28,0	0,0
Наибольшая	3,7	2,0	4,6	9,5	16,2	22,8	26,3	25,8	22,0	17,0	11,4	5,8		
Наименьшая	0,0	0,0	0,5	3,9	11,0	17,4	21,0	21,0	15,8	11,8	4,5	0,0		

Продолжение табл. 4.2

р. Днепр – с. Касперовка														
Средняя	0,9	0,6	2,8	8,6	15,3	20,6	23,5	23,5	19,7	14,2	7,8	3,0	29,2	0,0
Наибольшая	3,6	2,5	5,7	11,2	17,4	23,7	26,2	25,9	21,8	16,6	10,7	5,3		
Наименьшая	0,0	0,0	0,2	5,3	13,0	18,5	21,8	21,2	17,9	10,8	3,1	0,3		
лим. Днепровский – с. Геройское														
Средняя	0,7	0,7	3,3	10,7	17,5	21,8	23,6	22,7	17,8	11,7	5,5	1,8	30,8	-0,4
Наибольшая	2,8	3,3	7,9	14,4	20,8	24,3	27,1	25,8	21,8	17,1	11,6	8,3		
Наименьшая	-0,1	0,0	0,0	6,2	14,2	19,0	18,0	20,1	14,2	8,7	1,6	0,0		
лим. Днепровский – с. Станислав														
Средняя	0,8	0,8	3,6	10,5	17,1	21,8	23,8	22,9	18,4	12,2	6,1	2,2	31,6	-0,5
Наибольшая	3,7	3,5	7,2	13,3	20,1	25,1	27,3	25,3	21,3	15,1	9,4	4,7		
Наименьшая	0,0	-0,1	0,1	6,2	14,7	19,7	21,9	20,5	16,2	7,9	1,9	0,1		
лим. Днепровский – г. Очаков														
Средняя	0,7	0,6	3,1	10,0	17,0	21,4	23,2	22,7	18,7	13,0	6,7	2,2	31,0	-0,9
Наибольшая	3,6	2,8	6,7	13,0	19,6	24,1	26,7	25,2	21,9	16,1	9,7	5,5		
Наименьшая	-0,1	-0,1	0,0	4,4	14,2	18,4	21,3	20,0	16,8	9,2	2,6	-0,1		
лим. Бугский														
Средняя	0,7	0,7	3,1	10,3	17,2	21,5	23,4	22,8	18,5	12,6	6,2	2,0	30,8	-0,5
лим. Днепровский														
Средняя	0,8	0,7	3,2	10,0	16,7	21,4	23,5	23,0	18,7	12,8	6,5	2,3	31,6	-0,9

также как и при других короткопериодных изменениях этой характеристики теплового режима, отражаются на годовом ходе температуры воды. Кроме того, температура воды зависит от глубины и проточности в месте её измерения.

Эксплуатация каскада водохранилищ изменила не только тенденции средних годовых значений температуры воды, но и отразилась на её внутригодовых изменениях, что иллюстрирует рис. 4.3. Очевидно, что чем ближе к Каховскому водохранилищу расположен пункт наблюдений (г. Херсон) за температурой воды, тем меньше её значения в период нагрева и больше – в период охлаждения. При этом, температура воздуха в г.Херсоне в среднем всегда выше, чем в г. Николаеве и г. Очакове (рис. 1.31, разд. 1.7), а охлаждению (весной) и отеплению (осенью) воды р. Днепр в дельте, очевидно, способствует адвекция соответственно холода и тепла при попусках Каховской ГЭС. Наибольшая средняя месячная температура воды отмечается в июле, кроме устьевого участка и дельты р. Днепр, а также глубоководной части лимана, где наиболее тёплая вода бывает в августе, наименьшая – в январе – феврале. У с. Касперовка, расположенного в зоне влияния водохранилища и лимана (вблизи НГД), средняя месячная температура воды в июле и августе – одинаковая, т.е. между периодами нагрева и охлаждения отмечается стабилизации температуры воды.

Осреднённая по месяцам температура воды может значительно отличаться от её распределения во времени в конкретные годы (рис. 4.3). Например, повышенная температура воды в 2007 г. была обусловлена тёплой зимой 2006 – 2007 гг. и жарким летом. Причём, период стабилизации температуры воды на уровне 23 – 26 °С продолжался с 22 мая по 30 августа (более 3-х месяцев). Колебания температуры воды, составляющие в среднем 3°С, в районе г. Николаева происходили каждые 18 суток, т.е. в среднем каждые 9 дней увеличение температуры воды сменялось её уменьшением и наоборот.

Межгодовую изменчивость сезонного хода температуры воды характеризует *СКО* (табл. 4.3). В основном эта характеристика согласуется с сезонной изменчивостью *СКО* температуры воздуха (но меньше по величине), а также с *СКО* скорости ветра. Из-за неустойчивых погодных условий в холодный период года (в январе – феврале) отмечается максимальная межгодовая изменчивость температу-

ры воды (табл. 4.3). С мая по сентябрь изменения средней месячной температуры воды близки к среднему многолетнему годовому ходу, так как в этот период погодные условия обычно устойчивы (разд. 1.7). После смены летнего типа атмосферной циркуляции зимним (в ноябре – декабре) изменчивость температуры воды увеличивается.

Таблица 4.3

Коэффициент вариации (C_v) средней месячной температуры воды

Месяц	Водный объект – пункт							
	р. Юж. Буг – пгт Александровка	р. Юж. Буг – г. Николаев	лим. Бугский – с. Парутино	р. Днепр – г. Херсон	р. Днепр – с. Касперовка	лим. Днепровский – с. Геройское	лим. Днепровский – с. Станислав	лим. Днепровский – г. Очаков
I	1,23	1,30	1,17	1,04	1,04	1,10	1,06	1,36
II	1,35	1,25	1,10	1,03	1,13	1,23	1,11	1,35
III	0,69	0,67	0,59	0,51	0,48	0,58	0,48	0,54
IV	0,19	0,18	0,17	0,18	0,16	0,17	0,15	0,18
V	0,07	0,07	0,07	0,09	0,07	0,08	0,07	0,08
VI	0,05	0,05	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
VII	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05
VIII	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
IX	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,08	0,05	0,06
X	0,12	0,11	0,12	0,08	0,09	0,15	0,13	0,11
XI	0,27	0,25	0,25	0,15	0,20	0,36	0,27	0,24
XII	0,73	0,69	0,71	0,42	0,51	0,84	0,64	0,66

Наибольший размах средней месячной температуры воды составляет 5 – 8 °С зимой, 6 – 9 °С весной и осенью, и 3 – 6 °С летом. Максимальной контрастностью средних месячных значений температуры отличается мелководная прибрежная часть Кинбурнской косы (водпост в с. Геройское).

В разных частях акватории морского устья рек зависимость средней месячной температуры воды (T_w) от температуры воздуха (T_a) имеет свои особенности. Вид осреднённых (по месяцам) зави-

симостей $T_w = f(T_a)$ для некоторых пунктов наблюдений показан на рис. 4.4.

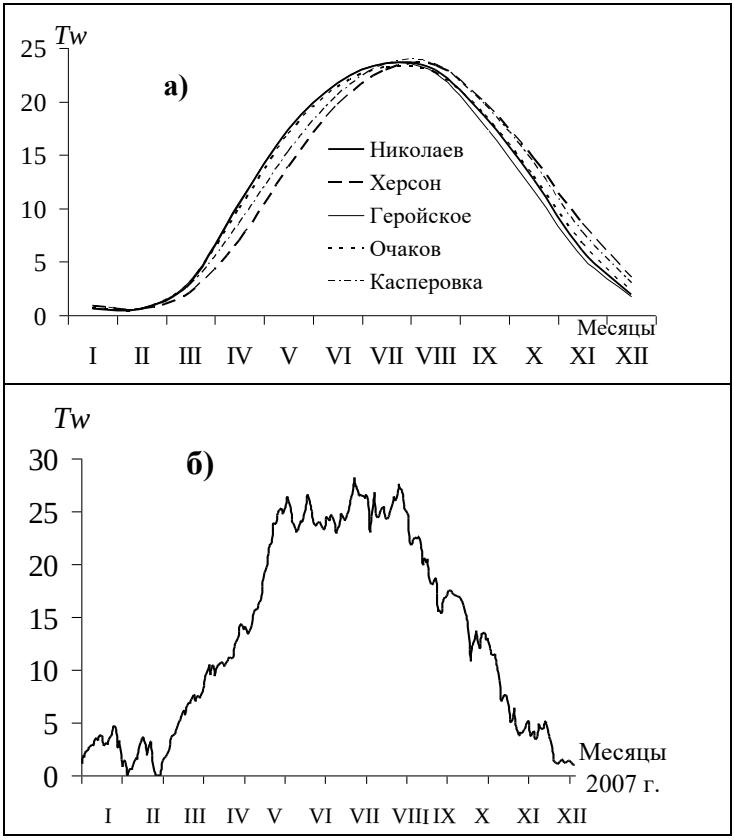


Рис. 4.3. Сезонные изменения температуры поверхностного слоя воды морского устья рек Днепр и Юж. Буг за период с 1961 г. по 2009 г. (а) и в г. Николаеве в 2007 г. (б)

На устьевом участке и в водотоках р. Днепр в зависимости $T_w = f(T_a)$ выражена фаза нагрева (нижняя ветвь кривой) и охлаждения (верхняя ветвь кривой), график имеет петлеобразный характер; в других районах устья ветви нагрева и охлаждения сближены, а в с. Геройское – зависимость однозначная. Наибольшее расхождение

между ветвями нагрева и охлаждения отмечается у г. Херсона, что обусловлено адвекцией пресных и солёных вод.

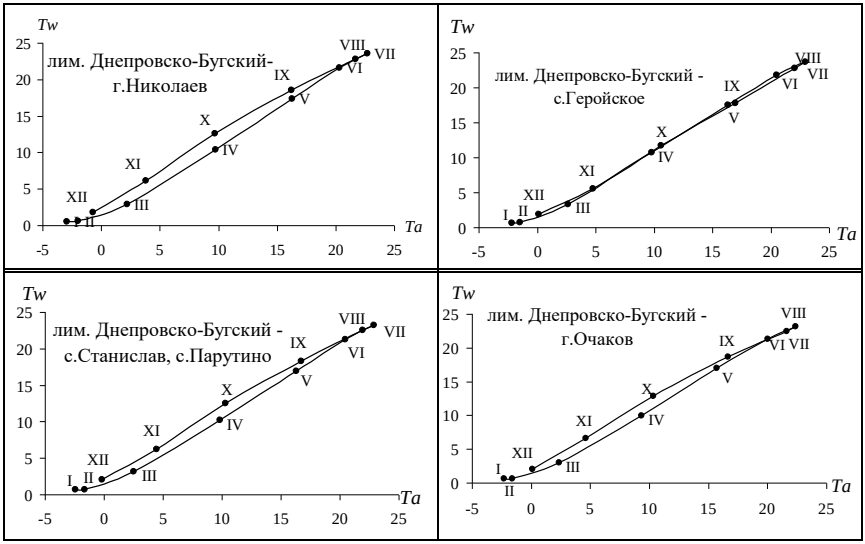


Рис. 4.4. Зависимости средней месячной температуры воды (T_w) от температуры воздуха (T_a) в морском устье рек Днепр и Юж. Буг

Кратковременная изменчивость температуры воды. Существенный вклад в изменчивость температуры воды вносят синоптические процессы, особенно при наличии значительных вертикальных градиентов температуры, отмечающихся при адвекции воды с контрастными характеристиками. В Днепровско-Бугском лимане в отдельные дни наблюдаются резкие колебания температуры воды: в поверхностном слое они достигают 6 °С , в придонном – 8 – 10 °С.

Чем лучше условия перемешивания водной массы и меньше теплозапас на участке, где производятся измерения температуры, тем зависимость температуры воды от температуры воздуха ближе к прямой. Например, в мелководном прибрежном районе Кинбурнской косы, у с. Геройское, нагревание и охлаждение воды происходит быстро, адвекция речных и морских вод сюда обычно не распространяется, поэтому зависимость $T_w = f(T_a)$ прямолинейная и имеет наибольший коэффициент корреляции (рис. 4.4).

Даже незначительное смещение пикноклина (термоклина) вдоль судоходного канала (например, при нагоне) приводит к изменениям температуры воды на глубине 3 – 6 м на 15 – 18 °С, что значительно превышает размах её суточного хода. Из-за адвекции и других причин изменение температуры воды на разных горизонтах иногда не совпадает и даже имеет обратный характер. Пример ситуации, когда (несмотря на понижение температуры воздуха) температура воды в придонном слое увеличилась на 6,5 °С за 3 часа в результате ветрового перемешивания и увеличения скорости прямого потока (до 0,9 м/с), показан на рис. 4.5.

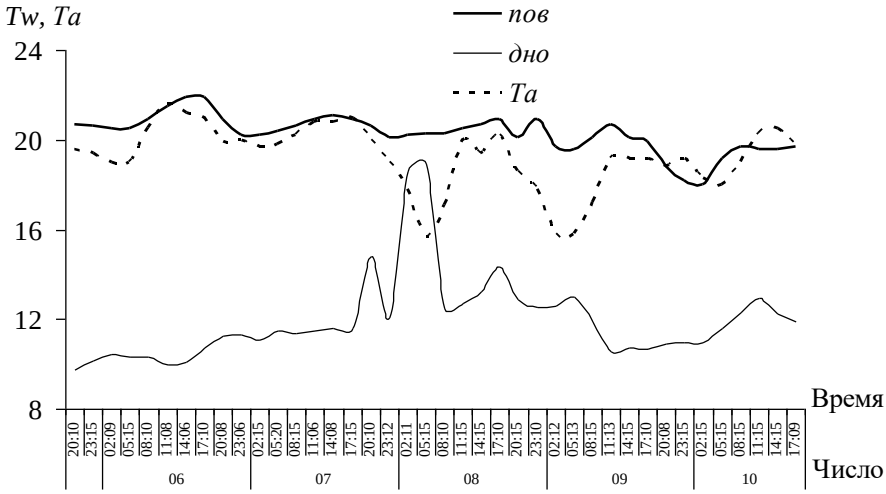


Рис. 4.5. Краткосрочные колебания температуры воды 05 – 10 июня 1982 г. в поверхностном и придонном (14 м) слоях взморья рек Днепр и Юж. Буг

В годовом ходе среднесуточной температуры воды отмечается периодичность, которая совпадает с естественным синоптическим периодом, обусловленным сменой циклонической деятельности атмосферы, происходящей в среднем каждые 7 – 9 дней. Наибольший размах таких изменений в морском устье рек Днепр и Юж. Буг был зафиксирован в марте – апреле, наименьший – в октябре и январе. В 35 – 60 % летних месяцев наблюдается по 3 – 4 волны повышения и понижения температуры воды со средним размахом 4 – 5 °С. В 10 % ве-

сенних месяцев размах синоптических флуктуаций температуры воды достигает 10 °С, а зимой в 15 – 20 % – 2 – 3 °С.

Синоптические колебания температуры воды связаны с характером ветровой деятельности. При нагонах морской воды в устье в период нагрева температура воды уменьшается, в период охлаждения – увеличивается.

На устьевых участках рек и в рукавах р. Днепр синоптическая изменчивость температуры воды не выражена, зато на участке г. Новая Каховка – с. Касперовка чётко прослеживается влияние попусков из Каховского водохранилища, имеющих недельную изменчивость. Кратковременные изменения величины попусков сказываются не только на температурном режиме устьевых водотоков р. Днепр, но вызывают резкие изменения температуры воды в лимане. Например, уменьшение расхода воды рук. Рвач в июне 1987 г. в 7 раз (с 4750 до 670 $м^3/с$), в течение 2 часов, вызвало приток холодных вод взморья в лиман, что нарушило суточный ход температуры воды на постах Очаков, Станислав, Касперовка и даже Херсон и привело к несогласованности хода температуры воды и воздуха.

Особенности суточного хода температуры воды обусловлены сезоном года, морфометрией района исследований и адвекцией речной и морской воды. Обычно средний размах суточного хода температуры воды весной и летом (при отсутствии сгонов и нагонов) составляет 1 – 2°С, а осенью и зимой – менее 1 °С. На устьевых участках рек средний размах суточного хода изменяется в течение года от 0,1 до 0,6 °С, а на устьевом взморье – от 0,4 до 5 °С. Взморье, обладая меньшей тепловой инерционностью, по сравнению с морем, подвержено тепловому влиянию речных и морских вод, имеющих разную температуру, поэтому именно здесь в отдельные дни, при активном смешении пресных и солёных вод или смещении гидрофронта, в течение суток температура воды может существенно изменяться (рис. 4.5). Тогда суточный размах температуры воды увеличивается до 3 – 6 °С в поверхностном и до 8 – 10 °С и более в придонном слоях (обычно летом). В зависимости от времени года, погодных условий, глубины и проточности на участке измерений, максимум температуры в поверхностном слое отмечается в 13 – 18, минимум – в 5 – 9 часов.

Суточные максимумы температуры воды запаздывают на 1 – 2 часа по сравнению с температурой воздуха. Иногда в суточном ходе

температуры воды наблюдается несколько экстремумов за сутки, что также связано с динамикой вод (рис. 4.5).

Суточный ход температуры на разных горизонтах иногда разнонаправлен, как например, показанный на рис. 4.5, или не выражен, если комплексное влияние на температуру воды затушёвывает воздействие основного фактора – солнечной радиации.

Обычно годовой суточный максимум температуры воды на мелководных участках устьевого взморья и в озёрах, расположенных в дельте, наблюдается в июле, а в глубоководной части Днепровско-Бугского лимана и в устьевых рукавах р. Днепр – чаще в августе, чем в июле. Наиболее тёплая вода бывает в озёрах, здесь её температура изменяется от 0 до 38 °С. В рукавах р. Днепр и на устьевых участках всех рассматриваемых рек диапазон изменения срочных значений температуры воды составляет 0 – 29 °С, в Днепровско-Бугском лимане – от -0,9 до 32 °С, а в открытой части взморья – от -1 до 31 °С.

Характерные даты. Даты перехода температуры воды через определённые значения необходимы для расчётов различных экологических характеристик и прогнозов ледовых явлений, планирования рекреационного использования водных объектов, рыболовства и других отраслей хозяйствования. Даты перехода температуры воды через 0,2 °С на некоторых постах морского устья рек Днепр и Юж. Буг представлены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Дата перехода температуры воды через 0,2 °С в разные сезоны

Водный объект – водпост	Дата перехода температуры воды через 0,2 °С	
	весной	осенью
р. Днепр – г. Херсон	25.02	нб
рук. Рвач – с. Касперовка	28.02	нб
р. Южный Буг – г. Николаев	02.03	нб
лим. Днепро-Бугский – с. Парутино	28.02	нб
лим. Днепро-Бугский – с. Геройское	01.03	нб
лим. Днепро-Бугский – с. Станислав	01.03	нб
лим. Днепро-Бугский – г. Очаков	нб	нб

Примечание: нб – явление не наблюдалось более, чем в 50 % лет, т.е. устойчивый переход температуры воды через 0,2 °С (когда 20 и более дней подряд наблюдается температура воды, равная или ниже 0,2 °С) не отмечался.

После сооружения каскада днепровских водохранилищ осенью устойчивого перехода температуры воды через 0,2 °С к более низким значениям чаще всего не наблюдается из-за отепляющего влияния сбросов из Каховского водохранилища в период охлаждения.

Повсеместно, в среднем в конце февраля – начале марта, с интервалом 1 – 5 суток, вода нагревается до 0,2 °С и более. Раньше всего этот переход к фазе нагрева происходит на более проточных участках морского устья, в западном районе Днепровского лимана и в устьевых рукавах р. Днепр, позже всего – в северной части Бугского лимана, в районе г. Николаева.

С использованием типового осреднённого годового хода температуры поверхностного слоя воды (рис. 4.3), получены средние многолетние даты её перехода через 1 °С в приморском подрайоне Южнобугского района (рис. 1.29) у г. Николаева (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Средние даты изменения температуры воды в г. Николаеве на 1 °С

T_w° С	1>	2>	3>	4>	5>	6>	7>	8>	9>	10>	11>	12>
Дата	05.03	10.03	16.03	21.03	25.03	29.03	02.04	07.04	11.04	15.04	19.04	24.04
T_w° С	13>	14>	15>	16>	17>	18>	19>	20>	21>	22>	23>	24>
Дата	28.04	02.05	06.05	11.05	15.05	22.05	29.05	05.06	12.06	24.06	09.06	25.07
T_w° С	<24	<23	<22	<21	<20	<19	<18	<17	<16	<15	<14	<13
Дата	02.08	11.08	20.08	28.08	05.09	13.09	19.09	24.09	22.09	04.10	09.10	14.10
T_w° С	<12	<11	<10	<9	<8	<7	<6	<5	<4	<3	<2	<1
Дата	18.10	23.10	28.10	01.11	06.11	11.11	16.11	23.11	30.11	07.12	13.12	01.01

Аналогичные расчёты могут быть использованы для климатического прогноза дат достижения температурой воды интересующих потребителя значений, длительности периода превышения определённых её значений с 50 % обеспеченностью и других целей. Например, используя данные табл. 4.5, можно считать, что комфортная температура воды для купания отмечается в Бугском лимане в среднем с 05.06 по 05.09, т.е. продолжительность купального сезона ограничена 3 месяцами. В этот период с обеспеченностью 50 % температура воды будет не ниже 20 °С.

4.2. Пространственная изменчивость температуры воды

Распределение температуры воды морского устья рек Днепр и Юж. Буг зависит от условий перемешивания, сезона года, степени влияния стока тепла рек и теплообмена с морем, морфометрических характеристик (глубины в месте измерения температуры воды, проточности), а также влияния антропогенных факторов. В поверхностном и придонном слоях устьевого взморья температура воды распределяется по-разному, что обусловлено морфометрией лимана (наличием судоходного канала), устьевой циркуляцией вод и сменой стадий температурного режима. Поэтому, традиционно, обобщение материалов наблюдений выполнено отдельно для каждого горизонта измерений.

Различным структурным компонентам морского устья присущи свои особенности пространственной изменчивости температуры воды. В водотоках р. Днепр температура воды в различных створах имеет близкие значения. Скорость течения на устьевом участке и в устьевых рукавах р. Днепр существенная, условия перемешивания хорошие, поэтому температура воды довольно однородно распределена в продольном и поперечном сечении водотоков.

Изменчивость температуры воды на устьевом участке р. Юж. Буг более существенна, чем в р. Днепр. Температура воды на участке г. Новая Одесса – г. Николаев летом и весной уменьшается в среднем на 2 – 3 %, осенью практически не изменяется, а зимой увеличивается на 10 – 15 %, что вызвано различием глубины, проточности и влиянием лимана в створе водпоста Николаев, где реки Юж. Буг и Ингул впадают в Бугский лиман. Определённую роль в распределении температуры вдоль устьевого участка этой реки играет широтная зональность, увеличение минерализации воды по направлению к устью, сбросы г. Николаева.

Вдоль устьевых участков рек по длине водотоков температура воды из-за разницы глубин и скоростей течения отличается в среднем на 0,1 – 1 ºС. На перекатах интенсивное турбулентное перемешивание речных вод способствует выравниванию температуры по глубине, поэтому изменения температуры воды не превышают десятых долей градуса. В реках Ингул и Ингулец температура воды по глубине практически не изменяется. В р. Днепр летом поверхность

воды нагревается быстрее, чем у дна, поэтому придонная температура воды меньше поверхностной на 0,5 – 2 ˚С. Зимой температура на поверхности воды ниже, чем у дна, причём градиент температуры может достигать 2 – 4 ºС, что связано с отепляющим влиянием грунтовых вод и дна реки, а у НГД – поступлением лиманных вод в устьевые водотоки р. Днепр. Температура воды существенно зависит от глубины в месте её измерения: например, в с. Касперовка (глубина в месте измерения 1,1 м) средняя годовая температура воды на 0,2 ºС больше (табл. 4.1), чем у г. Херсона (глубина в месте измерения 5,9 м).

Неоднородность в распределении температуры воды в поперечном сечении водотоков на устьевых участках рек обычно незначительная, однако в местах поступления грунтовых вод, сбросов тёплых стоков, а также при различиях в скорости течения и глубине температура прибрежных и глубоководных участков на одном и том же горизонте может отличаться. Подземное питание реки охлаждает её воду в летний период, а зимой – наоборот отепляет, что приводит к уменьшению толщины ледяного покрова, а иногда – к образованию полыней. Летом у берегов из-за меньшей глубины и скорости течения вода прогревается больше, чем на стрежне; осенью, наоборот, быстрее охлаждается и становится более холодной, чем на глубине.

После сооружения водохранилищ на р. Днепр пространственное распределение температуры воды, особенно в водотоках, зависит от попусков Каховской ГЭС. Роль адвекции тепла (холода) с речными водами очевидна из рис. 4.6. Здесь показана связь между коэффициентом зарегулированности стока р. Днепр (Q_2/Q_1) и соотношением температур, осреднённых по месяцам за соответствующие периоды (T_2/T_1) для водпостов в г. Херсоне и с. Касперовка. Причём, Q_2 – средний месячный сток р. Днепр за период с 1961 г. по 2009 г., а Q_1 – в естественных условиях. Видно, что достоверность аппроксимации зависимостей в г. Херсоне выше, чем в с. Касперовка, что свидетельствует об уменьшении влияния попусков из водохранилища на режим температуры по мере удаления от него.

В те месяцы (август, сентябрь), когда регулирование стока несущественное, т.е. коэффициент его зарегулированности, Q_2/Q_1, близок к 1,00 (рис. 4.6), отношение средней месячной температуры воды

за последний климатический период к аналогичной характеристике, осреднённой за период с естественным режимом стока р. Днепр, также близко к 1,00, т.е. температура практически не изменилась. Очевидно, что весной и летом средняя месячная температура воды в г. Херсоне уменьшилась, а зимой увеличилась в бóльшей степени, чем в с. Касперовка, и причиной этих изменений является не глобальное изменение климата (разд. 1.7), а хозяйственная деятельность.

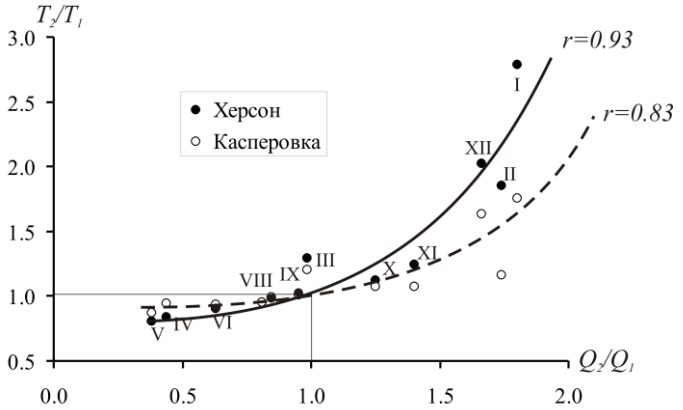


Рис. 4.6. Зависимость средних месячных относительных изменений температуры воды в г. Херсоне и с. Касперовка (T_2/T_1) от коэффициента зарегулированности стока р. Днепр (Q_2/Q_1). Цифры у точек – месяцы.

Наибольшей пространственной неоднородностью температурных условий отличается устьевое взморье рек, где происходит смешение разнородных по тепловым характеристикам речных, лиманных и морских вод. Сезонные схемы распределения температуры воды в закрытой части устьевого взморья (Днепровско-Бугском лимане) представлены на рис. 4.7.

В Днепровско-Бугском лимане наиболее однородное распределение температуры поверхностного слоя воды характерно для лета и зимы, когда температура воды в среднем изменяется по акватории взморья в пределах 1 ºС. Если в Днепровско-Бугском лимане зимой обычно отмечаются ледовые явления (изолирующие водную по-

верхность от влияния атмосферы) и устанавливается близкая к гомотермии температурная стратификация, то в открытой части устьевого взморья в этот период распределение изотерм бывает более контрастно, так как ледовые явления здесь наблюдаются довольно редко и распреснённая, более холодная вода распространяется на большие расстояния, особенно при значительных попусках из водохранилища. При переохлаждении поверхностного слоя воды в открытой части устьевого взморья до -0,9 – -1,2 ºС, сюда может поступать распреснённая вода с температурой, близкой к 0,0 – 0,1 ºС. Поэтому иногда в районе Кинбурнского пролива наблюдается сложная температурная стратификация, при которой на поверхности располагается слой воды с температурой, близкой к нулю, глубже слой воды с отрицательной температурой, а под ним температура водной массы может быть больше нуля и достигать у дна 4 – 6 ºС. Изотерма 0 ºС зимой иногда разграничивает прибрежную водную массу, охлаждённую до отрицательной температуры, от глубоководных, ещё сохраняющих положительные значения температур, акваторий. При поступлении (нагоне) более солёных и переохлаждённых (ниже 0 ºС) вод взморья в лиман, картина может быть иной – водная масса вдоль судоходного канала имеет температуру не только ниже нуля, но и ниже, чем в прибрежных частях лимана.

Влияние речного стока (стока тепла) особенно заметно в период весеннего нагревания, во время значительных сбросов из водохранилищ, паводков и половодья. Весной его влияние распространяется на устьевое взморье, что проявляется в распределении изотерм (рис. 4.7) – более холодные воды рек охлаждают устьевое взморье, прибрежная часть которого уже прогрелась.

При сгонно-нагонных явлениях типовые схемы распределения видоизменяются, а горизонтальные градиенты при этом достигают в Днепровско-Бугском лимане 2 – 5 ºС/км.

Контрастность в распределении температуры воды придонного слоя, которая усиливается антропогенным фактором (наличием глубоководного судоходного канала в Днепровско-Бугском лимане), иллюстрирует рис. 4.7. Средняя многолетняя сезонная температура воды в прорези канала значительно изменяется весной и летом, в этот период её размах в придонном слое в среднем составляет 5 – 6 ºС.

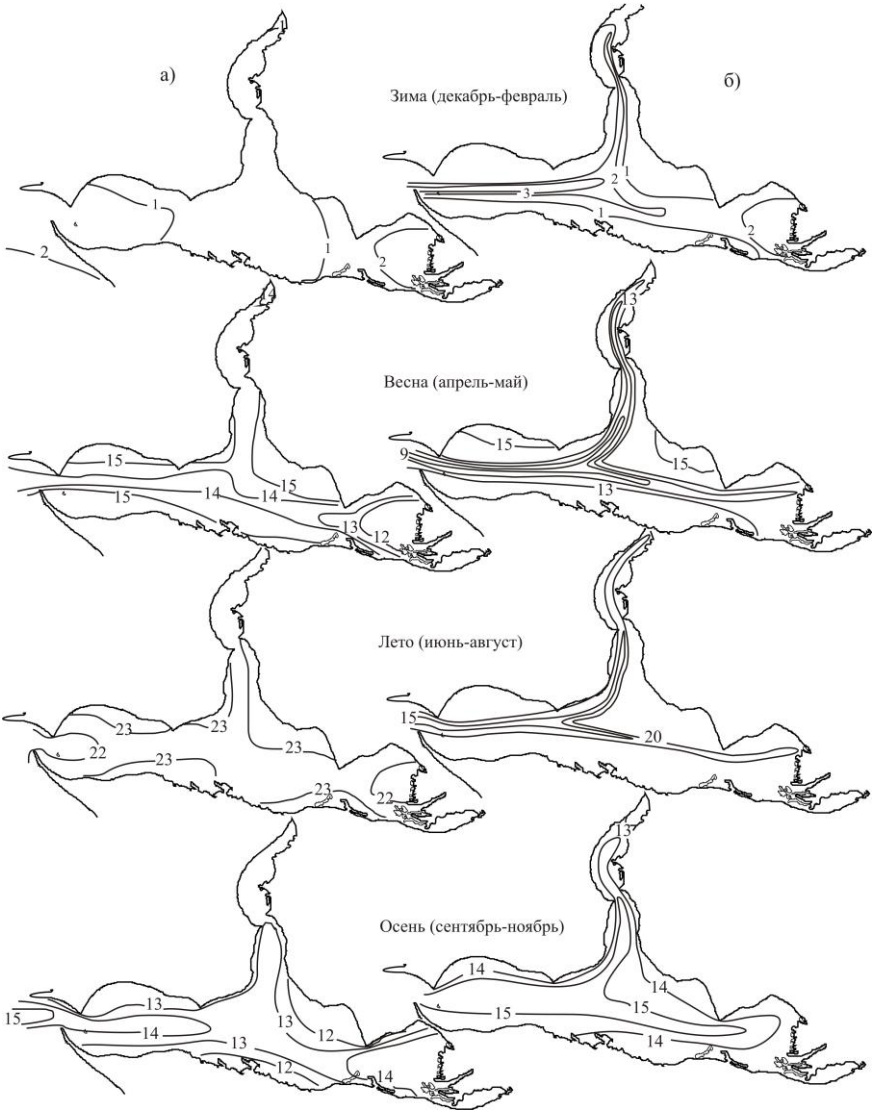


Рис. 4.7. Сезонное распределение температуры воды поверхностного (*а*) и придонного (*б*) слоёв Днепровско-Бугского лимана

Восточная часть Днепровского лимана подвержена воздействию стока тепла р. Днепр, западная – теплопритока из прилагающей части открытого устьевого взморья. На северную часть Бугского лимана в половодье на р. Юж. Буг и р. Ингул распространяется влияние стока тепла этих рек, на южную – воздействует теплообмен с Днепровским лиманом. Тепловое влияние моря наиболее чётко проявляется вдоль судоходного канала. Воздействие стока тепла р. Днепр зависит от величины попусков ГЭС. В Бугском лимане и на устьевом участке р. Юж. Буг соотношение температуры воды между пунктами наблюдений изменяется в зависимости от сезона. Зимой вода у с. Парутино теплее, однако, в конце апреля водная масса в районе г. Николаева прогревается сильней, чем в у с. Парутино, а на устьевом участке р. Юж. Буг она ещё более прогрета. Сказывается континентальность расположения этих участков. В период выхолаживания вода на устьевом участке реки, текущей с севера, остывает быстрее, чем в районе с. Парутино и г. Николаева, и уже в первой декаде сентября становится холоднее, чем в лимане, а в середине октября и в г. Николаеве температура воды опускается ниже, чем в с. Парутино.

Для анализа распределения средней годовой температуры воды на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг по данным наблюдений [46, 73, 74] построена схема распределения этой характеристики (рис. 4.8) в поверхностном слое воды, из которой видно, что все реки в основном охлаждают воды взморья.

В морском устье рек Днепр и Юж. Буг средняя годовая температура поверхностного слоя воды мало изменчива в пространстве, она составляет около 12 °С. В придонном горизонте средняя годовая температура воды вдоль судоходного канала изменяется в пределах 7 – 10 °С, а на мелководье составляет в среднем 11 °С.

Изменчивость температуры воды по вертикали зависит от сезона года, глубины и динамических факторов. На устьевых участках рек, в результате хорошего перемешивания, разница между температурой поверхностного и придонного слоёв воды обычно не превышает 0,3 °С. Только при проникновении солёной воды в устьевые водотоки р. Днепр и на устьевой участок р. Юж. Буг вертикальная неоднородность может существенно увеличиваться.



Рис. 4.8. Распределение средней годовой температуры поверхностного слоя воды, полученной по материалам натурных наблюдений в 1961 г. – 2009 г.

Стратификация вод устьевого взморья рек Днепр и Юж. Буг обусловливает вертикальную неоднородность температуры воды. Особенно это характерно для условий штиля и маловетрия, когда динамическое перемешивание водной массы меньше. Неоднородности температуры воды по глубине способствует наличие глубоководного канала, по которому перемещается более холодная (в период нагрева) или более тёплая (при охлаждении) солёная и более плотная, чем на поверхности, вода. Средний вертикальный градиент температуры воды на мелководье Днепровско-Бугского лимана составляет 0,25 ºС /м, в районе судоходного канала – 0,33 – 0,50 ºС /м и 1,0 ºС /м в Кинбурнском проливе в прорези канала. Разграничивает разнородные водные массы слой скачка, толщиной 1 – 3 м, расположенный обычно на глубине 3 – 5 м. В этом промежуточном слое, в районе судоходного канала, вертикальный градиент температуры достигает 5 – 8 °С/м, а иногда 15 °С/м.

Средние месячные эпюры температуры воды на устьевом взморье, в Бугском лимане, представлены на рис. 4.9. Аналогичное вертикальное распределение температуры воды, при осреднении по месяцам, характерно и для других районов устьевого взморья.

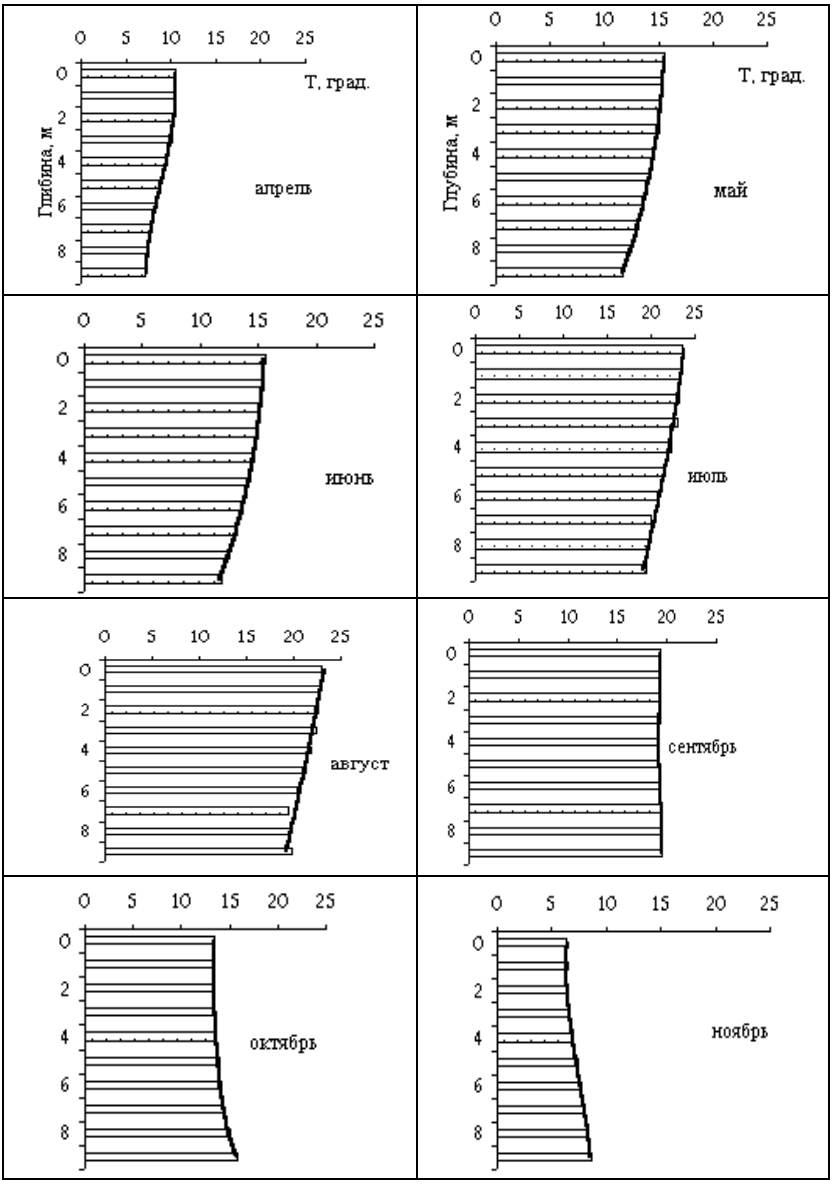


Рис. 4.9. Осреднённые за 1961 – 2009 гг. эпюры средней месячной температуры воды в глубоководной части Бугского лимана в районе г. Николаева

В зимние месяцы температура воды у дна больше, чем на поверхности, однако в апреле, из-за интенсивного прогрева поверхностного слоя, формируется прямая температурная стратификация. Более высокая температура поверхностных вод, чем придонных (на 2 – 4 °С), наблюдается до сентября, когда в результате выхолаживания и конвекции устанавливается гомотермия.

В июле в глубоководной части лимана разность температуры воды между поверхностным и придонным слоями достигает 2 – 3 °С (в восточной части Днепровского лимана), 4 – 8 °С (в Бугском лимане) и 11 – 18 °С (в Кинбурнском проливе). В мелководной части лимана градиент температуры «поверхность – дно» обычно составляет 1 – 2 °С.

В октябре формируется зимний тип вертикального распределения температуры (с разницей 1 – 2 °С между поверхностным и придонным слоями), устанавливается обратная температурная стратификация.

Такое вертикальное распределение температуры воды имеет устойчивый характер из-за значительной осолонённости придонных вод (солёность которых на 4 – 5 ‰ больше, чем поверхностных), что и препятствует развитию конвективных процессов.

В отдельные периоды эпюры температуры воды существенно отличаются от средних месячных. Пример неоднородного распределения температуры воды на разных станциях устьевого взморья показан на рис. 4.10.

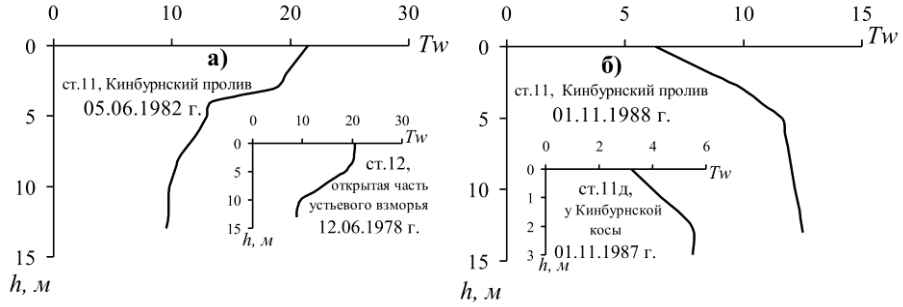


Рис. 4.10. Эпюры температуры воды на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг в период нагрева (*а*) и охлаждения (*б*) при штиле и слабоветрии.

4.3. Сток тепла

Одним из основных факторов, оказывающих влияние на пространственное распределение температуры воды и её изменчивость во времени в морском устье рек Днепр и Юж. Буг, является сток тепла р. Днепр. Сток тепла р. Юж. Буг и р. Ингул, влияет на Бугский лиман несущественно и только в период повышенной водности рек.

Сток тепла является комплексной характеристикой, включающей как температурный (через температуру воды), так и объёмно-динамический фактор (через сток воды), основной адвективной составляющей баланса тепла в морском устье рек, так как он изменяет временные масштабы тепловых процессов, способствует трансформации температурной структуры, обусловливает теплообмен взморья с рекой, атмосферой и морем.

Под стоком тепла реки (Θ_p, Дж или ккал) будем понимать количество тепла, выносимое водотоком за какой-либо интервал времени (Δt) в любом створе, определяемое по формуле

$$\Theta_p = c\rho Q T_w \Delta t, \tag{4.1}$$

где c – удельная теплоёмкость воды, $4{,}1868 \cdot 10^3$ Дж/кг·градус; ρ – плотность воды, кг/м^3; Q – средний расход воды в створе, м^3/с, за интервал времени Δt в секундах; T_w – средняя температура воды в гидрометрическом створе, °С.

Составляющая

$$Q_\Theta = c\rho Q T_w, \tag{4.2}$$

в формуле (4.1), характеризующая сток тепла в единицу времени, называется расходом тепла.

Для изучения распределения температуры воды и определения стока тепла, поступающего в Днепровско-Бугский лиман с речными водами, по программе, разработанной автором, были организованы и проведены специальные экспедиционные исследования (МО УкрНИМИ и НЦГМ) в различные сезоны года за ряд лет.

Изучалось распределение температуры в поперечном сечении потока и её связь с температурой воды у берега на водомерных постах в городах Николаев и Херсон.

В гидрометрическом створе в районе г. Херсона, где условия перемешивания хорошие и температура воды имела квазиоднородное распределение в поперечном сечении потока в течение года, для определения стока тепла использовалась температура воды, измеряемая на водомерном посту Херсон в прибрежной части водотока. Такое допущение возможно, так как средняя температура воды в сечении водотока оказалась равна температуре воды на водпосту Херсон.

Сток воды принимался по створу Каховской ГЭС, и расчёт стока тепла выполнялся по формуле (4.1).

По данным специальных многолетних натурных наблюдений в створе р. Юж. Буг (в районе г. Николаева) выявлена неоднородность в распределении температуры воды в поперечном сечении потока. Поэтому для расчёта средней температуры воды в сечении вблизи границы раздела между рекой и лиманом получены зависимости этой величины от температуры воды на водпосту г. Николаева для периода нагрева (4.3) и охлаждения (4.4), имеющие коэффициенты корреляции, близкие к 1,00

$$T_{наг} = 0{,}96T_{ник} + 0{,}008, \quad (4.3)$$

$$T_{охл} = 0{,}96T_{ник} + 0{,}27, \quad (4.4)$$

где $T_{наг}$, $T_{охл}$ – средняя температура воды в поперечном сечении реки по данным специальных наблюдений в период нагрева ($T_{наг}$) и охлаждения ($T_{охл}$); $T_{ник}$ – температура воды на водпосту Николаев в сроки измерения $T_{наг}$ и $T_{охл}$ в сечении потока.

Сток тепла р. Юж. Буг рассчитывался по стоку воды р. Юж. Буг у пгт Александровка и средней температуре воды в районе г. Николаева, определенной с использованием зависимостей (4.3) и (4.4).

Масштабы воздействия стока тепла рек на формирование режима температуры на отдельных участках морского устья могут быть сопоставимы с воздействием метеорологических факторов. Сток тепла, поступающий в морское устье рек, влияет на распределение температуры воды на нижерасположенных устьевых участках рек и взморье, изменяет теплообмен с атмосферой. Например, уменьшение в период нагрева стока тепла р. Днепр (в створе Каховской ГЭС,

после сооружения днепровского каскада) в 2 раза способствовало уменьшению температуры воды на 3,5 °С, а увеличение осенне-зимнего стока тепла в 2,5 раза – увеличению температуры воды на 2 °С на расстоянии около 100 км от плотины Каховской ГЭС.

При сопоставлении изменений составляющих стока тепла (4.1) – температуры воды T_w и стока воды ($W = Q\Delta t$) оказалось, что основной составляющей стока тепла является сток воды. Это подтверждается высокими корреляционными отношениями (0,85 – 0,98) между стоком (расходом) воды и тепла р. Днепр в различные сезоны. Например, для зимнего периода (4.5) и года (4.6) установлены удовлетворительные зависимости между стоком тепла р. Днепр ($\Theta_{Дн\text{-}зим}$, $\Theta_{Дн\text{-}год}$) и стоком ($W_{зим}$) или расходом ($Q_{год}$) воды в створе Каховской ГЭС, имеющие вид:

$$\Theta_{Дн\text{-}зим} = e^{1,66 ln W_{зим} + 0,13}, \quad (4.5)$$

$$\Theta_{Дн\text{-}год} = 1,30\ Q_{год}^{1,02}. \quad (4.6)$$

При этом связь между стоком тепла и температурой воды отсутствует. Следовательно, разномасштабная изменчивость стока тепла (от суточной до многолетней) обусловлена, в основном, изменчивостью стока воды.

Обычно в течение суток сток тепла изменяется слабо, но в отдельные дни он может уменьшаться или увеличиваться в 5 – 10 раз (например, при сбросах из водохранилища).

Для стока тепла р. Днепр (также, как и стока воды) характерны недельные колебания, связанные с особенностями эксплуатации каскада водохранилищ. Обычно при минимальных сбросах к концу недели расход тепла уменьшается в 2 – 3 раза.

Сезонные изменения стока тепла значительны; его годовой ход обусловлен годовым ходом двух составляющих – температуры воды и стока реки. Поэтому, возможны случаи, когда максимумы стока воды и температуры отмечаются одновременно, максимум стока воды предшествует максимуму температуры или наоборот – сначала наступает максимум температуры, а затем максимум водоносности реки. Внутригодовой ход стока тепла имеет региональный характер, обусловленный чаще всего неодновременным наступлением макси-

мумов расхода воды и температуры. Так из рис. 4.11 видны различия в годовом ходе стока тепла р. Днепр и р. Юж. Буг (двухмодальный вид годового хода).

Среднемесячные и средние годовые значения стока тепла рассматриваемых рек представлены в табл. 4.6. Видно, что чем больше сток реки, тем больше тепла она выносит на устьевое взморье.

Таблица 4.6

Средний за период 1961 – 2009 гг. сток тепла рек, 10^{15} Дж

Река	Месяц												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Днепр	16	10	39	135	300	276	231	202	167	169	123	59	1730
Юж. Буг	1	2	8	23	14	13	18	14	12	12	5	2	124
Сумма	17	12	47	158	314	289	249	216	180	181	128	61	1850

Максимум стока тепла р. Днепр отмечается в период наибольшей водности реки – в мае, минимум – в феврале, когда температура воды наименьшая. Для годового хода стока тепла р. Юж. Буг характерны два максимума: первый в среднем бывает в апреле, когда на р. Юж. Буг проходит половодье, второй – в июле, при максимальной температуре воды. На этой реке максимум стока воды предшествует максимальному стоку тепла, т.к. протекая с севера на юг, вода р. Юж. Буг в марте ещё недостаточно нагрета.

Максимальная изменчивость стока тепла на всех реках бывает в зимний период, что связано с неустойчивым температурным режимом атмосферы (частой сменой оттепелей и похолоданий), зимними паводками, неравномерностью сбросов из водохранилищ.

Степень влияния стока тепла рек на температурный режим морского устья зависит от его величины и соотношения с теплозапасом устьевого взморья. Суммарный сток тепла рек Днепр и Юж. Буг за год составляет около $1850 \cdot 10^{15}$ Дж (табл. 4.6), а средний теплозапас Днепровско-Бугского лимана – $157 \cdot 10^{15}$ Дж, т.е. почти в 12 раз меньше среднего многолетнего теплового стока за год. Поэтому влияние стока тепла на формирование полей температуры в лимане существенное.

Межгодовая изменчивость стока тела в современный период лежит в пределах 25 % (р. Днепр) – 30 % (р. Юж. Буг) от среднемно-

голетних величин. Значимых тенденций сток тепла в вершинах морского устья рек за период с 1961 г. по 2009 г. не имеет. Несмотря на то, что обнаружен положительный тренд температуры воды в водотоках р. Днепр (разд. 4.1), сток тепла этой реки остаётся практически неизменным, так как основной его составляющей является сток воды (рис. 4.12). Но, в последние 23 года его значения увеличиваются.

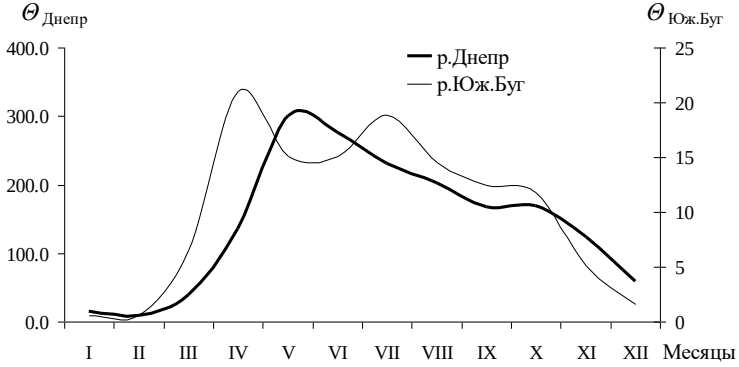


Рис. 4.11. Внутригодовое распределение стока тепла ($\Theta \cdot 10^{15}$ Дж) рек Днепр и Юж. Буг за 1961 – 2009 гг.

Сравнение современного стока тепла рек с его значениями за предыдущие периоды показало наличие антропогенного влияния на эту характеристику. В основном, произошло внутригодовое перераспределение стока тепла. Весной и летом из Каховского водохранилища сбрасываются более холодные воды, чем были в реке до его сооружения; количество воды, поступающей в устье, и переносимого ею тепла уменьшилось. Сбросы осенью и зимой способствуют поступлению в устьевую область реки бóльших объёмов воды и тепла, чем это было в период естественного режима стока. Изменение стока тепла и его внутригодового распределения обусловлено не только сооружением водохранилищ и прудов, но и увеличением водозабора, распаханности бассейнов рек, уменьшением их залесённости, агротехническими и агромелиоративными мероприятиями, урбанизацией, сбросами ТЭЦ и другими факторами. Развитие орошаемого земледелия могло увеличить сток воды и тепла с октября по февраль из-за сброса недоиспользованной на полях воды и увеличения грунтовой составляющей стока. Например, в устье р. Юж. Буг

хозяйственная деятельность в бассейне реки проявилась в увеличении стока тепла в среднем на 30 % из-за увеличения среднего стока межени на 60 %, несмотря на некоторое уменьшение температуры воды в этот период. Определённое тепловое влияние оказывают сбросы бытовых и промышленных вод в реки, но оно недостаточно изучено.

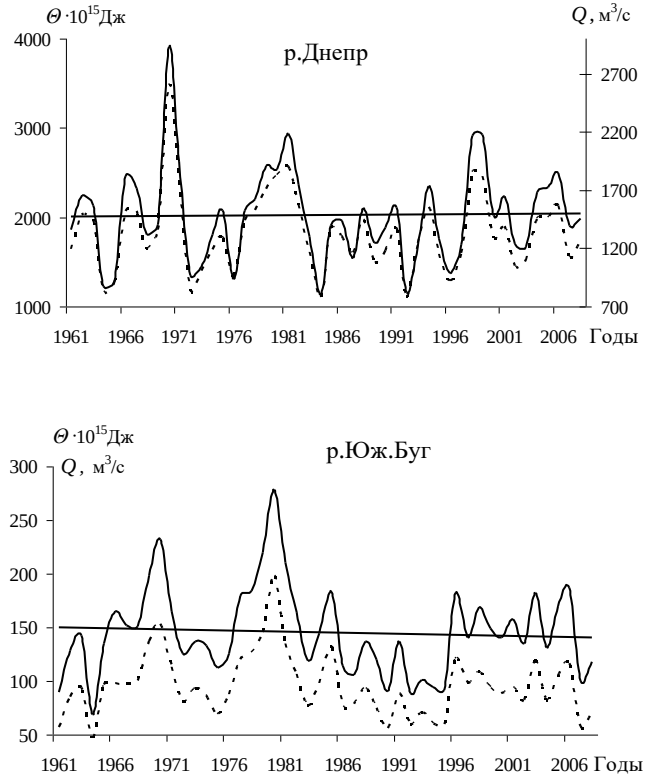


Рис. 4.12. Межгодовая изменчивость стока тепла Θ (——) и расхода воды Q (---) рек Днепр и Юж. Буг

Сток тепла р. Днепр существенно изменился под влиянием хозяйственной деятельности, которое отчетливо проявилось с 1965 года. Сооружение каскада днепровских водохранилищ, регулирование

стока и сбросы воды с температурными характеристиками, отличными от речных, привели к перераспределению стока тепла внутри года: в весенне-летний сезон сток тепла р. Днепр у Каховской ГЭС уменьшился в среднем в 2,5 – 1,5 раза, а в осенне-зимний – увеличился в 1,5 – 3 раза. Для оценки степени влияния речного теплопритока на распределение температуры устьевого взморья проанализированы результаты натурных наблюдений, выполненных при отсутствии сгонно-нагонных явлений в условиях штиля и слабых ветров (до 3 м/с). Судовые наблюдения использовались лишь тогда, когда за время съёмки суточный ход температуры на всех постах рассматриваемого морского устья рек не превышал 0,5 °С, а сток воды и тепла не изменялся. При сравнении материалов наблюдений на устьевом взморье учитывалась не только гидрометеорологическая ситуация в день выполнения съёмки, но и предшествующая, так как предшествующий гидрологической съёмке сток тепла и погодные условия отражаются на распределении гидрологических и тепловых характеристик. Таким образом, все параметры среды фиксировались (были постоянными), кроме стока тепла р. Днепр, который при различных съёмках отличался в 10 и более раз. Например, по данным съёмок, выполненных при одинаковых погодных условиях (штиле и одинаковой температуре воздуха) и различном стоке тепла р. Днепр, сформировались различные поля температуры в Днепровско-Бугском лимане (рис. 4.13). Из рис. 4.13 видно, что, при различном среднесуточном стоке тепла р. Днепр и прочих равных условиях, распределение температуры воды в поверхностном и придонном слоях воды различное. При стоке тепла, равном $20{,}3 \cdot 10^{15}$ Дж (рис. 4.13, *а*), граница речного влияния распространяется до станции 6 в центральной части лимана; в зоне смешения происходит трансформация температурной структуры (однородная водная масса становится стратифицированной), а в западной части Днепровского лимана проявляется тепловое влияние прилегающей открытой части взморья. При уменьшении стока тепла в 10 раз (рис. 4.13, *б*) зона его влияния заметно уменьшается, и стратифицированная по температуре вода заполняет весь лиман; граница раздела между однородной и стратифицированной водными массами смещается к нижней грани-

це дельты (ст. 4). Аналогичная ситуация характерна и для других съёмок, выполненных в разные периоды года.

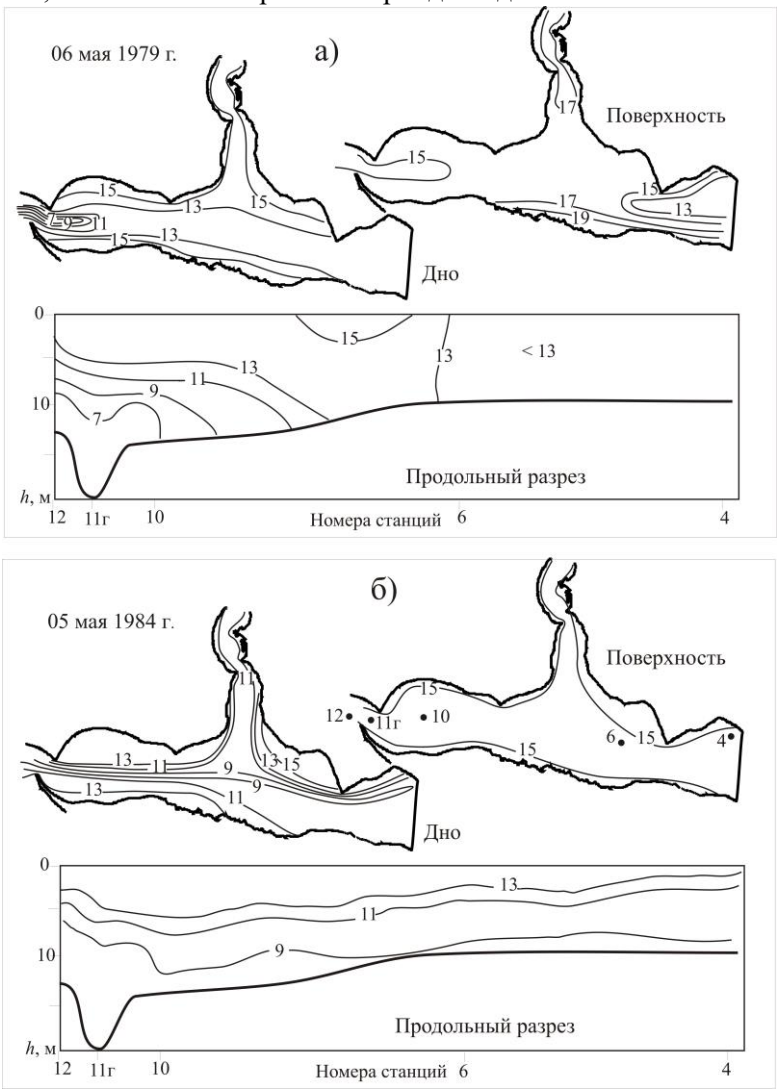


Рис. 4.13. Распределение температуры воды в акватории Днепровско-Бугского лимана при штиле, температуре воздуха 16 °С и стоке тепла р. Днепр, равном $20{,}3 \cdot 10^{15}$ Дж (*а*) и $2{,}13 \cdot 10^{15}$ Дж (*б*)

При отсутствии ветрового перемешивания распределение температуры воды в мае – июне и сентябре – октябре наиболее контрастно. Расположение границ зоны смешения разных по температуре вод зависит от стока реки и гидрометеорологических условий, поэтому эта зона испытывает сезонные, синоптические и прочие изменения. Она может смещаться от НГД р. Днепр к открытому устьевому взморью довольно быстро. Воздействие сгонного ветра может вызывать смещение зоны теплового влияния реки на взморье мористее, увеличивать её, а при нагоне – уменьшать.

Учитывая, что в наибольшей степени тепловое влияние реки проявляется до верхней границы зоны смешения речных и морских вод, а общепринятых критериев определения границы распространения зоны теплового влияния реки нет, для закрытого устьевого взморья эту границу можно установить приблизительно по местоположению изогалины 1 ‰. Обычно этот критерий используется для определения верхней границы зоны смешения и хорошо отражает дальность распространения основного объёма речной воды в солёных и осолонённых (распреснённых) водоёмах. Поскольку этим объёмом воды переносится и основное количество тепла, выносимого рекой на устьевое взморье, можно полагать, что использование указанного критерия допустимо. Это подтверждает анализ смещения стокового фронта при изменении речного стока и неизменном уровне воды в лимане, что более подробно рассмотрено в разд.5.4 при определении зон распреснения Днепровско-Бугского лимана.

Расчёт зон влияния стока тепла р. Днепр на устьевое взморье, выполненный в зависимости от обусловливающих факторов, показал, что средний многолетний расход воды, 1340 $м^3/с$, воздействует на объём лимана, равный 1,5 – 1,4 $км^3$. Безусловно, зона влияния стока тепла реки может быть и больше, т.к. не ограничивается адвективным переносом, но максимальное тепловое воздействие средний годовой расход воды р. Днепр оказывает в среднем на ½ лимана.

Использование неконтактных методов исследования температуры поверхностного слоя воды (например, спутниковых измерений) открывает новые возможности определения зон теплового влияния рек на устьевое взморье, что, возможно, позволило бы более глубоко проанализировать затрагиваемые вопросы исследования режима температуры морского устья рек Днепр и Юж. Буг.

4.4. Баланс тепла

Режим температуры воды морского устья рек формируется в результате воздействия на водную среду солнечной радиации, испарения, теплообмена с окружающей средой, переноса тепла, перемешивания, теплового загрязнения, гидробиологических процессов и других менее значимых факторов.

Адвективный перенос тепла в морском устье рек играет значительную роль. Он существенно превышает физическую теплопроводность (обусловленную разностью температур), так как вызван подвижностью водной массы, сравнительно большими скоростями течений (разд. 2.3). Динамическими факторами переноса тепла здесь являются сгонно-нагонные явления, сбросы ГЭС, волнение, проникновение морской воды в устье рек и др.

В результате теплообмена воды морского устья рек с пограничными средами изменяется теплосодержание (теплозапас) водной массы, т.е. количество тепла ($\Theta_{вз}$, Дж или ккал), содержащееся в определённом объёме воды (W, м^3). Эта величина, рассчитанная по формуле (4.7) составляет $157 \cdot 10^{15}$ Дж.

$$\Theta_{вз} = c\rho W T_w, \tag{4.7}$$

где c – удельная теплоёмкость воды; ρ – плотность воды; T_w – средняя температура устьевого взморья, определённая как средняя взвешенная величина по формуле

$$T_w = \frac{\sum \bar{t}_k w_k}{W}. \tag{4.8}$$

Здесь $\bar{t}_k$ – средняя температура воды k-того слоя, рассчитанная как средняя арифметическая из значений температуры воды на каждой i-той станции данного слоя; w_k, W – объём воды каждого слоя и устьевого взморья в целом при среднем многолетнем значении уровня воды. Средняя температура воды на станциях устьевого взморья ($\bar{t}_i$) определялась по натурным данным, а (в зимний период) путём интерполирования зависимостей температуры воды в глубоководной

части лимана (t_i) от её значений на водомерных постах (t_j), имеющих вид, аналогичный зависимостям (4.3) и (4.4),

$$t_i = a\, t_j + b\,. \qquad (4.9)$$

Послойный расчёт теплозапаса устьевого взморья выполнялся по той причине, что распределение температуры воды по глубине довольно неоднородное (разд. 4.1).

Изменение теплосодержания Днепровско-Бугского лимана ($\Delta\Theta_{вз}$) является результатом соотношения прихода в воду и расхода тепла массой воды. Основные составляющие, обуславливающие режим температуры водной среды морского устья рек, можно представить в виде уравнения баланса тепла [80]

$$\pm \Delta\Theta_{вз} = \Theta_R \pm \Theta_T \pm \Theta_{эф} \pm \Theta_{ис} \pm \Theta_{ос} \pm \Theta_{л} \pm \Theta_{дно} \pm \Theta_{гр} \pm \Theta_{ант} \pm \\ \pm \Theta_{бх} + \Theta_{дин} + \Theta_{р} + \Theta_{обр} + \Theta_{бер} - \Theta_{пр}. \qquad (4.10)$$

Здесь Θ_R – приход тепла за счёт поглощения водой прямой солнечной радиации; Θ_T – турбулентный теплообмен с атмосферой; $\Theta_{эф}$ – тепло за счёт эффективного излучения, рассчитанное как разность между тепловым излучением воды и встречным излучением атмосферы. Изменение теплозапаса устьевого взморья также происходит в результате теплообмена: $\Theta_{ис}$ – при испарении или конденсации; $\Theta_{ос}$ – при выпадении осадков (жидких и твёрдых, имеющих различную температуру, в том числе и ниже нуля, что требует затрат тепла на таяние твёрдых осадков); $\Theta_{л}$ – за счёт ледообразования или ледотаяния; $\Theta_{дно}$ – с ложем; $\Theta_{гр}$ – с грунтовыми водами; $\Theta_{ант}$ – за счёт антропогенного влияния на водный объект; $\Theta_{бх}$ – при биохимических процессах, протекающих в водной среде.

Приходную часть баланса тепла составляет: $\Theta_{дин}$ – приход тепла при диссипации механической энергии (переходе механической энергии в тепловую); $\Theta_{р}$ – поступление тепла с речными водами (сток тепла); $\Theta_{обр}$ – приток тепла с обратным потоком; $\Theta_{бер}$ – тепло, поступающее с берега (временные водотоки, смыв). Потери тепла происходят за счёт его оттока с прямым потоком $\Theta_{пр}$. При этом имеется в виду, что приходные части баланса тепла ($\Theta_{р}$, $\Theta_{обр}$ и $\Theta_{бер}$) в данной редакции характеризуют перенос рекой $\Theta_{р}$, обратным пото-

ком $\Theta_{обр}$ и береговым смывом $\Theta_{бер}$ тепла в приёмный водный объект, а не количество тепловой энергии, переданное водной массе в процессе смешения и теплообмена. Потому что речной, обратный и береговой приток могут приносить в водный объект как более тёплую, так и более холодную воду. В последнем случае теплозапас приёмного водного объекта может увеличиваться, уменьшаться или оставаться неизменным в связи с тем, что происходит не только изменение температуры смеси в результате теплообмена, но и изменение объёма воды.

Далеко не все составляющие баланса тепла можно определить достаточно достоверно, поэтому для Днепровско-Бугского лимана рассчитывались только основные компоненты – теплообмен с атмосферой, рекой и через Кинбурнский пролив, что упростило уравнение (4.10) до вида

$$\pm \Delta\Theta_{вз} = \pm \Theta_{а} + \Theta_{р} + \Theta_{обр} - \Theta_{пр} \pm \Theta_{л}. \qquad (4.11)$$

Сток тепла рек ($\Theta_{р}$) рассмотрен в предыдущем разделе (разд. 4.3). Однако, его суммарная величина несколько больше указанной в табл. 4.6 и в среднем за многолетний период составляет $1900 \cdot 10^{15}$ Дж., т.к. при её определении учитывался сток тепла рек Ингул и Ингулец и прирост стока тепла в устьевых водотоках из-за увеличения температуры воды на участке г. Херсон – НГД р. Днепр.

Оценка теплообмена через пролив выполнена, как показано в гл. 9, по зависимости расходов тепла прямого и обратного потоков через Кинбурнский пролив от интенсивности изменения уровня воды в с. Касперовка и температуры воды в г. Очакове. Этот способ определения составляющих $\Theta_{пр}$ и $\Theta_{обр}$ позволяет избежать ошибок при расчёте теплообмена через пролив, обусловленных неполнотой натурных данных и даёт приемлемый результат.

Теплообмен с атмосферой ($\pm \Theta_{а}$) за многолетний период включает составляющие $\pm \Theta_{R} \pm \Theta_{T} \pm \Theta_{эф} \pm \Theta_{ис} \pm \Theta_{ос}$ (4.10), из которых учитывались только первые четыре. Для расчёта этих составляющих использовались методики, разработанные многими авторами и изложенные в работах [45, 64, 80]. Так как теплообмен за счёт атмосферных осадков составлял менее 1 % от величины Θ_{R}, составляющая $\Theta_{ос}$ не учитывалась.

При отсутствии ледяного покрова поглощённая водой солнечная радиация рассчитывалась по формуле [45]

$$\Theta_R = \Theta_0 (1 - cn)(1 - r), \tag{4.12}$$

где Θ_0 – суммарная солнечная радиация при безоблачном небе; c – коэффициент ослабления Θ_0 облаками; n, r – общее количество облаков и коэффициент отражения суммарной радиации в долях от единицы.

Турбулентный (конвективный) теплообмен с атмосферой (Θ_T) рассчитывался по уравнению [45]

$$\Theta_T = c_k V (t_w - t_a), \tag{4.13}$$

где c_k – коэффициент турбулентного теплообмена; V – скорость ветра; t_w – температура воды; t_a – температура воздуха.

Эффективное излучение ($\Theta_{эф}$), представляющее собой разность между тепловым излучением воды и встречным излучением атмосферы, определялось по выражению [45]

$$\Theta_{эф} = \Theta_{0эф} (1 - c_e n^2), \tag{4.14}$$

где $\Theta_{0эф}$ – эффективное излучение воды при безоблачном небе; c_e – коэффициент, учитывающий влияние облачности на эффективное излучение; n – общее количество облаков в долях от единицы.

Для расчёта теплообмена с атмосферой за счёт испарения и конденсации ($\Theta_{ис}$) применялись уравнения [64]

$$\Theta_{ис} = E \rho \alpha_u, \tag{4.15}$$

$$E = c_u (e_0 - e) V. \tag{4.16}$$

Здесь E – объём испарившейся или сконденсировавшейся воды; ρ – плотность воды; α_u – теплота испарения (конденсации); c_u – переходный коэффициент; e_0 – насыщающая влажность воздуха при температуре поверхности воды; e – абсолютная влажность воздуха; V – скорость ветра.

В зимний период учитывалось тепло, выделяемое или поглощаемое при фазовом переходе воды в лёд и обратно ($\Theta_л$), которое определялось по формуле [45]

$$\Theta_л = \rho_л L_л V_л, \qquad (4.17)$$

где $\rho_л$ – плотность льда; $L_л$ – теплота плавления (образования) льда; $V_л$ – объём образовавшегося или стаявшего льда. При расчёте этой составляющей теплообмена учитывалась степень покрытия акватории взморья льдом [80].

По формулам (4.11) – (4.17) рассчитаны ежемесячные значения теплообмена, по ним годовые, которые затем осреднены за период с 1961 г. по 2009 г. и представлены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Составляющие баланса тепла Днепровско-Бугского лимана

Приходная часть, 10^{15} Дж		Расходная часть, 10^{15} Дж	
сток тепла рек	1900	сток из лимана	3360
приток в лиман	1490	результирующая теплообмена с атмосферой	28
всего	3390	всего	3388

Значимых тенденций в изменении теплообмена устьевого взморья с атмосферой не обнаружено. Вероятно, это связано с тем, что, несмотря на увеличение теплового напора $t_w - t_a$ (4.13), отмеченное в разд. 4.1, скорость ветра имеет тенденции к уменьшению (разд. 1.7). Поэтому уменьшение турбулентного теплообмена сбалансировало возможное увеличение этой составляющей из-за роста температуры воды (4.13). Уменьшение скорости ветра, вероятно, способствовало снижению роли теплообмена за счёт испарения и конденсации (4.16).

Теплообмен морского устья рек Днепр и Юж. Буг с окружающей средой изменяется по сезонам, внутри суток, за синоптический период и имеет бóльшую цикличность. Изменяются как сами величины составляющих, так и их доля в суммарном теплообмене. Весной, после очищения ото льда, основную роль играет радиационный баланс – приток солнечной радиации возрастает от марта к июлю в 2 раза. Осенью увеличиваются эффективное излучение, потери тепла в

атмосферу, теплообмен с дном. В период замерзания вода получает дополнительное тепло, выделяющееся при ледообразовании.

Внутригодовые изменения теплообмена с атмосферой идентичны от года к году: обычно с сентября по – март, включительно, происходит отдача тепла в атмосферу, в остальные месяцы тепло поступает из атмосферы в воду. 50 % от годовой суммы прихода составляет радиационная составляющая – поглощённая водой солнечная радиация Θ_R. Она превалирует весной и летом, в период интенсивного нагрева её доля увеличивается до 60 – 70 %, а зимой уменьшается до 15 – 30 %.

Вклад контактного (конвективного) теплообмена в среднем за многолетний период колеблется в пределах 1 – 3 %, эта составляющая, по сравнению с другими, изменяется по сезонам меньше, т.к. средняя месячная скорость ветра, от которой она зависит, составляет 4 – 5 м/с (табл. 1.7).

Доля потерь тепла на испарение – 23 – 30 %. Летом и осенью теплообмен за счёт испарения увеличивается и составляет 27 – 40 % от расходной части баланса, а зимой уменьшается.

Существенный вклад (15 – 35 %) в теплообмен с атмосферой, особенно в сентябре – октябре, вносит эффективное излучение. Летом его роль снижается до 10 – 20 %. В периоды активной ветровой деятельности, обычно в октябре – январе, когда отмечается наибольшая разность между температурой воды и воздуха, доля конвективного теплообмена с атмосферой увеличивается до 15 – 20 %. Летом, когда вода прогревается, а скорость ветра уменьшается, доля этой составляющей теплового баланса уменьшается до 1 – 2 %. При ледообразовании в Днепровско-Бугском лимане выделяется около 10 %, а в открытой части устьевого взморья – 5 % тепла (от приходной части баланса).

Анализ основных составляющих теплообмена (за годовой цикл) показал, что приток тепла из атмосферы и в результате адвекции речных и морских вод в лиман компенсируется отдачей тепла в атмосферу и его поступлением в море. Средняя невязка годового теплового баланса составляет менее 1% от приходно-расходной части баланса тепла и включает неучтённые составляющие (4.10) и погрешности расчёта.

ГЛАВА 5
МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И СОЛЁНОСТЬ ВОДЫ

Источниками минеральных веществ в морском устье рек Днепр и Юж. Буг являются поверхностный и подземный сток, а также морские воды. Углекислые соли кальция и соли магния поступают в воду (в межень) из нижних водоносных горизонтов понтического известняка, а содержание хлора и натрия увеличивается при нагонах морской воды. Поверхностный сток обогащает речные воды минеральными веществами только после оттаивания почвы и выщелачивания из её верхнего горизонта водорастворимых солей. При стекании поверхностных вод по ледяной корке и замёрзшей почве в речную сеть поступает маломинерализованная вода, что приводит к уменьшению минерализации речной воды.

Минеральный состав водотоков и водоёмов морского устья формируется по всей длине рек путём смешения вод различных генетических категорий и разного химического состава: поверхностных, почвенных, грунтовых, сточных, атмосферных осадков. Кроме того, непосредственно в морском устье в процессе метаморфизации состава и свойств принимают участие воды озёр, плавней, болот, лиманов, разнообразных по минеральному составу водных объектов (имеющих собственные местные водосборы, на которых формируется их химический состав), а также воды устьевого взморья и прилегающей части моря.

Формирование минерального стока рек происходит в основном вне морского устья. Однако в низовьях рек существенную роль в увеличении содержания солей могут играть устьевые процессы, а также антропогенный фактор, т.к. рассматриваемое морское устье является хорошо освоенным регионом Украины, с развитым сельским хозяйством и городскими агломератами, а, следовательно, коллекторно-дренажными, сбросными и хозяйственно-бытовыми выпусками (разд. 1.5). Характерной особенностью рассматриваемого устья является то, что в устьевые водоёмы и водотоки проникает солёная вода, способствуя повышению концентрации главных ионов.

Солевой состав воды в устье рассматриваемых рек изменчив, количественное соотношение главных ионов непостоянное, что обусловлено значительной изменчивостью водного режима (разд. 2).

Главные ионы химического состава пресных вод устьевых участков рек преимущественно гидрокарбонаты, кальций и сульфаты, солоноватых и солёных вод Днепровско-Бугского лимана и открытой части устьевого взморья – хлориды, сульфаты, натрий и магний, а также бромиды и иодиды. В морском устье рек Днепр и Юж. Буг состав воды может быстро изменяться от речного к морскому, быть промежуточным между ними; в отдельных частях устья бывает неоднородным.

Для морского устья рек, в отличие от моря, характерны не только непостоянство ионного состава воды, но и сложные процессы метаморфизации физических свойств и химического состава. Минерализация речной воды изменяется в течение года, непостоянна и концентрация отдельных ионов, в различные фазы водного режима доминируют те или иные минеральные составляющие.

Солёность устьевого взморья формируется в процессе адвекции, смешения и диффузии речных и морских вод, что приводит к трансформации солевого состава, изменению химического состава речной воды: минерализация речной воды (< 0,5 ‰) возрастает до солёности морской воды (10 – 20 ‰); речная вода гидрокарбонатного класса кальциевой группы трансформируется в морскую воду хлоридного класса натриевой группы. Эти изменения происходят в основном в диапазоне солёности воды 2 – 4 ‰ [83, 84, 7]. По данным ряда исследователей гидрохимической границей между речной и морской водой является изогалина 1 – 2 ‰; преобразование ионного состава происходит до изогалин 5 – 7 ‰, а на участках, где солёность воды превышает 10 ‰, относительное содержание ионов практически остаётся постоянным.

Поступление речных вод оказывает опресняющий эффект на воды устьевого взморья, а морских – способствует их осолонению. Устьевая циркуляция обусловливает закономерную смену этих состояний. Приток солёной воды в устьевые водотоки во много раз увеличивает количество минеральных веществ в воде, делает её непригодной для использования, выводит из строя системы водообеспечения.

Существенную роль в формировании минерального состава устьевого взморья рек Днепр и Юж. Буг играет испарение – чем оно

больше, тем больше концентрация солей в водной среде. Выпадение осадков распресненяет поверхностный слой воды морского устья.

Изменение количества минеральных веществ в воде обусловлено также сбросами сточных вод, ледовыми явлениями и другими причинами.

По исследованиям ряда авторов изменение ионного состава в морских устьях рек может быть обусловлено процессами фотосинтеза, которые приводят к уменьшению концентрации гидрокарбонатов. Например, в результате интенсивного развития водной растительности в воде Днепровско-Бугского лимана наблюдается изменение карбонатного соотношения – концентрация гидрокарбонатов уменьшается (т.к. в процессе фотосинтеза свободная углекислота утилизируется водными растениями), происходит накопление карбонатных ионов. Уменьшение содержания гидрокарбонатов из-за фотосинтеза по данным Алмазова А.М. [83] может достигать 50 %.

Содержание минеральных веществ в воде определяет её массу и плотность, что является важным фактором формирования течений, обусловливает устьевые процессы. В пресной воде устьевых участков рек 90 – 95 % минерального состава формируют главные ионы, в воде устьевого взморья – до 99 % и выше [88], т.е главные ионы, содержащиеся в водной среде в больших концентрациях, характеризуют её минерализацию и солёность. Главные ионы и микроэлементы составляют 99,9 % всех твёрдых растворённых солеобразующих веществ [88]. Поэтому сток минеральных веществ приближённо можно характеризовать стоком главных ионов (разд. 5.2).

В прибрежных распреснённых районах морского устья рек определялась солёность (хлорность), а на устьевых участках рек – сумма главных ионов. Переход от хлорности к солёности осуществлялся по локальным зависимостям (разд. 5.3).

В обобщении использованы материалы стационарных наблюдений НЦГМ Гидрометеослужбы Украины на водпостах Касперовка, Парутино, Очаков, Николаев и Херсон, производившихся ежедневно в 07 – 08 час МСВ. Здесь, у берега, осуществляется отбор проб на хлорность поверхностного слоя воды [46]. При сгонно-нагонных явлениях иногда производились учащённые наблюдения.

В период экспедиционных работ в глубоководных частях морского устья рек пробы воды на хлорность отбирались со стандарт-

ных горизонтов (разд. 4). Затем, с помощью локальных зависимостей, хлорность, определяемая аргентометрическим методом, пересчитывалась в солёность. При этом методе определения хлорности (солёности) воды точность (для значений солёности более 2 ‰) не превышала ± 0,02 ‰, а предельная погрешность – 0,04 ‰, в более пресных водах (солёностью менее 2 ‰) – ± 0,1 – 0,2 ‰. Это является следствием недоучёта концентрации основных ионов речной воды. На практике точность определения малых значений солёности воды (менее 2 ‰) может быть значительно ниже указанных величин. В отдельных экспедициях, при использовании солемера, точность определения была равна 0,02 – 0,03 ‰ и менее.

Обобщение материалов наблюдений за хлорностью и солёностью воды выполнялось на основе изданий Государственного водного кадастра, подготавливаемого МО УкрНИГМИ совместно с НЦГМ [46], и литературным источникам.

Наиболее полное представление о минерализации и солёности воды морского устья рек дают работы Журавлёвой Л.А. [67] и Симова В.Г. [85], в которых обобщены и проанализированы материалы многолетних наблюдений Гидрометеослужбы Украины и др. организаций за периоды с разным уровнем зарегулирования стока рек.

Значительная пространственная неоднородность и временная изменчивость минерального состава воды в морском устье рек отражается на достоверности оценок режима солёности с помощью обычных статистических характеристик, например, средних арифметических значений. Если по стационарным ежесуточным наблюдениям на постах не представляет сложности рассчитать среднее месячное и среднее годовое значение величины, то определение режимных характеристик солёности по данным гидрологогидрохимических съёмок, рейдовых наблюдений, разрезов, многосуточных станций бывает затруднительно. Это в основном связано с неравномерностью распределения наблюдений во времени, так как в холодный период года, при штормах и других неблагоприятных для исследований условиях наблюдения не осуществлялись.

Результаты определения солёности воды в открытых частях морского устья рек отражают реальные средние многолетние значения характеристик приближённо. При необходимости для получения более достоверных результатов и проверки имеющихся данных

применялся пространственно-корреляционный анализ, позволивший материалы эпизодических гидролого-гидрохимических съёмок акватории устьевого взморья связать с непрерывными стационарными наблюдениями на постах.

Неполными и приближёнными являются также сведения о минерализации речной воды в вершинах морского устья рек Днепр и Юж. Буг, на устьевых участках рек и в рукавах р.Днепр [73, 74].

Период обобщения данных по минерализации и солёности воды морского устья рек Днепр и Юж. Буг ограничен 1975 – 2009 гг.

5.1. Концентрация главных ионов

В вершинах морского устья и на устьевых участках рек Днепр и Юж. Буг определялась сумма главных ионов (Σu), соответствующая минерализации, для чего производился отбор проб на содержание SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+} и сумму всех ионов, включая HCO_3^-, $Na^+ + K^+$, иодиды, бромиды. Поэтому при обобщении данных о минерализации рек учитывалась сумма этих ионов. В устьевых водотоках р. Днепр и на устьевом взморье указанные компоненты химического состава слабо изучены: в Днепровско-Бугском лимане определялась солёность и хлорность, а в рукавах р. Днепр – в основном хлорность и минерализация. Это обстоятельство затрудняет изучение изменчивости суммы главных ионов на участке г. Новая Каховка – НГД. Учитывая, что здесь сформированный выше по течению ионный сток проходит транзитом, а дополнительных источников минеральных веществ не обнаружено, ориентировочно можно принять концентрацию главных ионов одинаковой на всём участке. Особенно это касается содержания HCO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}. Исключением является район НГД (с. Касперовка), где при поступлении лиманных вод отмечается увеличение концентрации SO_4^{2-}, Cl и $Na^+ + K^+$.

Вода рек Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец – гидрокарбонатного класса, кальциевой группы, слабоминерализована. Иногда увеличивается концентрация Na^+, SO_4^{2-} и Cl^-, особенно на устьевых участках рек Юж. Буг и Ингул.

Содержание ионов кальция и магния определяет жёсткость воды указанных рек. Вода р. Юж. Буг является умеренно жёсткой или жёсткой (в зависимости от сезона), р. Днепр – мягкой в весенние ме-

сяцы и умеренно жёсткой в остальное время года. Жёсткость воды (общая) в акватории морского устья рек неоднородна и имеет существенный размах.

Щёлочность является важной гидрохимической характеристикой воды морских устьев рек, отличающихся значительной изменчивостью солевого состава. По щёлочности рассчитывают элементы карбонатной системы распреснённых устьевых вод, так как она определяется содержанием в воде, в основном, карбонатных ионов; выделяют зоны распреснения моря речным стоком, осадками, ледотаянием, потому что при опреснении солёность воды уменьшается, а щёлочность не изменяется. В морском устье рек Днепр и Юж. Буг определяется общая щёлочность, характеризующая содержание в воде карбонатов, гидрокарбонатов, силикатов, боратов и фосфатов, но в основном, анионов угольной кислоты.

Результаты определения общей щёлочности и общей жёсткости воды на отдельных участках морского устья рек Днепр и Юж. Буг представлены в табл. 5.1. Наибольшие средние значения этих характеристик отмечаются у нижней границы устьевых участков рек Юж. Буг и Ингул и в лимане.

Пространственное распределение щёлочности воды в поверхностном и придонном слоях Днепровско-Бугского лимана показано на рис. 5.1. В среднем общая щёлочность закономерно увеличивается по направлению к морю, исключая Бугский лиман, т.к. в воде р. Юж. Буг велико содержание гидрокарбонатов, концентрация которых уменьшается с севера на юг. Вода р. Днепр, имеющая общую щёлочность 2,6 мг-экв/л, поступая в Днепровский лиман смешивается с более щёлочной водой открытой части устьевого взморья (3,2 – 3,4 мг-экв/л) и Бугского лимана (3,2 – 4,2 мг-экв/л), в результате чего в зоне смешения формируется водная масса, общая щёлочность которой составляет около 3,0 мг-экв/л.

Значимых тенденций в многолетней изменчивости общей щёлочности воды морского устья рек Днепр и Юж. Буг не обнаружено. Между минерализацией, солёностью, хлорностью, щёлочностью и жёсткостью воды, а также между отдельными главными ионами и указанными характеристиками ионного состава для некоторых участков морского устья рек были установлены определённые взаимосвязи, зависящие от концентрации солеобразующих ионов в реч-

ной и морской воде, сезона, гидрометеорологических и биохимических процессов. Эти зависимости, хотя и выражают общие закономерности, носят локальный характер [83, 84, 86, 87].

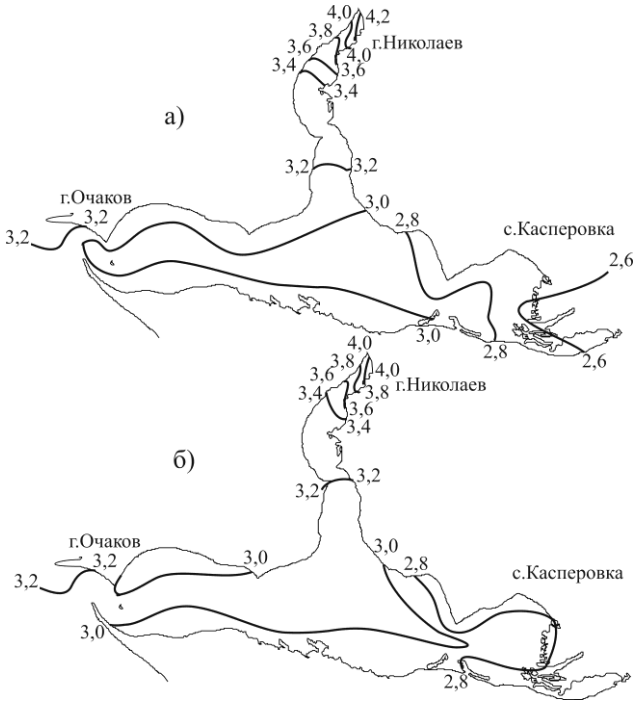


Рис. 5.1. Среднее многолетнее распределение общей щёлочности (мг-экв/л) поверхностного (а) и придонного (б) слоёв воды

Так как данные о содержании в воде морского устья рек Днепр и Юж. Буг главных ионов не полные, ряды наблюдений неэквидистантные, а изменчивость концентрации ингредиентов существенна, результаты обобщения имеющихся материалов наблюдений за период зарегулированного стока рек, представленные в табл. 5.2, дают лишь приближённую оценку средних и экстремальных значений.

Из табл. 5.2 видно, что на устьевых участках рек минерализация воды, в основном, увеличивается по направлению к взморью (на участке г. Нов. Одесса – г. Николаев в 5 – 8 раз). Сумма главных ионов, за исключением устья р. Ингул (в районе сбросов крупного

промышленного центра г. Николаева), обычно не превышает 1000 мг/л (ПДК для пресных вод).

Таблица 5.1

Пределы значений щёлочности и общей жёсткости воды (мг-экв/л) в морском устье рек Днепр и Юж .Буг

Участок морского устья	Средняя*		Минимум – максимум	
	щёлочность	жёсткость	щёлочность	жёсткость
р. Днепр, устьевой участок реки	2,6	3,2 – 5,2	1,2 – 3,4	1,9 – 18
р. Юж. Буг, нижняя граница устьевого участка реки, поверхность	4,4	15	1,7 – 8,7	3,2 – 243
р. Юж. Буг, нижняя граница устьевого участка реки, дно	4,0	25	1,7 – 9,1	5,2 – 418
р. Ингул – с. Новогорожено, поверхность	–	4,0	–	2,3 – 13
р. Ингул, г. Николаев, поверхность	4,5	18	1,7 – 8,7	5,2 – 243
р. Ингул, г. Николаев, дно	4,1	27	2,2 – 8,7	6,5 – 418
р. Ингулец, с. Могиловка, поверхность	–	4,5	–	2,2 – 22
Днепровско-Бугский лиман, поверхность	2,9	5 – 18	1,2 – 12	4,5 – 84
Днепровско-Бугский лиман, дно	3,1	5 – 50	1,8 – 9,1	4,2 – 207

*Примечание: * – при однородном распределении элемента по акватории участка среднее значение получено как среднее арифметическое, при неоднородном – приводятся пределы изменения среднего значения на участке.*

Вода всех рассматриваемых рек является среднеминерализованной, исключая нижнюю часть устьевого участка рек Юж. Буг и Ингул, где минерализация повышенная. Максимальные значения минерализации отмечаются в устьях рек Ингулец и Юж. Буг, где она может в 2 – 3 раза превышать ПДК. По литературным данным при нагонах лиманной воды в устьевых водотоках р. Днепр у дна наблюдалась минерализация порядка 14 – 16 г/л.

Анализ литературных источников [67, 83] и собственные расчёты показали, что по сравнению с более ранними наблюдениями, выпол-

ненными в период, когда сток рек был близок к естественному, в настоящее время минерализация воды устьевых участков рек увеличилась, в основном, за счёт сульфатов и хлоридов, среднее содержание которых на отдельных участках превышает ПДК. Повысилось (в среднем выше ПДК) содержание магния в реках Юж. Буг и Ингулец.

Таблица 5.2

Концентрация главных ионов и их суммы
в воде морского устья рек Днепр и Юж. Буг за 1976 – 2009 гг.

Район морского устья	Концентрация, мг/л									
	Средняя					Минимум – максимум				
	Σи	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Σи	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
ПДК	–	300	100	180	40	–	300	100	180	40
р. Днепр, устьевой участок реки, г. Херсон	346	35,1	72,4	44,1	16,3	191 – 592	7,8 – 124	8,2 – 1325	9,6 – 221	2,3 – 117
р. Ингулец, в 100 м выше устья	400	45,3	84,4	52,8	18,9	246 – 3130	20,2 – 1000	16,0 – 824	34,9 – 166	6,9 – 122
р. Юж. Буг, пгт Александровка	705	53,2	133	82,8	42,0	537 – 922	30,0 – 67,4	51,0 – 250	44,1 – 148	29,4 – 78,0
р. Юж. Буг, г. Новая Одесса	709	60,1	81,8	86,8	45,4	536 – 910	39,6 – 73,7	35,5– 125	40,1 – 140	13,6 – 63,4
р. Юж. Буг, с. Гурьевка	632	53,8	277	94,0	119	320 – 2350	37,7 – 66,1	155 – 464	77,7 – 159	104 – 238
р. Юж. Буг, г. Николаев, поверхность	936	972	270	101	121	348 – 3798	23,8 – 2350	5,8 – 769	4,2 – 557	4,5 – 656
р. Юж.Буг, г. Николаев, дно	–	2839	474	148	248	–	200 – 4460	12,6 – 1230	6,5 – 1336	9,0 – 819
р. Ингул, с. Новогорожено	1560	194	469	101	41,5	893 – 2500	109 – 355	97,0 – 950	57,1 – 125	16,9 – 76,5
р. Ингул, г. Николаев, поверхность	1200	906	317	113	142	540 – 2190	46,3 – 2250	6,1 – 1334	5,6 – 592	23,0 – 1316
р. Ингул, г. Николаев, дно	–	–	439	133	232	–	–	15,9 – 1050	4,9 – 474	16,0 – 1809

Бóльшее значение средней минерализации воды морского устья рек в период с 1976 г. по 2009 г. по сравнению с 30 – 60-ми годами прошлого века, по-видимому, обусловлено сооружением водохрани-

лищ, увеличением заборов воды на орошение и сбросов высокоминерализованных сточных вод промышленного и сельскохозяйственного происхождения, а также повышением уровня Чёрного моря. Это свидетельствует о происшедшем засолении устьевых участков рассматриваемых рек. Однако здесь значимых тенденций в изменении минерализации воды за последние 25 – 30 лет не обнаружено.

Основным фактором внутригодовой изменчивости содержания минеральных веществ является водный режим рек, имеющий свои особенности (разд. 2.1). Минерализация воды устьевого участка р. Днепр обусловлена внутригодовым распределением стока воды (работой ГЭС), сгонно-нагонными явлениями, притоком грунтовых вод, гидрометеорологическими и биохимическими процессами, сбросами сточных вод, особенностями смешения и метаморфизации вод в каскаде днепровских водохранилищ.

При сбросах из водохранилищ (в предшествующий половодью период), осуществляемых для подготовки ёмкостей к приёму талых вод, на устьевой участок р. Днепр поступают воды бóльшей минерализации, накопленные в искусственных водоёмах за зиму. Максимальная минерализация отмечается в марте, когда преобладает грунтовое питание рек в бассейне р. Днепр. В июле – сентябре, когда сток реки минимальный, содержание минеральных веществ в воде стабилизируется на уровне 350 – 360 мг/л. Увеличение сбросов ГЭС в осенне-зимнюю межень, в период осенних паводков и накопления в водохранилищах поверхностных дождевых вод, способствует постепенному, с октября по декабрь, распреснению устьевого участка р. Днепр, и минерализация воды в декабре обычно минимальная (рис. 5.2). Неустойчивость ледовых явлений в декабре, таяние пресноводного льда при потеплениях, также обусловливают распреснение воды устьевого участка реки в этот месяц. В период ледовых явлений содержание главных ионов в водохранилищах увеличивается (в среднем, с конца декабря до начала марта), а во время ледо- и снеготаяния в бассейне и увеличения расходов воды (в апреле – мае) уменьшается, не достигая, однако, уровня осенне-зимней межени.

Определённую роль в формировании минерального состава воды на устьевом участке р. Днепр могут играть фильтрующиеся в направлении морского устья рек почвенно-грунтовые воды, уровень которых в регионе Каховского водохранилища весной повышается

(после сооружения Каховского водохранилища уровень грунтовых вод вообще значительно повысился). Вероятно, поэтому минерализация воды в мае (при повышенном стоке р. Днепр) больше, чем в декабре, когда сток реки меньше. Кроме того, повышению минерализации воды при увеличении стока реки может способствовать смыв минеральных веществ с поверхности оттаявшей почвы.

В устьевых рукавах р. Днепр средняя месячная минерализация воды (концентрация суммы главных ионов) практически остаётся постоянной с марта по октябрь, изменяясь в пределах 355 – 360 мг/л.

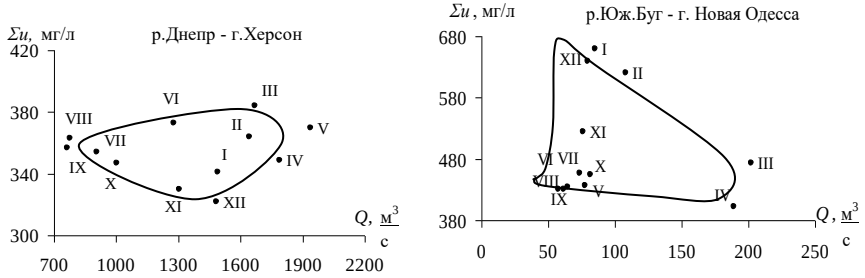


Рис. 5.2. Средняя месячная сумма ионов (Σ*u*, мг/л) и средний месячный расход воды (*Q*, м^3/с) рек Днепр и Юж. Буг

Бóльшую часть года вода в рукавах р.Днепр относится к гидрокарбонатно-кальциевому типу, а при нагонах лиманной воды – она становится хлоридно-натриевой. Наибольшие колебания минерализации воды отмечаются вблизи нижней границы дельты (в районе с. Касперовка).

Зарегулирование стока р. Днепр водохранилищами сказалось не только на средних годовых значениях минерализации, но и на внутригодовом ходе концентрации главных ионов на устьевом участке реки и в устьевых рукавах: до сооружения днепровского каскада сумма главных ионов была минимальной в мае и максимальной в октябре – декабре, а размах колебаний минерализации был больше, чем в современный период.

В мелководных, заросших водной растительностью водоёмах, расположенных в дельте р. Днепр, режим минеральных веществ формируется под влиянием водообмена с рекой и лиманом, зависит в основном от испарения, грунтового питания, зарастаемости водоёма, сбросов сточных вод и других факторов. Чем интенсивней водо-

обмен озера с рекой, тем ближе состав его воды к ионному составу р. Днепр. По мере усиления влияния лиманных вод степень засоления увеличивается. Минерализация водоёмов в дельте р. Днепр изменяется в пределах 250 – 2500 мг/л: при преобладании грунтового питания минерализация максимальная, с повышенным содержанием натрия, калия, сульфатов и хлоридов; в заливах и кутах, имеющих связь с лиманом, доминируют хлориды; в озёрах, имеющих интенсивный обмен с рекой, состав воды аналогичен речному. Диапазоны изменения концентрации главных ионов в этих водных объектах морского устья рек значительные [67]: содержание кальция изменяется в пределах 30 – 70, магния – 10 – 100, гидрокарбонатов – 20 – 630, сульфатов – 15 – 525, хлоридов – 15 – 700, натрия и калия – 0 – 540 мг/л.

Режим минерализации на устьевом участке р. Юж. Буг изучен недостаточно. Немногочисленные данные гидрохимических наблюдений, выполненных на участке г. Новая Одесса – г. Николаев, позволяют лишь приближённо оценить изменчивость суммы главных ионов и ориентировочно характеризовать их сток.

Из всех рек наиболее минерализована вода на устьевом участке р. Юж. Буг, так как в водном режиме значительную роль играет почвенно-грунтовая и грунтовая составляющие стока, вода некоторых притоков имеет повышенную минерализацию. Кроме того, в бассейне этой реки осуществлялось интенсивное поливное земледелие и выпуски коллекторно-дренажных и сбросных вод способствовали увеличению минерализации. По данным различных исследований в нижнем течении р. Юж. Буг наблюдается метаморфизация химического состава бугской воды – по направлению к лиману в процессе смешения речных и лиманных вод гидрокарбонатно-кальциевый тип воды изменяется на хлоридно-натриевый и сульфатно-натриевый. В отдельные сезоны года из-за значительной изменчивости ионного состава типизировать бугскую воду затруднительно. Засоление низовьев р. Юж. Буг, вероятно, обусловлено зарегулированием стока рек, сбросами сточных вод, повышением уровня Чёрного моря.

По сравнению с р. Днепр, для которой характерно примерно одинаковое во все сезоны года соотношение между концентрацией отдельных главных ионов, на устьевом участке р. Юж. Буг наблюдаются не только сезонные изменения минерализации, но и происходит изменение соотношения концентраций отдельных ионов.

Существенная зарегулированность стока р. Днепр обусловливает наименьший, по сравнению с реками Юж. Буг, Ингул и Ингулец, размах концентрации суммы главных ионов (Σu) внутри года. Указанные особенности внутригодового распределения Σu на устьевых участках основных рек показаны на рис. 5.3.

Наиболее выраженный годовой ход имеет минерализация рек Юж. Буг и Ингул. Для р. Ингул максимальная сумма ионов приходится на летне-осеннюю межень, когда сток реки минимальный, осуществляется интенсивный полив садов и сельскохозяйственных угодий, следовательно, в реку поступают коллекторно-дренажные и почвенно-грунтовые воды повышенной минерализации, преобладает грунтовое питание реки и отмечается сильное испарение.

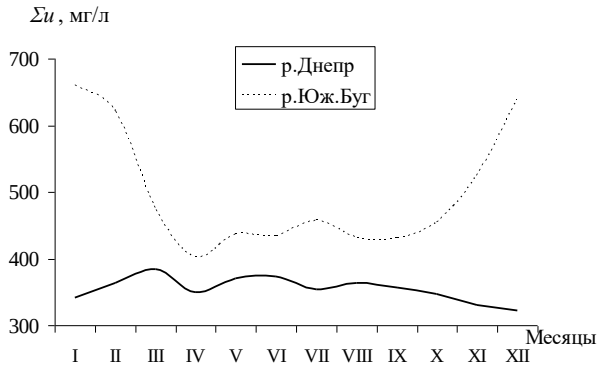


Рис. 5.3. Сезонные изменения суммы главных ионов (Σu, мг/л) в воде устьевых участков рек

Чем меньше сток реки, тем указанные процессы (сбросы, испарение, приток грунтовых вод) могут в бóльшей степени сказываться на минерализации воды. Из рис. 5.2, 5.3 видно, что в период зимней межени, с декабря по февраль, минерализация воды р. Юж. Буг на её устьевом участке имеет наибольшие значения, так как наблюдаются устойчивые ледовые явления, русловые воды в значительной степени разбавляются высокоминерализованными грунтовыми водами. В половодье (март – апрель) отмечается минимальная минерализация, из-за поступления талых и дождевых вод. С мая по октябрь осуществляются равномерные сбросы из бугских водохранилищ, поддерживающие установившийся на низких значениях уровень минерализации. В этот период года минерализация воды небольшая, несмотря на незначительный сток реки, что связано с поступлением накопленных в водохранилищах распреснённых талых и дождевых вод, которые не успевают метаморфизироваться в небольших (по

сравнению с днепровским каскадом) довольно проточных, регулирующих ёмкостях бугских водохранилищ.

Среднее содержание ионов в воде устьевых участков рек Юж. Буг и Ингул, примыкающих к Бугскому лиману, существенно отличается от их концентрации в воде этих рек выше по течению. Например, концентрация кальция в 2 раза больше, чем в реках, магния – в 6 раз, сульфатов – в 7 раз, хлоридов – в 29 раз. В 75 – 95 % случаев содержание основных ионов больше предельно-допустимых значений (за исключением кальция, концентрация которого редко превышает ПДК).

Концентрация ионов кальция, магния и хлоридов в воде р. Юж. Буг значимых тенденций за рассматриваемый период не имеет, а сульфатов – незначительно увеличивается. В отличие от вод впадающих в лиман рек (в которых преобладают гидрокарбонаты и кальций) в районе смешения лиманной воды с водой рек Ингул и Юж. Буг преобладают хлориды и магний.

Синоптическая и суточная изменчивость минерализации воды морского устья рек практически не изучалась. В работе [67] опубликованы результаты исследований ежесуточных изменений концентрации хлоридов в устьевых рукавах р. Днепр в отдельные периоды. Очевидно, что за сутки содержание этого иона в воде может изменяться в 1,5 – 4 раза у г. Херсона и в рук. Бакай (по всей глубине), а у с. Касперовки – в 10 раз (в поверхностном слое) и в 30 раз (у дна).

Глубокое понимание вопросов формирования химического состава речных вод, его трансформации в устьевых областях рек, методов анализа и расчёта отдельных компонентов дано в фундаментальных трудах Воронкова П.П., Алёкина О.А., Бражниковой Л.В., а также Алмазова А.Н., Большакова В.С. и Симонова А.И. [66, 83, 84, 88].

Минеральный состав воды устьевого взморья является результатом взаимодействия разнородных вод устьеобразующих рек и прилегающей части моря. На фоне этого взаимодействия в морском устье рек образуется сложный химический состав вод, зависящий от условий смешения (морфометрии устьевого взморья, ветроволнового режима, динамических процессов) и внутриводоёмных физико-химических и химико-биологических процессов. На устьевом взморье 70 – 90 % ионного состава приходится на ионы натрия

и хлора, поэтому здесь определялась не минерализация, а солёность воды, режим которой рассмотрен в разд. 5.3.

5.2. Сток минеральных веществ

Поступление главных ионов в морское устье рек является важным фактором экологического состояния водной среды, составляющей баланса солей. Зоной формирования минерального состава воды в основном является речной бассейн, в морское устье поступает вода, минерализация которой зависит от фазы водного режима реки.

Устье реки – конечное звено стока минеральных веществ и его можно разделить на три характерные зоны: устьевые участки рек в бóльшую часть года относятся к зоне транзита минеральных веществ с вышерасположенных участков; в дельте р. Днепр происходит их распределение по рукавам; устьевое взморье является зоной преобразования минеральных веществ. Здесь происходит кристаллизация солей, растворение, смешение и другие гидрологические и гидрохимические процессы, приводящие к изменению ионного состава воды (разд. 5.3).

Для оценки стока минеральных веществ использованы данные о стоке рек (разд. 2.1) и концентрации минеральных веществ в отдельных створах (разд. 5.1) и прямой метод расчёта, когда расход (R_u) или сток (W_u) веществ определяется в зависимости от среднего расхода (Q) или стока (W) воды и средней за расчётный период минерализации или суммы главных ионов (Σu) по формулам

$$R_u = Q\,\Sigma u, \tag{5.1}$$

$$W_u = W\,\Sigma u. \tag{5.2}$$

Расчёт стока минеральных веществ за определённый период по формулам (5.1) и (5.2) является ориентировочным. Так как внутригодовые (и межгодовые) изменения Σu и расхода воды р.Днепр незначительные (по сравнению с другими реками), формула (5.2) применялась для оценки средних месячных значений, суммированием которых получен годовой сток минеральных веществ, а затем и средний многолетний. Определение этой же величины путём перемножения осреднённых за весь период составляющих даёт идентичный ре-

зультат, поэтому для р. Днепр средний многолетний сток минеральных веществ можно определять перемножая нормы его составляющих – минерализации и стока. Для рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец из-за недостатка данных сток минеральных веществ рассчитывался аналогично, что снижает качество полученных результатов, так как изменчивость во времени составляющих стока минеральных веществ этих рек значительно больше, чем р. Днепр.

Расчёт по указанным формулам становиться ещё более неточным, если в устьевых водотоках р. Днепр концентрация Σu неодинаковая или распределение концентрации ионов в поперечном сечении потока в гидрометрическом створе неоднородное (например, при поступлении в устьевые водотоки распреснённых вод взморья). В этом случае надо рассчитывать сток минеральных веществ отдельными рукавами или определять прямой, обратный и результирующий перенос ионов, что проблематично из-за недостатка данных. Поэтому сток минеральных веществ рассчитан только для створов в г. Херсон (р. Днепр) и г. Новая Одесса (р. Юж. Буг). Средний месячный и годовой сток минеральных веществ рек Днепр и Юж. Буг, определённый по формуле (5.2) за период с 1976 г. по 2009 г., представлен в табл. 5.3.

Анализ вклада отдельных рек в суммарный сток минеральных веществ в Днепровско-Бугский лиман показал, что основную роль играют реки Днепр и Юж. Буг – вместе они выносят 16,0 – 16,5 млн. тонн минеральных веществ в год, а реки Ингул и Ингулец – около 0,3 и 0,2 млн. тонн в год, соответственно.

Одной из основных составляющих стока растворённых минеральных веществ является сток воды. Об этом свидетельствует анализ изменчивости (рис. 5.4) внутригодового хода расхода воды (Q), стока главных ионов (W_u) и минерализации (Σu). На рис. 5.4 годовой ход стока воды и главных ионов синхронный, максимумы и минимумы этих элементов совпадают по времени их наступления.

По сравнению с данными предшествующих исследований (Алмазов А.М. [83] и др.) сток минеральных веществ рек Днепр и Юж. Буг в современный период увеличился, соответственно, на 11 – 13 и 10 –36 %. Так как значимых тенденций в многолетних изменениях стока воды в вершинах морского устья рек в современный климатический период нет (разд. 2.1), увеличение стока минераль-

ных веществ, по-видимому, обусловлено увеличением их концентрации в водной среде. Зависимостей между стоком воды рек Днепр и Юж. Буг и минерализацией в их нижних створах не обнаружено.

Таблица 5.3

Средний многолетний сток минеральных веществ (тыс. т)

Река	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Днепр	1360	1450	1720	1620	1920	1230	860	757	705	931	1120	1280	15000
Юж. Буг	150	162	256	197	90,9	72,7	90,1	66,6	68,9	99,4	103	136	1490

Анализ внутригодовой изменчивости стока минеральных веществ показал, что их основная масса поступает на устьевое взморье в период повышенной водности рек, даже если минерализация речной воды в это время минимальная. С июня по октябрь сток минеральных веществ на всех реках малоизменчив и в среднем остаётся постоянным, а с ноября – начинает увеличиваться.

Суммарный вынос минеральных веществ в морское устье рек за год в среднем составляет около 16 – 17 млн. т (табл. 5.3); 88 % выноса приходится на реку Днепр, которая играет определяющую роль в поступлении минеральных веществ на устьевое взморье.

Зависимости между стоком минеральных веществ и расходом воды для всех рек тесные, коэффициенты корреляции высокие (табл. 5.4). Используя полученные зависимости средних месячных величин $W_u = f(Q)$, можно рассчитывать средний месячный и годовой сток минеральных веществ при отсутствии данных о минерализации воды, а также применять полученные зависимости для приближённых оценок возможных изменений стока минеральных веществ при изменении водности рек. Приведённые в табл. 5.4 уравнения можно использовать и для восстановления пропусков в наблюдениях.

Существенная зависимость стока минеральных веществ от стока воды делает сравнение абсолютных значений W_u различных рек необъективным, так как, зачастую, независимо от минерализации воды, чем больше сток реки, тем больше W_u. Более обоснованное сравнение можно сделать по относительной величине – показателю или модулю стока минеральных веществ (M_u). Модуль стока минеральных веществ (M_u) рассчитан путём деления их стока (W_u) на площадь

водосбора (F) реки и характеризует сток минеральных веществ с каждого квадратного километра водосборной площади

$$M_u = W_u / F. \qquad (5.3)$$

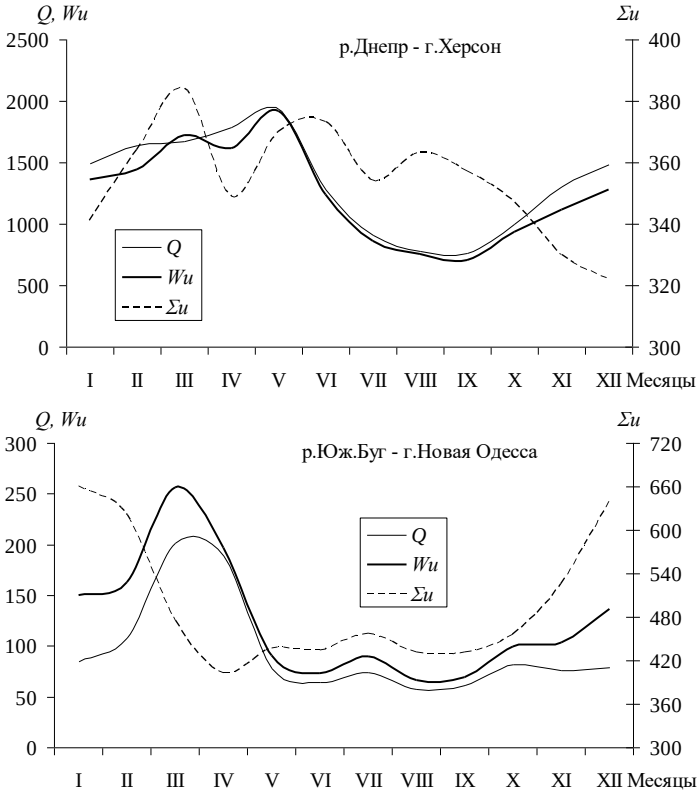


Рис. 5.4. Внутригодовые изменения расхода воды Q (м^3/с), стока минеральных веществ W_u (тыс. т) и минерализации Σu (мг/л) воды рек Днепр и Юж. Буг

В среднем за многолетний период в год с 1 км^2 водосбора в р. Днепр поступает 29,8, а в р. Юж. Буг 23,4 т минеральных веществ. Таким образом, сравнение модулей стока минеральных веществ разных по водоносности рек показывает, что их удельное поступление в воду рек Юж. Буг и Днепр имеет близкие значения, хотя сток воды и

минеральных веществ р. Днепр значительно (более чем на порядок) превышает соответствующий сток р. Юж. Буг (табл. 2.1, 5.3).

Таблица 5.4

Зависимость среднего месячного стока минеральных веществ W_u (тыс. т) от среднего месячного расхода воды Q ($м^3/с$) рек

Река	Зависимость $W_u = f(Q)$	Коэффициент корреляции
Днепр	$W_u = 0{,}95Q - 27{,}5$	$0{,}98 \pm 0{,}005$
Юж. Буг	$W_u = 1{,}12Q + 16{,}4$	$0{,}93 \pm 0{,}03$

С каждого км^2 площади бассейна рек Ингул и Ингулец в устье поступает соответственно 30,3 и 17,5 т/год минеральных веществ. Таким образом, ежегодно на устьевое взморье реками выносится в среднем около 25,3 т/км^2 минеральных веществ, что соответствует среднему европейскому показателю, данным других авторов, например, Алёкина О.А. и Бражниковой Л.В. [88, 110].

Сток отдельных ионов в морское устье рек Днепр и Юж.Буг представлен в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Сток отдельных ионов в морское устье рек Днепр и Юж. Буг

Река	Сток ионов, тыс. тонн в год			
	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Днепр	1485	3063	1865	689
Юж. Буг	181	246	261	137
Ингул	48,5	117	25,3	10,4
Ингулец	10,9	20,3	12,7	4,5
Всего	1725	3446	2165	841

Очевидно, что 96 – 98 % минеральных веществ поступает в лиман с водой рек Днепр и Юж. Буг, поэтому для балансовых расчётов можно пренебречь оценкой стока веществ реками Ингул и Ингулец. В настоящее время по сравнению с более ранними данными (до 1961 г. [83]) сток ионов, за исключением стока кальция, увеличился. Причина таких изменений пока точно не установлена и может быть той же, что указана в разд. 5.1, а может быть связана с изменением дискретности наблюдений и нарушением однородности рядов.

5.3. Солёность воды

Солёность устьевого взморья является основной гидролого-гидрохимической характеристикой режима морских устьев рек. С одной стороны, солёность, как гидрологический фактор, обусловливает плотность воды, следовательно, от неё зависит перемешивание воды, течения, обменные и конвективные процессы. С другой стороны, от солёности воды зависит гидрохимический и гидробиологический режим, биопродуктивность водных объектов, особенности распределения водных организмов, зачастую, весьма восприимчивых даже к её незначительным изменениям.

Солёность воды устьевого взморья зависит от солёности моря, стока рек, динамических процессов, испарения и других факторов, влияющих на баланс солей. Основными из них являются приток речных вод Днепра, Юж. Буга, Ингула и проникновение в этот район более солёных вод из прилегающей северо-западной части Чёрного моря; кроме того, происходит водо- и солеобмен между Днепровским и Бугским лиманами.

Режим солёности морского устья рек Днепр и Юж. Буг исследуется издавна и является наиболее изученным. Первые данные были получены Остроумовым А.А. (1897 г.), Елеонским С.С. (1923 г.), Позняковым А.Г. (1925 г.) и Оводовым Н.В. (1926 г.). Систематические комплексные исследования начаты с 1959 г. Днепро-Бугской устьевой станцией и продолжаются до сих пор Николаевским ЦГМ. Обобщение натурных наблюдений и оценка возможных изменений солёности воды довольно полно представлены в работах Слатинского Ю.Г., Костяницына М.Н., Алмазова А.М., Симова В.Г. [1, 56, 83, 85] и в [91]; анализ закономерностей и балансовые исследования приводятся в работах Журавлёвой Л.А., Алмазова А.М., Копайгородского Е.М., Розенгурта М.Ш. и Симонова А.И. [54, 67, 83, 84, 89]; расчётные методы предложены Мальцевым С.В. в [90] и др.

Большое содержание хлора в воде устьевого взморья рек Днепр и Юж.Буг и достаточно простое определение этого элемента позволяет вычислять солёность воды по относительному содержанию хлор-иона, т.е. хлорности воды. Поэтому в морском устье рек Днепр и Юж.Буг в основном определялась хлорность воды, которая затем, по региональным формулам, пересчитывалась в солёность.

В основу этих формул, полученных разными авторами для расчёта солёности по хлор-иону, положен постулат о непостоянстве соотношения между компонентами солевого состава в морском устье рек при смешении разнородных по химическому составу вод.

Для распреснённых вод морского устья рек Днепр и Юж.Буг разработаны специальные методики определения концентрации минеральных веществ, хлорности и солёности [86, 87].

По методике Друмевой Л.Б. солёность распреснённых вод определялась по электропроводности, измеряемой солемером [86]. Согласно этой методике для морских устьев рек Чёрного моря хлорность воды в точке отбора пробы (Cl) можно рассчитать в зависимости от её электропроводности (R) по уравнению

$$Cl = -0{,}080 + 14{,}421R - 10{,}689R^2, \qquad (5.4)$$

а затем по хлорности рассчитать солёность воды, как

$$S = 0{,}202 + 1{,}759Cl + 0{,}002Cl^2. \qquad (5.5)$$

Непосредственно по электропроводности солёность можно определить по формуле

$$S = -0{,}225 + 29{,}292R + 6{,}554R^2 + 0{,}227R^3 + 0{,}023R^4. \qquad (5.6)$$

Особенности смешения вод рек Юж. Буг и Днепр с лиманными и морскими водами учитываются при расчёте солёности в различных частях Днепровско-Бугского лимана по формулам Алмазова А.М. [83, 87]. Для северной части Бугского лимана солёность воды в точке отбора пробы (S) в промиллях по хлорности (Cl) рассчитывается по формуле

$$S = 1{,}7742Cl + 0{,}452, \qquad (5.7)$$

а для южной части Бугского лимана, устьевого участка р. Днепр и всего Днепровско-Бугского лимана (в том числе для постов в г. Херсон, с. Касперовка, с. Парутино) как

$$S = 1{,}7941Cl + 0{,}252. \quad (5.8)$$

Приведенные формулы (5.4) – (5.8) в некоторой степени учитывают ионный состав речной воды, смешивающейся на устьевом взморье с морской (так как в основе их вывода лежат формулы смешения), но в условиях распреснения они всё же не учитывают влияния сезонных изменений химического состава речных вод на солёность устьевого взморья. По исследованиям Скриптунова Н.А., Алмазова А.М., Симонова А.И. [84, 86] сезонные изменения минерализации речных вод приводят к изменению в соотношениях хлора и солёности в лимане. Разные исследователи считают порогом применимости указанных формул солёность воды 1 – 4 ‰.

Определение солёности устьевого взморья выполняется ежедневно на стационарных постах Гидрометеослужбы Украины в поверхностном слое воды у берега и эпизодически – в период гидролого-гидрохимических съёмок, разрезов и многосуточных наблюдений на отдельных станциях в открытых акваториях (разд. 1.6). Для детализации режима солёности использованы также специальные учащённые наблюдения.

5.3.1. Временная изменчивость солёности воды

Различные факторы, формирующие солёность воды устьевого взморья, изменяются в широком диапазоне – от секунд до веков, тем самым, обусловливая изменчивость солёности воды в каждой точке устьевого взморья во времени. Выделяют суточные, синоптические, сезонные и многолетние колебания солёности воды, остальные диапазоны изменчивости остаются малоизученными.

Многолетние изменения солёности воды вызваны глобальными климатическими факторами: изменением количества осадков, выпадающих на сушу и море, испарения, стока рек, ветрового режима, минерального состава воды рек. Антропогенные изменения стока рек, его переброски, централизация ливневых и канализационных стоков, увеличение объёма сбросных, коллекторно-дренажных и других вод, поступающих в реки и на устьевые взморья, также могут приводить к изменениям средних годовых значений солёности воды, определяя тенденции её многолетнего хода.

Средняя многолетняя солёность поверхностного слоя (0 – 0,5 м) воды по измерениям на водпостах Днепровско-Бугского лимана [46] составляет 0,5 – 4,1 ‰ (табл. 5.6), а в среднем по лиману – около 2,6 ‰. Эта величина на 14,1 ‰ меньше средней годовой солёности поверхности воды северо-западной части Чёрного моря [43]. *СКО* средней годовой солёности воды в морском устье рек изменяется в пределах 0,01 (г. Херсон) – 0,92 ‰ (г. Очаков), коэффициент вариации – от 0,04 (г. Херсон) до 0,27 (с. Касперовка).

Ошибки средней величины не превышают 10 %, следовательно, полученные средние значения солёности можно считать близкими к норме.

Наибольшая изменчивость средней годовой солёности поверхностного слоя воды характерна для граничных районов Днепровско-Бугского лимана, т.е. в г. Очакове, г. Николаеве и с. Касперовка (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Основные статистические характеристики средней годовой солёности воды морского устья рек Днепр и Юж. Буг

Характеристика	Пункт наблюдений				
	Николаев	Парутино	Очаков	Херсон	Касперовка
Средняя годовая солёность воды , ‰	2,36	3,37	4,13	0,33	0,48
СКО, ‰	0,67	0,57	0,92	0,01	0,13
Наибольшая солёность воды, ‰	3,81	5,12	6,72	0,36	0,92
Наименьшая солёность воды, ‰	1,07	2,22	2,50	0,31	0,35
Размах солёности, ‰	2,74	2,90	4,22	0,05	0,57
Коэффициент вариации, C_v	0,26	0,17	0,22	0,04	0,27
Ошибка среднего значения, %	4,9	3,1	3,3	0,8	4,6

Солёность воды, определяемая на водомерных постах у берега, характеризует содержание растворённых минеральных веществ в

поверхностном слое воды на прибрежных участках устьевого взморья.

Для практических расчётов солёности в открытой части акватории установлены физико-статистические зависимости, связывающие данные прибрежных и глубоководных наблюдений. Например, среднюю годовую солёность воды в северной части Бугского лимана можно рассчитывать по данным стационарных наблюдений на водпосту в г. Николаеве по зависимости

$$S_{лим} = 1{,}572 S_{Ник.} + 0{,}936, \qquad (5.9)$$

где $S_{лим.}$ – осреднённая по глубине средняя годовая солёность воды в северной части Бугского лимана; $S_{Ник.}$ – средняя годовая солёность воды в г. Николаеве. Уравнение (5.9) имеет коэффициент корреляции $0{,}77 \pm 0{,}02$; он свидетельствует о синхронности многолетних изменений солёности воды в глубоководной части Бугского лимана и у берега, что подтверждает рис. 5.5. Полученная зависимость позволяет восстанавливать осреднённые по глубине средние годовые значения солёности в Бугском лимане ($S_{лим.}$) по эквидистантным прибрежным наблюдениям на водпосту в г. Николаеве ($S_{Ник.}$).

В литературных источниках нет единого мнения о многолетних тенденциях в изменении солёности воды рассматриваемого устьевого взморья. Например, одни авторы считают, что после зарегулирования стока рек происходит осолонение Днепровско-Бугского лимана (Самбуренко И.В., Жукинский В.Н., Журавлёва Л.А., Симов В.Г. [22, 67, 85] и др.), другие отмечают общие тенденции рассолонения Чёрного моря (Альтман Э.Н. [45] и др.) и лимана [91] или полагают, что солёность Днепровско-Бугского лимана стабилизировалась (Копайгородский Е.М. [54], Алмазов А.М. [83]).

Анализ рассматриваемых рядов наблюдений за солёностью воды на наличие тренда, как и других характеристик режима, осуществлялся с помощью критерия Фишера. Тренды считались значимыми, если «нуль-гипотеза» (отсутствие тенденций) для углового коэффициента аппроксимирующей зависимости отвергалась на 95 %-ном уровне значимости (т.е. вероятность тренда была равна не менее 95 %).

За период с 1976 г. по 2009 г. значимых тенденций в изменении средней годовой солёности воды на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг не обнаружено (рис. 5.5), что не согласуется с мнением авторов, прогнозировавших устойчивое засоление или распреснение лимана, и является подтверждением выводов, полученных Копайгородским Е.М. и Алмазовым А.М. в работах [54, 83]. Следовательно, режим солёности воды Днепровско-Бугского лимана в современный период стабилизировался, для многолетней изменчивости этой характеристики типичны естественно-обусловленные многолетние колебания с периодами 3 – 4 года, 6 – 7, 11 – 12 и 18 – 20 лет. Фрагмент, представленный на рис. 5.5, аналогичен многолетнему изменению средней годовой солёности воды Днепровско-Бугского лимана в целом.

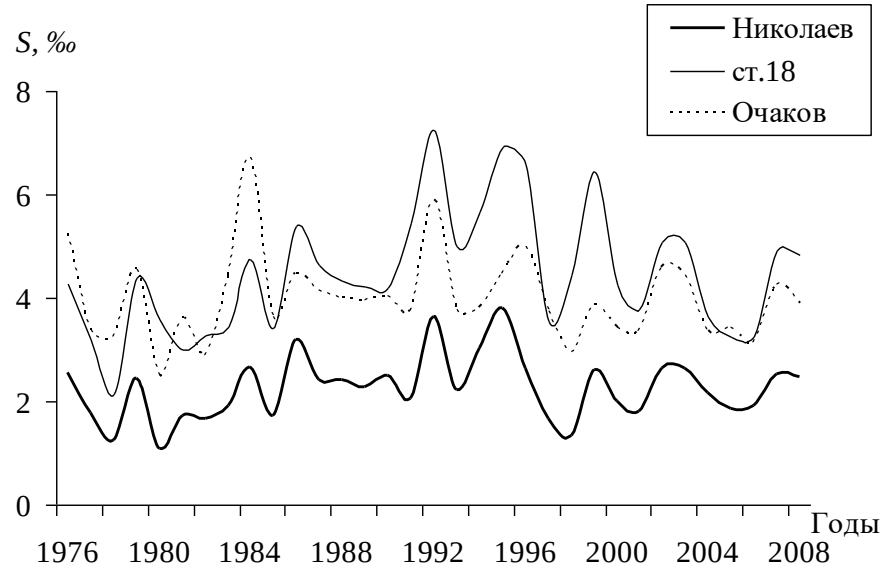


Рис. 5.5. Фрагмент многолетних изменений средней годовой солёности поверхностного слоя воды в городах Николаеве, Очакове и средней по глубине солёности в северной части Бугского лимана (ст. 18)

Сезонные изменения солёности воды. Внутригодовые изменения солёности воды видны из табл. 5.7 и рис. 5.6. Очевидно, что ос-

новными факторами изменчивости средней месячной солёности воды является сток рек, испарение и ветровое перемешивание: на всех постах максимальная солёность воды отмечается в период межени, когда сток рек минимален, ветровая активность незначительная, а температура воздуха (следовательно, и испарение) имеет наибольшее значение.

Анализ наблюдений за солёностью воды показал, что внутригодовое перераспределение стока воды рек в результате его регулирования водохранилищами, привело к увеличению стока межени (когда солёность лимана максимальная), и это способствовало не осолонению, а наоборот, некоторому уменьшению средней месячной и годовой солёности воды. Некоторое (незначимое) увеличение во времени солёности воды в межень отмечается в северной части Бугского лимана, что, вероятно, связано с затруднённым водообменом между лиманами (из-за увеличившегося подпора днепровских вод, строительства молов и других сооружений) и между Бугским лиманом и р. Юж. Буг (из-за сооружения моста, перекрывшего дамбой в районе г.Николаева 2/3 русла), а также возросшего водозабора из рек Юж. Буг и Ингул. Увеличение сбросов оросительных систем, других выпусков пресных вод способствовало некоторому распреснению прибрежных вод.

Таблица 5.7

Средняя месячная солёность поверхностного слоя воды, ‰

Пункт наблюдений	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Николаев	1,2	1,0	1,2	1,3	1,7	2,5	3,2	4,7	4,5	2,8	2,4	1,9
Парутино	2,3	2,1	2,5	2,6	2,6	3,1	3,9	4,8	5,4	4,7	3,7	2,8
Очаков	3,4	3,0	3,2	3,5	3,2	3,6	4,5	5,7	6,3	5,3	4,3	3,4
Херсон	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Касперовка	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5

Как видно из табл. 5.7 и рис. 5.6, годовой ход солёности поверхностного слоя воды в лимане отчётливо выражен.

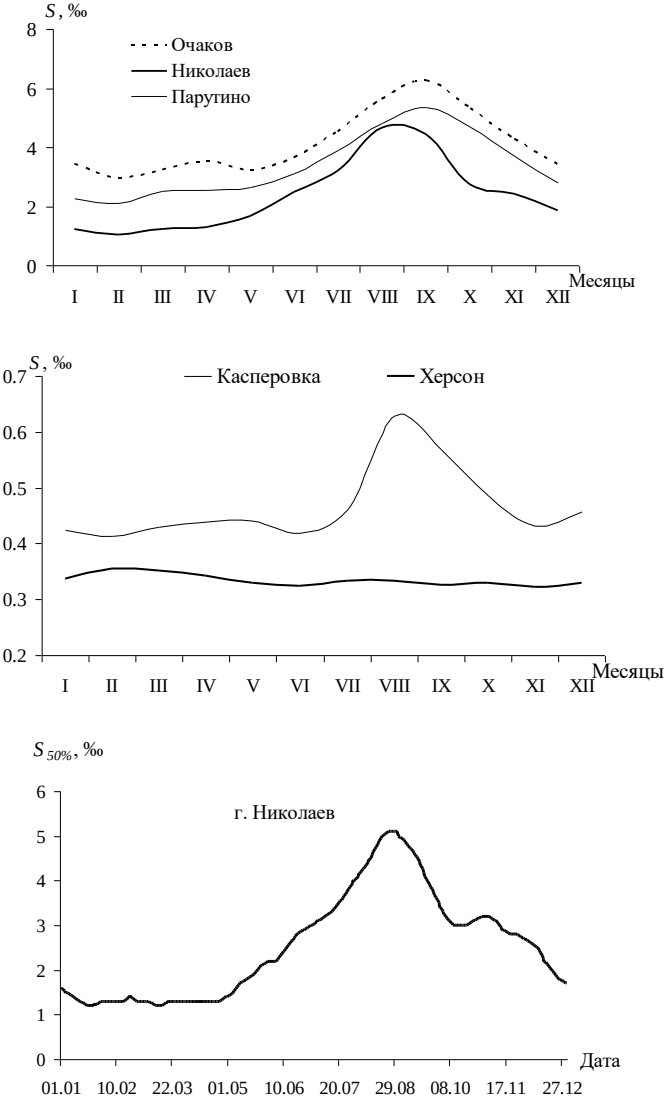


Рис. 5.6. Средняя месячная солёность поверхностного слоя воды (*S*, ‰) и солёность воды в районе г. Николаева 50 %-ной обеспеченности ($S_{50\%}$, ‰)

В рукавах р. Днепр (в районе г. Херсон) солёность практически не изменяется, так как здесь преобладает речная вода. В с. Касперовка, также как и на постах в Днепровско-Бугском лимане, наибольшее распреснение поверхностных вод бывает зимой, в феврале, в период ледовых явлений, которые препятствуют ветровому перемешиванию водной массы.

Пресная вода подо льдом распространяется на большие расстояния, при этом толщина распреснённого слоя больше, чем в безлёдный период [93, 80]. Таяние льда также способствует распреснению подлёдного слоя воды. К тому же, в феврале сток рек Юж. Буг и Днепр начинает повышаться (из-за подготовки водохранилищ к паводку), увеличивается повторяемость сгонных ветров.

Наибольшая солёность воды бывает в августе и сентябре (табл. 5.7), когда сток рек и средняя скорость ветра минимальные (табл. 2.2, 1.7), продолжительность штилей максимальная, небольшая повторяемость восточных (сгонных) ветров (табл.1.8), большое испарение и незначительное количество осадков.

На рис. 5.6 показана функция распределения солёности поверхностного слоя воды у г. Николаева, дающая представление о возможных ежедневных значениях солёности, обеспеченностью 50 %. Более подробные сведения о значениях солёности в этом районе взморья различной обеспеченности представлены в работе [7].

По осреднённому годовому ходу солёности воды (рис. 5.6) получены даты перехода солёности поверхностного слоя воды на водпосту в г. Николаеве через значения, кратные 1 ‰. Результаты расчётов, имеющие практическое значение, представлены в табл. 5.8. По ним можно судить о продолжительности осолонения северного района Бугского лимана и устьевого участка р. Юж. Буг.

Из табл. 5.8 видно, что период, когда средняя солёность меньше 2 ‰, продолжается 176 суток, а больше 4 ‰ – 46 суток. Довольно продолжительное (с декабря по май) распреснение поверхностного слоя воды северной части Бугского лимана объясняется тем, что в этот период сбросы из водохранилищ больше, чем в межень; зимой акватория покрыта ледяным покровом, что способствует уменьшению солёности. С уменьшением стока рек в конце мая (р. Юж. Буг) – июне (р. Днепр) начинается интенсивное осолонение, достигающее в середине августа наибольшей величины (в среднем до 4,43 ‰), а

затем происходит такое же быстрое уменьшение солёности, вследствие увеличения стока рек Днепр и Юж. Буг.

Изменчивость средней месячной солёности поверхностного слоя воды характеризует *СКО* и C_v (рис. 5.7). На рис. 5.7 показаны значения C_v для стационарных пунктов наблюдений

Таблица 5.8

Средние даты перехода солёности поверхностного слоя воды Бугского лимана в районе г. Николаева через определенные значения

Соленость, ‰	> 2	> 3	> 4	< 4	< 3	< 2
Даты перехода	30.05	12.07	06.08	21.09	10.10	05.12

Наибольшая внутригодовая изменчивость солёности воды характерна для границы раздела речных и лиманных вод (с. Касперовка). У нижней границы дельты р. Днепр уменьшение речного стока вызывает поступление лиманных вод в рукава, которое, однако, редко распространяется выше с. Днепровское. Чем больше превалирует один фактор в формировании солёности и меньше его изменчивость, тем менее изменчиво во времени среднее месячное значение солёности воды. Наименьший C_v характерен для устьевого участка р. Днепр, где вода практически пресная, и открытой части устьевого взморья, куда поступает уже довольно перемешанная лиманная вода. На границах Днепровского лимана (с. Касперовка, г. Очаков) влияние на режим солёности оказывают несколько факторов, основными из которых являются сток р. Днепр, водо- и солеобмен с прилегающей северо-западной частью Чёрного моря.

С марта по май, в период повышенной водоносности р.Днепр наблюдается наибольшая изменчивость средней месячной солёности воды. В это время коэффициент вариации имеет максимальное значение – 0,72. В межень изменчивость средней месячной солёности воды наименьшая.

Размах средней месячной солёности воды у берега на устьевом взморье значительно больше, чем в море: минимальное среднее месячное значение равно 0,3 ‰ (большая часть лимана), а максимальное – 12,5 ‰ (западная часть лимана) и 18,5 ‰ (открытая часть устьевого взморья). Мелководные акватории лимана в условиях сла-

бой проточности и повышенного испарения могут иметь бо̀льшую солёность, чем в море, а проточные стрежневые участки в период половодья иногда распресняются до уровня речной воды.

Внутрисезонная изменчивость солёности воды обусловлена не только стоком реки, но и деятельностью ветра. При нагонном ветре формируется обратный поток, направленный к реке, солёность поверхностного слоя воды увеличивается; в придонном слое развивают-

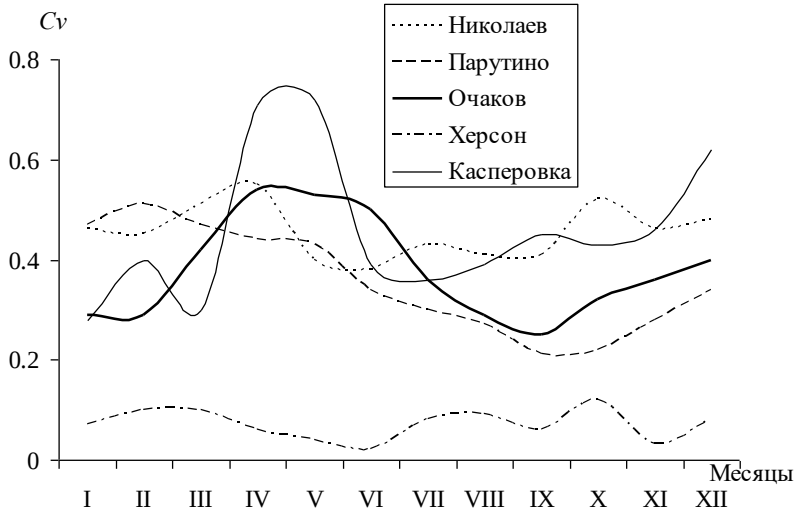


Рис. 5.7. Внутригодовая изменчивость C_v средней месячной солёности поверхностного слоя воды

ся противотечения и солёность может уменьшаться, так как более плотные и солёные придонные воды перемещаются к морю. При сгоне – ситуация обратная. Происходит распреснение поверхностного слоя воды устьевого взморья, иногда распространяющееся на значительные расстояния, солёность воды уменьшается; поступающая в придонном слое более солёная и плотная вода способствует повышению солёности у дна. Внутрисезонные колебания солёности воды могут достигать 2 – 10 ‰ в зависимости от фазы водного режима, гидрометеорологических условий, горизонта наблюдений.

Краткосрочная изменчивость солёности воды. Солёность воды на устьевом взморье за сутки и даже несколько часов может су-

щественно изменяться: диапазон срочных значений этой характеристики режима по данным наблюдений на постах – от менее 1,0 до 23 ‰. Суточный ход солёности в зависимости от конкретных гидрометеорологических условий достигает максимальных значений, порядка 5 – 10 ‰, минимальных – 0,2 – 0,5 ‰.

В течение суток под действием различных факторов происходит вертикальное и горизонтальное перемещение водных масс разного солевого состава, поэтому экстремумы солёности, как в отдельных частях морского устья, так и в одном пункте наблюдений на различных горизонтах, могут фиксироваться не одновременно.

Осреднённый за многолетний период суточный ход солёности воды поверхностного и придонного слоёв в Кинбурнском проливе, на глубоководной станции 11, показан на рис. 5.8 (а) совместно с изменениями уровня воды в пунктах Очаков и Николаев (б).

Совместный анализ суточного хода солёности и уровня воды (рис. 5.8а, б) хорошо иллюстрирует согласованность внутрисуточных изменений этих характеристик. Это связано с тем, что, в отличие от сезонных колебаний солёности, которые вызваны изменчивостью расхода воды рек и образованием (таянием) ледяного покрова, суточный ход солёности в бóльшей степени зависит от адвекции морской воды, причиной которой являются внутрисуточные волновые колебания уровня, сбросы ГЭС, собственные колебания Чёрного моря, его заливов, лиманов и бухт (разд. 2.2, 2.3), плотностные и другие течения. Таким образом, важную роль в краткосрочных колебаниях солёности воды лимана играют течения, которые имеют суточный и сезонный масштаб изменчивости, а также ветровое перемешивание, конвекция и другие сложные динамические процессы.

Из рис. 5.8 видно, что ночью, когда преобладает поток из лимана в море, солёность воды достигает минимума (обычно к 3-м часам), а к 9 – 10 часам уровень воды в лимане имеет минимальные значения. Это вызывает приток в лиман более солёных и плотных вод в придонном слое, поэтому солёность у дна достигает максимальных значений. При этом в поверхностном слое солёность воды остаётся минимальной, так как здесь продолжает превалировать прямой поток. Около 11– 12 часов происходит смена потока на обратный, уровень воды к 15 – 18 часам достигает максимальных величин, так как в лиман поступает вода из мористых районов открытой части взморья,

солёность поверхностного слоя увеличивается к 18 – 21 час до максимума. В придонном слое формируются противотечения и солёность у дна начинает уменьшаться. В Бугском лимане эти процессы развиваются с некоторым опозданием, однако, чаще всего максимальная солёность наблюдается в 21 час, а минимальная – в 9 часов. Суточный ход солёности в г. Николаеве обычно аналогичен ходу уровня. Иногда сгонно-нагонные явления и сейши нарушают эту закономерность, и тогда максимальная солёность в г. Николаеве отмечается в другие сроки, чаще всего в 15 часов.

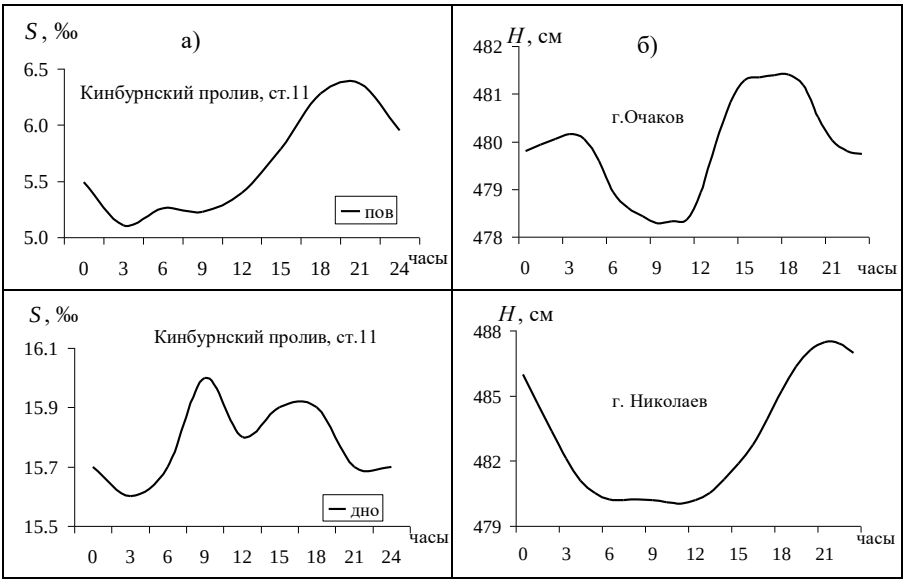


Рис. 5.8. Суточный ход солёности (*а*) и уровня воды (*б*)

Стоковая составляющая уровня воды в лимане в суточном диапазоне изменчивости остаётся в среднем приблизительно постоянной, суточный размах уровня в лимане в среднем не превышает 5 см; влияние речного стока на уровень воды устьевого взморья менее значительное (разд. 2.2), чем в водотоках, так как волны попусков ниже г. Херсона «распластываются» и не вызывают резкого изменения уровня и течений в лимане. Однако увеличение сбросов из водохранилищ (особенно с 13 до 22 час.) активизирует прямой поток в

Днепровском лимане, преобладающий ночью и утром, а их уменьшение – способствует обратному потоку. Поэтому, очевидно, средний суточный размах солёности воды, равный 0,2 – 0,5 ‰ в придонном и 1,0 – 1,5 ‰ в поверхностном слоях, обусловлен водообменом через Кинбурнский пролив и стоком р. Днепр и характеризует суточную изменчивость солёности воды при средних гидрометеорологических условиях. Таким образом, подъём уровня воды на устьевом взморье соответствует обратной положительной волне (волне наполнения) – солёная морская вода поступает на устьевое взморье и его солёность повышается, спад уровня соответствует смещению воды из лимана в море (прямая отрицательная волна) и притоку на её место более пресной воды. Такая циркуляция водной массы в лимане способствует её перемешиванию и является основной причиной суточного хода солёности.

Преобладает полусуточная цикличность в изменении солёности воды (рис. 5.8, 5.9), которая иногда уменьшается до 6 часов или увеличивается до суточного диапазона.

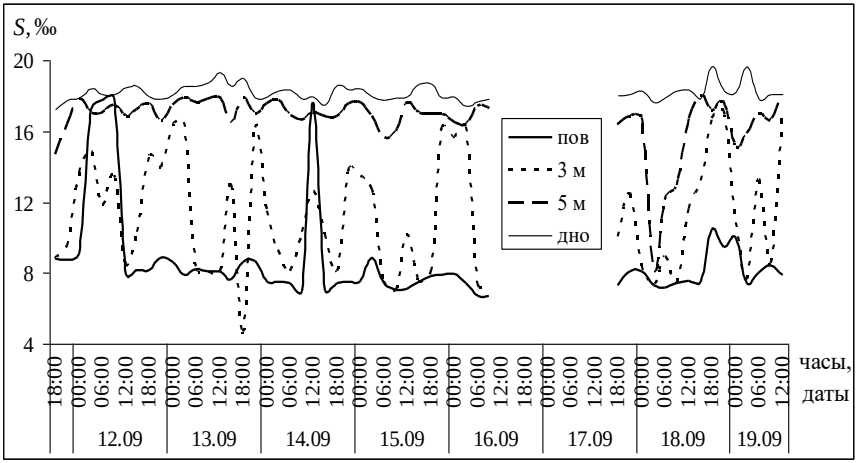


Рис. 5.9. Фрагмент краткосрочных изменений солёности воды в 1975 г. на многосуточной станции № 11 в Кинбурнском проливе

Наибольшие суточные колебания солёности проявляются в верхнем 3-х метровом слое воды (рис. 5.9). Очевидно, это связано с

тем, что у дна всегда преобладает осолонённая вода, перемещающаяся вдоль канала (в прямом или обратном направлении), а в поверхностном слое происходит смена прямого, более пресного потока, обратным, с солёностью, во много раз превышающей фоновую. Краткосрочному изменению солёности способствует также ветроволновая активность. Так, отмечались случаи, когда типичная двухслойная устьевая циркуляция не развивалась, солёность воды распределялась по глубине довольно однородно и размах суточного хода уменьшался, что явилось результатом хорошего перемешивания.

Действие нагонных ветров, особенно устойчивых, способствует существенному увеличению солёности воды (рис. 5.9) в отдельные сроки. Например, в 9 час 12.09.1975 г. или в 12 час 14.09.1975 г. нагонный ветер вызвал резкое перемещение солёной воды в лиман и солёность воды в его западной части увеличилась до 18 ‰ (по всей глубине). При сгонно-нагонных явлениях размах солёности превышает её суточный ход и может достигать 10 – 15 ‰. В рассматриваемом примере (рис. 5.9) наиболее резкие краткосрочные изменения солёности были вызваны быстрым изменением направления горизонтального переноса на различных глубинах и вертикальными движениями воды в канале, о чём свидетельствует неустойчивое вертикальное распределение плотности воды, когда солёность нижележащего 3-х метрового слоя была меньше поверхностного на 3 – 7 ‰.

Средняя интенсивность изменения солёности поверхностного слоя воды в Днепровско-Бугском лимане в различное время суток составляет 0,03 – 0,2 ‰/час, максимальная – 1,5 – 5,0 ‰/час.

5.3.2. Пространственная изменчивость солёности воды

Для морского устья рек Днепр и Юж. Буг характерна пространственная неоднородность в распределении солёности воды, в основном из-за наличия судоходного канала, по которому распространяется морская вода. На устьевом взморье отмечаются наибольшие по всей устьевой области вертикальные и горизонтальные градиенты всех характеристик, в том числе и солёности воды, так как здесь происходит смешение речных и морских вод. Для горизонтального

распределения солёности типичным является её увеличение по направлению к морю, а для вертикального – увеличение с глубиной.

Однако сложные динамические процессы и значительное испарение с мелководий лимана иногда нарушают указанные закономерности.

Распределение солёности воды в Днепровско-Бугском лимане. Поля солёности по сезонам и отдельным съёмкам широко представлены в литературе [1, 54, 56, 67, 83, 91 и др.], в то же время отсутствует климатическое распределение этой характеристики. Особенности распределения средней за многолетний период солёности воды по акватории Днепровско-Бугского получены на основе анализа 50090 наблюдений с 1975 г. по 2009 г. и показаны на рис. 5.10.

Глубоководный судоходный канал существенно влияет на распределение этого ингредиента – в придонном слое поле солёности имеет клиновидную форму. Изогалина 5 ‰ в районе Кинбурнского пролива расположена в поверхностном слое и, постепенно заглубляясь, выклинивается в придонном слое (на глубинах 6 – 8 м) у нижней границы дельты р. Днепр и устьевого участка р. Юж. Буг.

Солёность воды в Бугском лимане обычно больше, чем в Днепровском, так как проточность Бугского лимана меньше проточности Днепровского лимана из-за малого стока р. Юж. Буг и подпора водами, заполняющими Днепровский лиман. Кроме того, осолонению Бугского лимана способствует глубоководность его центральной части и сужение акватории на границе между южной и центральной частями лимана. Способствует обратным (компенсационным) течениям у дна преобладание сгонов. Анализ режимов уровня и течений (разд. 2.2, 2.3) подтверждает эти выводы.

Повышенной солёности Бугского лимана благоприятствуют и другие факторы. В Бугском лимане судоходный канал занимает около 7 % его объёма, а в Днепровском – 1,5 %. Соотношение между объёмом Бугского лимана и объёмом осолонённых вод, заполняющих судоходный канал, на порядок меньше аналогичного соотношения для Днепровского лимана, объём которого значительно больше Бугского. Поэтому при равных условиях перемешивания вод по вертикали, осолонение узкого Бугского лимана больше Днепровского, к тому же, из-за небольшой величины стока р. Юж. Буг его распресняющее влияние незначительное. Увеличивает осолонение

Бугского лимана и значительное испарение, так как его акватория глубоко вдаётся в сушу, что усиливает континентальность климата (разд. 1.7).

Бóльшая часть поверхностного слоя Днепровско-Бугского лимана распресняется днепровской водой. Практически пресная вода при средних гидрометеорологических условиях занимает всю восточную часть Днепровского лимана, исключая глубоководный канал судового хода. Для водной массы характерна двухслойность.

Средняя многолетняя солёность воды Днепровско-Бугского лимана, определённая приближённо, как средняя арифметическая величина, по данным натурных наблюдений за 1975 г. – 2009 г. составляет 6,0 ‰. Наибольшее осолонение лимана отмечалось в 1984 г. (7,9 ‰), наименьшее – в 1978 г. (3,5 ‰). Средний за многолетний период размах солёности по пространству составляет 10 ‰.

Более точные результаты даёт послойное определение солёности лимана, как средней взвешенной по пространству величины. При этом целесообразно разграничивать лиман не только по районам (рис. 1.3, разд. 1.1), но и по глубине, выделяя сильно отличающиеся по солёности (и другим характеристикам) слои.

Средняя годовая солёность верхнего слоя воды Днепровско-Бугского лимана толщиною 5,5 м (подверженного ветровому и пр. перемешиванию), полученная указанным способом, составляет 3,9 ‰, а средняя солёность слоя проникающей вдоль судоходного канала воды – 11,4 ‰. В слое перемешивания открытой части устьевого взморья средняя взвешенная солёность воды равна 11,6 ‰, глубже 5,6 м – 16,3 ‰.

Следует иметь в виду, что солёность воды на устьевом взморье в зимний период не определялась, поэтому величина солёности слоя перемешивания является несколько завышенной, а в придонном слое воды солёность близка к указанной.

Величина завышения средней годовой солёности воды из-за недоучёта её значений в зимний период зависит от стока рек, как основного фактора подлёдного распреснения воды, и устойчивости ледяного покрова. Поэтому в различных районах устьевого взморья ошибка при определении средней годовой солёности воды неодинаковая, её величина завышена на 3 – 15 %, а в среднем по лиману – на 10 %.

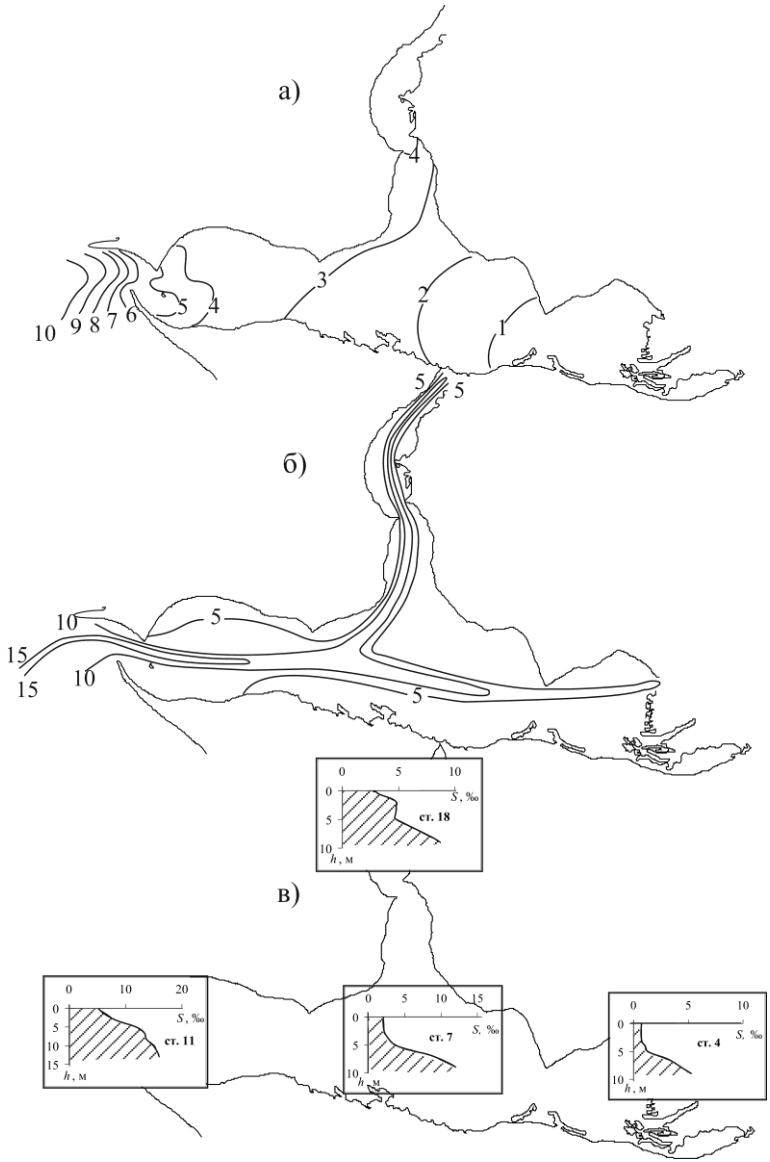


Рис. 5.10. Среднее многолетнее распределение солёности воды в поверхностном (*а*) и придонном (*б*) слоях, а также по глубине Днепровско-Бугского лимана (в)

Следовательно, средняя годовая солёность верхнего 5-ти метрового слоя воды Днепровско-Бугского лимана составляет 3,5 ‰, открытой части устьевого взморья – 11,2 ‰. По данным разных авторов, использовавших неодинаковые методы определения средней солёности лиманных вод, указываются её значения в пределах 3,7 – 5,3 ‰.

Средняя годовая солёность воды отдельных районов устьевого взморья рассчитывалась так же, как и для всего лимана, послойно, с учётом средних объёмов разнородных водных масс. Результаты представлены в табл. 5.9.

Распределение солёности воды в Днепровско-Бугском лимане, представленное на рис. 5.10, типично для средних климатических условий.

Таблица 5.9

Средняя годовая солёность воды устьевого взморья рек Днепр и Юж. Буг

Район устьевого взморья согласно рис.1.3	Средняя солёность между горизонтами	
	поверхность – 5,5 м	5,6 м – дно
восточный ($3а_1$)	1,0	6,0
центральный ($3а_2$)	2,5	11,0
бугский (3б)	3,5	10,5
западный ($3а_3$)	5,1	14,3
Днепровско-Бугский лиман (3а, 3б)	3,5	11,4
открытая часть взморья (3в)	11,2	16,3

Отдельные съёмки от приводимых схем могут существенно отличаться, так как при сгонах и повышенном стоке рек происходит распреснение, а при нагонах и в межень – осолонение лимана. Кроме того, в лимане развиваются сложные динамические процессы, связанные с горизонтальными и вертикальными перемещениями воды, приводящие к резкому изменению её солёности. Поэтому диапазон пространственной изменчивости локальной солёности воды устьевого взморья значительный: по данным натурных наблюдений у поверхности эта характеристика изменялась от 0,1 ‰ до 17,2 ‰, в придонном слое – от 0,1 ‰ до 22,6 ‰.

Вертикальное распределение солёности воды. Изменчивость солёности воды по глубине существенна, в морском устье рек Днепр и Юж. Буг вертикальные градиенты солёности имеют наибольшие значения в Азово-Черноморском бассейне.

В различных частях устьевого взморья осреднённые за многолетний период эпюры солёности обладают характерными особенностями (рис. 5.10, в), однако, общим является наличие резкого увеличения солёности на глубине 5 – 6 м и разница между солёностью поверхностного и придонного слоёв в 2 – 5 раз.

Эпюры солёности воды в различных частях морского устья, в разные сезоны года, а также при сгонах и нагонах, отличаются не только размахом, градиентами, но и характером аппроксимирующих функций и обусловлены эти отличия глубиной, преобладанием различных факторов формирования гидрологического режима, конкретной гидрометеорологической ситуацией. Сезонные изменения вертикального распределения солёности воды, характерные для устьевого взморья, показаны в работе [7].

Таблица 5.10

Средний многолетний вертикальный градиент солёности воды, ‰ на 1 м

Район устьевого взморья согласно рис.1.3	Средний градиент солёности в слое	
	поверхность – 5,5 м	5,6 м – дно
нижний дельтовый (2в)	0,04 – 0,1	0,01 – 1,0
днепровский восточный ($3а_1$)	0,1 – 0,2	1,0 – 1,8
днепровский центральный ($3а_2$)	0,2 – 0,5	1,5 – 2,1
днепровский западный ($3а_3$)	1,1 – 1,3	0,9 – 1,0
бугский северный ($3б_1$)	0,1 – 0,4	1,0 – 1,6
бугский центральный ($3б_2$)	0,1 – 0,2	1,3 – 1,6
бугский южный ($3б_3$)	0,2 – 0,3	1,3 – 1,6
Сакенский пролив (3г)	0,3	1,6
Кинбурнский пролив (3д)	1,4	0,5
северо-восточная часть морского района (3в, $3в_1$)	1,7	0,3
открытая часть взморья (3в)	1,2	0,2 – 0,3

Наибольший размах солёности воды между поверхностным и придонным горизонтами (около 10 ‰ и более) отмечается в запад-

ном районе Днепровско-Бугского лимана, наименьший – на мелководных станциях, расположенных в восточном и центральном районах лимана, удалённых от судоходного канала на максимальное расстояние. Вертикальные градиенты солёности на станциях в канале и вблизи него могут достигать от 5 до 10 ‰ на 1 м.

Изменчивость средних вертикальных градиентов солёности воды в различных районах морского устья неодинакова по глубине (табл. 5.10). В районе 2в (рис. 1.3, разд. 1.1) вода хорошо перемешана, поэтому средний вертикальный градиент составляет 0,004 – 0,01 ‰ на 1 м. В других районах солёность воды изменяется неравномерно: в верхнем пятиметровом слое из-за ветрового перемешивания эта характеристика малоизменчива (вертикальные градиенты имеют значения 0,1 – 0,3 ‰ на 1 м), а на глубоководных станциях, особенно в судоходном канале, солёность воды в среднем изменяется в пределах 1 – 2 ‰ на 1 м.

Из табл. 5.9 и 5.10 видно, что чем больше солёность воды, тем больше средний многолетний вертикальный градиент солёности в верхнем слое и меньше в нижнем, и обратная картина наблюдается в районах, подверженных наибольшему распреснению.

В западном районе Днепровского лимана и в открытой части устьевого взморья обычно формируется зона фронтального раздела, причём, наибольшее сгущение изогалин здесь отмечается в верхнем пятиметровом слое воды, ниже располагается более плотная, солёная и однородная водная масса (разд. 5.4). Поэтому вертикальные градиенты солёности уменьшаются с глубиной.

В лимане же (кроме района, прилегающего к Кинбурнскому проливу) фронтальный раздел заглубляется (разд. 5.4) ниже слоя перемешивания, которому здесь способствует не только ветер, но и стоковые течения, поэтому в бóльшей части акватории Днепровско-Бугского лимана вертикальные градиенты солёности с глубиной увеличиваются.

Интенсивное осолонение придонных вод (как и поверхностных) происходит в августе, причём высокие значения солёности воды у дна свидетельствуют о возможности проникновения в лиман практически не трансформированной воды северо-западной части Чёрного моря. Увеличение солёности водной массы лимана летом является следствием уменьшения речного стока, с одной стороны, рас-

пресняющего лиманные воды, а с другой, блокирующего проникновение солёных вод вглубь лимана. Незначительное ветровое перемешивание в период межени способствует сохранению двухслойной структуры вод, максимальной в году вертикальной неоднородности, устойчивой плотностной стратификации, формированию наибольших вертикальных градиентов, вплоть до слоя скачка плотности, солёности и температуры.

В условиях хорошего ветрового перемешивания или при повышенном стоке рек, эпюры распределения солёности более сглажены, контрастность вод меньше, вертикальные градиенты солёности минимальные.

Динамические процессы (нагоны, ветровое перемешивание) способствуют выравниванию солёности по глубине. При маловетрии и штиле более солёные воды располагаются в придонном слое, а поверхностный слой распресняется. А так как вертикальный градиент солёности в августе сопоставим с размахом её годового хода, то обусловленная синоптическими процессами изменчивость солёности воды на станциях в лимане сопоставима со среднемноголетним сезонным ходом и значительно превосходит межгодовую изменчивость, характеризующуюся сезонным ходом C_v среднемесячных величин. Анализ пространственного распределения коэффициента вариации (C_v) солёности воды на глубоководных станциях в лимане показал, что изменчивость этой характеристики уменьшается с глубиной и по направлению от НГД к морю. Также по направлению к морю уменьшается и степень стратификации водной массы (разд. 5.4, разд. 9.1), увеличивается перемешивание разнородных вод, возрастает плотность. Наибольшая временная изменчивость солёности отмечается в поверхностном слое воды, наименьшая – в придонном (рис. 5.11, разд. 5.4). Адвекция днепровской воды в восточную часть лимана и апвеллинг, вероятно, являются основной причиной наибольшей изменчивости солёности именно здесь, где в поверхностном слое её значения изменялись от 0,3 до 14,4 ‰, а C_v достигал 1,8, что больше, чем в других районах Днепровско-Бугского лимана.

Таким образом, анализ пространственно-временной изменчивости солёности воды свидетельствует о преобладании плотностной неоднородности и устойчивой стратификации воды на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг.

5.4. Зона распреснения

Режим солёности воды устьевого взморья является результатом изменения гидрологических, гидрохимических и биохимических характеристик речных вод при их трансформации в морские. В зависимости от комплекса воздействующих факторов эта трансформация может происходить в различных пространственно-временных масштабах. Как показано выше, основное влияние на пространственное распределение солёности воды и его изменение во времени оказывает речной сток. Роль неруслового берегового притока и сбросов сточных вод в распределении солёности устьевого взморья менее существенна. Именно речной сток формирует зону распреснения, которая характеризуется распределением минеральных веществ в акватории устьевого взморья. Ветровое влияние здесь неоднозначно: с одной стороны, ветер и вызванное им течение способствуют смещению зоны распреснённых вод, изменяя площадь распреснения поверхностного слоя, с другой, вызывая ветровое перемешивание, выравнивает солёность воды по глубине. При различных гидрометеорологических условиях границы этой зоны (горизонтальные и вертикальные) могут быть чётко выражены или размыты, но существуют они постоянно, пока река впадает в море.

Согласно [2] зоной распреснения является солоноводная часть морского устья реки, куда распространяются речные воды и где происходит формирование распреснённых вод. Значительная часть зоны распреснения расположена в Днепровско-Бугском лимане.

В гидрологии и гидрохимии морских устьев рек распреснёнными принято считать воды, солёностью от 1 до 10 ‰. Они являются наиболее благоприятными для рыбного хозяйства, так как ценные породы рыб в устьевых районах имеют кормовую базу, это места нереста, откорма и рыбного промысла.

В связи с этим, важным вопросом изучения режима солёности устьевого взморья является определение границ зоны распреснения. За её начало обычно принимают нижнюю границу устьевого участка реки или дельты, изогалину 0 или 1 ‰. В то же время, на устьевой участок реки и в устьевые рукава р. Днепр иногда проникает вода устьевого взморья, осолоняя пресные воды. В определении морской границы зоны распреснения также нет единства мнений: различны-

ми авторами она определяется как внешняя граница зоны смешения (по изогалине, равной 90 % от солёности приёмного водоёма), по изогалине 7, 9, 10, 16, 17 ‰, фронту замутнённых вод и пр. Все эти приёмы вносят элемент условности в определение границ зоны распреснения. Критерии ограничения зоны распреснения не являются универсальными.

Учитывая особенности пространственного распределения солёности воды на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг (разд. 5.3), за внешнюю границу зоны распреснения на данном горизонте принималась изогалина, значение которой отличалось от средней солёности открытой части Чёрного моря (за расчётный период на том же горизонте) на *СКО,* рассчитанное за период осреднения. Таким образом, средняя многолетняя зона распреснения в мористой части ограничена изогалиной 17,8 ‰ [7]. Практически, зоны распреснения рек Днепр, Днестр и Дунай граничат, образуя общую распреснённую зону, охватывающую северо-западную и западную части моря. Распресняющее влияние речного стока конкретной реки не ограничивается устьевым взморьем, распространяясь иногда (в периоды повышенной водности рек) на значительные расстояния, чему способствует циркуляция вод Чёрного моря. В связи с обширным распреснением северо-западной части Чёрного моря реками, средняя годовая солёность этой акватории согласно [43] равна 16,7 ‰, что на 1,3 – 1,5 ‰ меньше средней годовой солёности поверхностного слоя воды Чёрного моря [45]. Поэтому для уточнения внешней границы зоны распреснения в морском районе устьевого взморья (3в, рис.1.3) анализировалась изменчивость солёности воды, характеризуемая коэффициентом вариации C_v. За внешнюю границу принималась изолиния C_v = 0,1, которая выклинивается в поверхностном слое воды на расстоянии около 50 км от Кинбурнского пролива.

За внутреннюю, речную границу зоны распреснения целесообразно принимать ближайший к лиману створ водотока, где минерализация воды была равна или превышала 0,5 ‰. При этом, в разных рукавах р.Днепр эта граница располагается на разном расстоянии от их устьев, так как солёная вода поступает не во все водотоки одновременно и не всегда. Так как в настоящее время минерализация воды ниже г. Херсона не изучается, что затрудняет уточнение расположения верхней границы, с определённой долей достоверности за

верхнюю границу зоны распреснения, формирующейся рекой Днепр в лимане, можно считать створ, ограничивающий устья рукавов р. Днепр. Это допустимо, так как объём зоны распреснения в рукавах существенно меньше, чем в лимане. К тому же, по многолетним данным наблюдений на водомерных постах (табл. 5.6, разд. 5.3) в г. Херсоне солёность воды в среднем меньше 0,5 ‰, а в с. Касперовке – около 0,5 ‰. Как внешняя, так и внутренняя границы зоны распреснения не постоянны во времени.

Структура зоны распреснения. В соответствии с выбранными критериями, Днепровско-Бугский лиман целиком распресняется водами рек Днепр и Юж. Буг; мористее лимана средняя многолетняя зона распреснения окаймляет Одесскую банку примерно по изобате 20 м, проходя между Кинбурнской и Тендровской косами по траверзу с. Покровка.

Зона распреснения устьевого взморья существует постоянно, но она неоднородна и имеет сложную структуру, изменяющуюся в пространстве и во времени под действием комплекса гидрометеорологических факторов. Формируется она не только в результате динамики вод (адвекции, перемешивания, волн и пр.), но и обусловлена рядом других процессов: тепловых, ледовых, химических, биохимических. Сложность и комплексность указанных процессов затрудняют разработку теоретических и практических методов расчёта параметров распреснённых зон. Поэтому на данном этапе исследований для приблизительной оценки зоны распреснения использованы в основном натурные данные наблюдений с 1975 г. по 2009 г.

Распреснение воды взморья происходит при различных условиях перемешивания, иногда граница между контактирующими морскими и речными водами хорошо заметна, как по данным измерений, так и визуально: с борта корабля, самолёта, со спутников.

Продольный средний многолетний вертикальный профиль солёности воды, по данным наблюдений в Днепровско-Бугском лимане, представляет собой клин осолонённых вод, проникающих вдоль судоходного канала к нижней границе дельты (рис. 5.11), до с. Касперовка. В плане средняя многолетняя зона распреснения в лимане на поверхности и у дна показана на рис. 5.10 (разд. 5.3). Сгущение изогалин (среднее многолетнее положение гидрофронта) отмечается в восточной части лимана на глубинах 7 – 9 м и посте-

пенно выклинивается в поверхностном слое предпроливной открытой части устьевого взморья. Фронтальная зона имеет уклон 0,13 м/км.

Схематично структура зоны распреснения морского устья реки представлена в [7]. Для районирования зоны распреснения на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг получено поле распределения C_v (рис. 5.11).

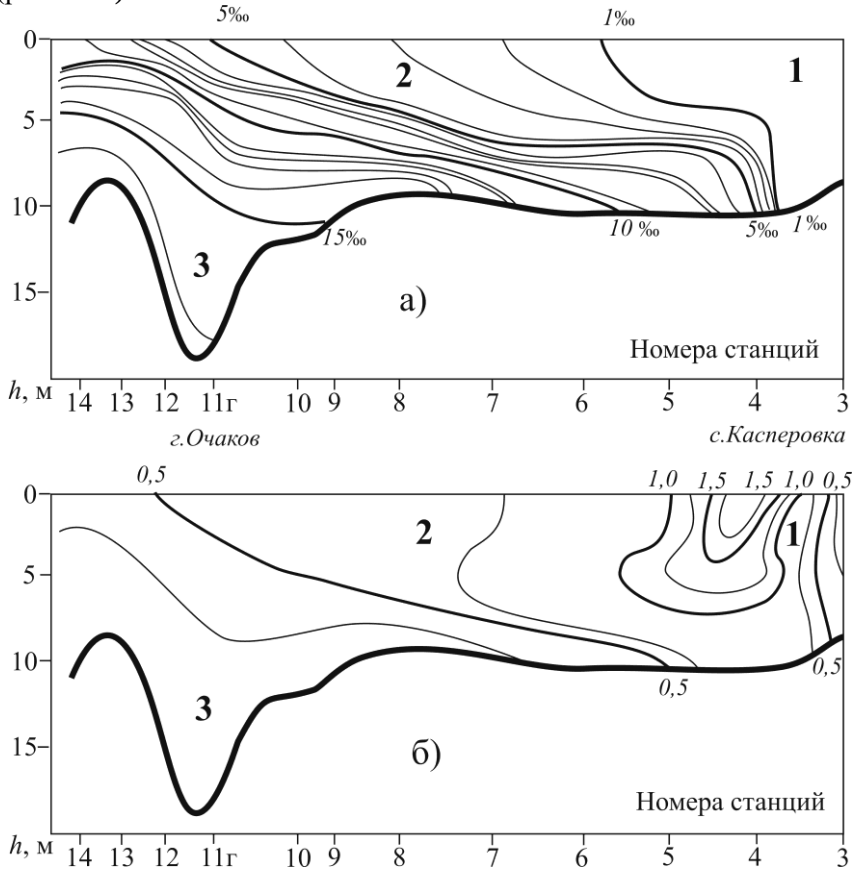


Рис. 5.11. Средняя солёность (а), C_v (б) и структура зоны распреснения: 1 – область адвекции речных вод; 2 – область преобразования ионного состава; 3 – область стабилизации ионного состава

Совместный анализ распределения солёности воды и её изменчивости, характеризуемой коэффициентом вариации C_v, показал, что первая, прилегающая к нижней границе дельты р. Днепр, область адвекции речных вод ограничена изогалиной 1 ‰. По мнению ряда авторов [83, 84], в этой области, ограниченной изогалинами 1 – 2 ‰, речная вода теряет присущие ей химические свойства, поэтому её и принимают за гидрохимическую границу между пресными и осолонёнными водами взморья.

Сюда поступают мало трансформированные речные воды, с присущим им минеральным составом и непостоянным соотношением главных ионов. Вертикальная стратификация температуры и солёности (плотности воды) в верхнем 3-х метровом, обычно хорошо перемешанном слое, незначительна (разд. 5.3). Такое распределение солёности характерно для восточной и прилегающей к ней центральной части Днепровского лимана. Ниже 5-ти метрового горизонта обычно расположена водная масса, солёностью 4 – 10 ‰. В этом районе лимана под действием стока развиваются интенсивные динамические процессы, из которых здесь преобладает адвективный перенос поверхностных и придонных вод. В зависимости от стока реки и ветровых условий эта область может иметь различную толщину слоя, занимать только поверхностный слой воды или располагаться до дна водного объекта. Дальность её среднего многолетнего распространения, в основном, обусловлена средним речным стоком, а краткосрочные изменения имеют синоптическую природу и могут быть существенными (C_v изменяется в пределах 0,25 – 1,80).

Здесь максимально проявляются сгонно-нагонные, приливо-отливные явления и сейши, а при компенсационном нагоне после сильного сгона солёность поверхностного слоя воды может быстро увеличиться на порядок. Причиной локального роста изменчивости солёности воды у НГД (до значений C_v, равных 1,5 – 1,8) является сложившаяся устьевая продольная циркуляция, с преобладанием в поверхностном слое прямого, а в придонном – обратного потоков (разд. 2.3), активизация которой (например, в результате сильных сгонов, резкого изменения стока р. Днепр и др.) и приводит к кратковременному, но значительному увеличению солёности поверхностного слоя при подъёме глубинных вод в районе устьев рукавов р. Днепр (местный апвеллинг). Изменению солёности здесь также

способствует интенсивное перемешивание воды под действием стока и ветра в условиях относительной мелководности восточного района Днепровского лимана. Поэтому именно в этой области зоны распреснения отмечается наибольшая изменчивость солёности воды (рис. 5.11).

В пределах изогалин 1 – 15 ‰, в центральной и западной частях Днепровского лимана, происходит преобразование ионного состава воды. Речные воды, смешиваясь с водой взморья, метаморфизуются, поэтому эту часть зоны распреснения можно считать областью преобразования ионного состава и формирования лиманных вод (2, рис. 5.11). Изменчивость солёности воды в пределах этой части зоны распреснения характеризуется C_v, равным 0,25 – 1,25.

Вторая область зоны распреснения имеет в лимане наибольший объём и её можно разделить на 3 подобласти. В первой подобласти, ограниченной изогалинами 1 – 4 ‰ (средний C_v = 0,75), преобразование минерального состава происходит постепенно. Вторая подобласть расположена между изогалинами 5 – 13 ‰ (средний C_v = 0,50) и характеризуется наибольшими вертикальными и горизонтальными градиентами всех характеристик. Здесь чаще всего формируется гидрофронт и адвективная составляющая динамики вод уменьшается; важную роль играют перемешивание, конвекция, испарение, преобладает турбулентная диффузия; физико-химические и биохимические процессы способствуют преобразованию ионного состава. В вертикальном профиле солёности и температуры выражена стратификация, которая усиливается при штилевых условиях. Характерным является образование слоя скачка плотности, солёности и температуры. Третью подобласть, расположенную в пределах солёности 13 – 15 ‰, можно считать переходной к области 3, в которой происходит стабилизация ионного состава. Между указанными изогалинами изменчивость значений солёности уменьшается (средний C_v около 0,3), т.е. в этом 3-х метровом слое водная масса довольно устойчивая, с мало изменчивыми во времени характеристиками.

Глубже 5 – 8 м в западном районе лимана доминирует вода солёностью 15 – 17 ‰ и отмечается практически постоянное относительное содержание ионов. Эту часть зоны распреснения (3, рис. 5.11) можно считать областью стабилизации ионного состава. Коэффициент вариации здесь минимален и не превышает 0,20 (в сред-

нем он равен 0,1), а солёность воды мало отличается от средней солёности северо-западной части Чёрного моря.

Основная часть области 3 расположена мористее Кинбурнского пролива, занимает открытую часть устьевого взморья – его морской район, в лимане она простирается до ст. 8 – 9 (рис. 1.3, рис. 5.11). В пределах изогалин 15 – 17,8 ‰ распреснённые воды устьевого взморья целиком преобразуются в морские. Градиенты солёности и C_v здесь наименьшие, вертикальное распределение солёности более однородное, чем в области преобразования ионного состава (рис. 5.11), важным фактором распреснения является турбулентная и молекулярная диффузия. За пределами этой области, ограниченной изогалиной 17,8 ‰ (согласно [66, 92] 17 ‰), располагается зона полной трансформации речных вод в морские.

Таким образом, в первой области зоны распреснения (до изогалины 1 ‰) преобладает адвективный перенос речной воды, во второй и третьей – процессы турбулентной и молекулярной диффузии. Однако, в сужении Кинбурнского пролива роль адвекции значительно увеличивается и становится преобладающей.

Берега Днепровско-Бугского лимана, являясь естественным продолжением речных долин, препятствуют боковому растеканию речных струй, что способствует формированию перпендикулярного береговой черте фронта изогалин в поверхностном слое воды (рис. 5.10, разд. 5.3). В глубоководной части лимана зона распреснения имеет вид «языка» более солёных вод, а в открытой части устьевого взморья наоборот, – более пресных вод, поступающих в море в верхнем слое. В судоходном канале формируется особый тип распреснённой зоны в виде «клина» проникающих по направлению к реке опресняемых лиманными водами вод взморья (рис. 5.10, разд. 5.3), при этом изогалины параллельны берегам. В отдельные периоды, в зависимости от условий, по каналу может поступать практически морская вода или его бóльшая часть может заполняться распреснёнными в лимане водами.

Зависимость объёма распреснения от стока рек. Конфигурация, размеры и границы зоны распреснения очень изменчивы. Под действием различных факторов она испытывает многолетние, сезонные, синоптические и прочие изменения. Климатическая зона распреснения формируется речным стоком, её сезонные изменения

зависят от его внутригодового хода, а краткосрочные смещения её границ связаны со сгонно-нагонными явлениями и суточным ходом уровня воды.

Если в пределах лимана эта зона в основном перемещается вдоль его оси, то в открытой части устьевого взморья форма зоны распреснения бывает весьма сложной, так как она трансформируется под действием ветра, волн и течений.

В открытой части устьевого взморья воды, поступающие из Днепровско-Бугского и Березанского лиманов, образуют распреснённую зону в поверхностном слое воды (речной гидрофронт [66, 92]) сложной фестончатой конфигурации, что хорошо видно на космических снимках и в период натурных исследований. Иногда эта зона носит прерывистый характер; разделяется на два и более самостоятельных потока: один из которых прижимается к северному берегу, другой – направлен на юг или юго-юго-восток; в пределах зоны распреснения часто наблюдаются вторичные фронты, на границах гидрофронта сулой, забурунивание волн и др.

По данным спутниковых наблюдений смещение распреснённых вод может быть любым: вдоль северо-западного побережья; в Березанский и Григорьевский лиманы; вдоль мористой части Кинбурнской косы по направлению к Тендровской косе и в Каркинитский залив; радиально в северо-западную часть моря; как показано на рис. 5.12, из которого видно, что зона распреснения на снимках различается более чем в 2 раза.

а) б)

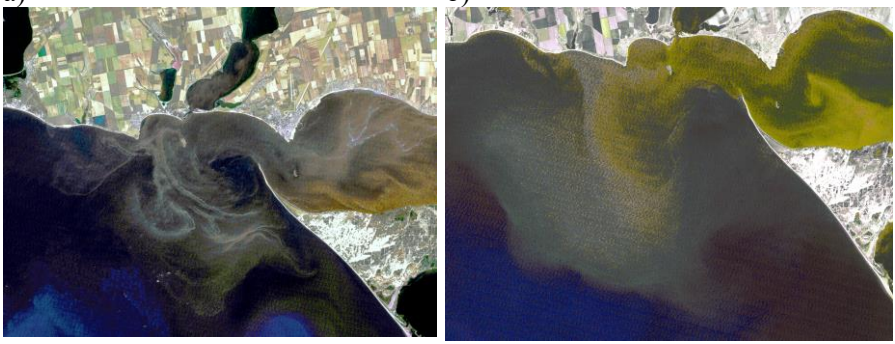


Рис. 5.12. Фрагмент зоны распреснения в открытой части устьевого взморья по спутниковым наблюдениям 05.08.2006 г. (а) и 20.05.2007 г. (б) [94]

Основная часть распреснённого выноса распространяется вихреобразно (против часовой стрелки), ось потока проходит параллельно мористой оконечности Кинбурнской косы. Эта тенденция прослеживается на многих снимках рассматриваемого района.

Морфологическое многообразие распреснённой зоны в морском районе устьевого взморья требует разных методов моделирования распределения солёности воды в пространстве, в зависимости от выбранного интервала осреднения и преобладающих факторов воздействия.

В многолетнем масштабе, при отсутствии значимых климатических тенденций водо-, соле- и теплообмена на границах морского устья, зона распреснения изменяется в меньшей степени, чем при сгонно-нагонных явлениях. Её морская граница простирается на расстоянии около 50 км от Кинбурнского пролива.

Сезонные изменения зоны распреснения обусловлены внутригодовыми изменениями стока воды и теплообмена с атмосферой, от которого зависят испарение и конвекция. Зона распреснения увеличивается в многоводный и ледовый периоды года и уменьшается в межень [66]. Увеличение зоны распреснения в период ледовых явлений исследовано Скриптуновым Н.А. в [93]. На примере различных устьевых областей рек, используя эмпирический материал, Скриптунов Н.А. показал, что ледяной покров, изолирующий водную среду от ветрового перемешивания, способствует выдвижению зоны распреснения в море (при прочих равных условиях).

Короткопериодные (синоптические) колебания размеров зоны распреснения имеют наибольший размах, суточные изменения в основном сводятся к горизонтальному возвратно-поступательному перемещению фронтального раздела.

Многофакторность формирования зоны распреснения делает вычисление её ежесуточных морфометрических характеристик довольно сложной задачей, поэтому для расчёта её площадей и объёмов предлагается использовать физико-статистические методы.

Перспективным для расчёта зон распреснения (с любой дискретностью) представляется использование спутниковых данных, особенно после внедрения системы дистанционного определения солёности воды. Возможности их практического применения для оценки масштабов влияния речных вод на устьевое взморье очевидны. Напри-

мер, сравнение двух снимков, полученных из архива данных сканера TM спутника Landsat 5 [94], обработанных с помощью программы ENVI 4.0 в отделе Дистанционных методов исследований МГИ НАНУ, показывает, что различия в площади распреснения морского района устьевого взморья обусловлены стоком р.Днепр. Об этом свидетельствуют данные гидрометеорологических наблюдений в августе 2006 г. и мае 2007 г. В указанные на рис. 5.12 сутки и в предшествующий им срок (с учётом времени добегания расхода воды от Каховской ГЭС) преобладал слабый ветер переменных направлений, скоростью 1 – 4 м/с, температура воздуха и воды изменялась в пределах 20 – 25 ˚С, высота волн не превышала 0,2 м, средний уровень составлял 491 см. Расход воды р. Днепр 20.05.2007 г. был равен 1660 $м^3/с$ (в среднем за предшествующий период – 1580 $м^3/с$), а 05.08.2006 г. – 617 $м^3/с$ (в предшествующий период – 581 $м^3/с$). Поэтому солёность воды в мае 2007 г. у г. Очакова равнялась 2 ‰, а в августе 2006 г. – 6 ‰. Таким образом, сток р. Днепр в мае 2007 г. был в 2,7 раз больше, чем в августе 2006 г., и зона распреснения в межень 2006 г. была примерно в 2,4 раза меньше, чем в период половодья 2007 г. Следовательно, учитывая гидрометеорологические условия, при которых сделан конкретный снимок, можно получить зависимости площади зоны распреснения от определяющих факторов, например, стока р. Днепр. Такие зависимости можно использовать для прогнозов. Очевидно, при разработке краткосрочных прогнозов надо также учитывать и ход уровня в рассматриваемый период, т.к. при обратном потоке (росте уровня в лимане) зона распреснения будет меньше, а при прямом (падение уровня), наоборот, больше.

Анализ схем распределения солёности воды на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг, полученных по натурным данным [46], показал наличие взаимосвязи зон распреснения Днепровско-Бугского лимана с величиной стока воды р. Днепр и уровнем воды на устьевом взморье. Это обстоятельство использовано для получения зависимостей площади и объёма области адвекции от обусловливающих факторов [80]. Так как основное количество минеральных веществ, выносимое рекой, поступает именно в первую область зоны распреснения, ограниченную изогалиной 1 ‰, эта акватория представляет особый интерес, являясь областью наибольшего распресняющего воздействия речного стока на устьевое взморье. От

размеров области адвекции зависят площади двух других областей зоны распреснения: чем она больше, тем, в основном, больше области преобразования (2, рис. 5.11) и стабилизации (3, рис. 5.11) ионного состава.

Для определения площади области адвекции (S_i) на различных глубинах использовались данные натурных наблюдений, по которым получено распределение солёности воды на стандартных горизонтах. Площадь S_i, ограниченная изогалиной 1 ‰, определялась планиметром, объём зоны распреснения W_S в период конкретной гидролого-гидрохимической съёмки рассчитывался по формуле

$$W_S = \Sigma 0{,}5(S_i + S_{i+1})h_i \ldots. + S_n h_n, \qquad (5.10)$$

где W_S – объём распреснённого взморья; S_i, S_{i+1} – площади, ограниченные изогалиной 1 ‰, на стандартных горизонтах; S_n – площадь на придонном горизонте (в 1 м от дна); h_i, h_n – толщина слоя воды между смежными горизонтами, последним горизонтом и дном.

Солёность воды Днепровско-Бугского лимана зависит от расхода воды р. Днепр и наполнения лимана, которое характеризуется фазой роста или падения уровня воды (рис. 5.13). Речной сток, в основном р. Днепр ($Q_{Дн}$), является «фоном» формирования распределения солёности, а краткосрочные изменения уровня воды способствуют смещению границ зоны распреснения в сторону реки (при наполнении лимана) или моря (при понижении уровня воды).

Анализ изменения уровня и его связи с расходом воды р. Днепр (разд. 2.2) показал, что в вершине Днепровского лимана (в районе с. Касперовка) краткосрочные колебания уровня воды обусловлены не столько стоком реки, сколько уровнем воды в лимане и море, так как в устьевых рукавах р. Днепр происходит «распластывание» попуска водохранилища и в течение суток и даже нескольких дней сток здесь обычно мало изменчив.

При наполнении лимана обратная положительная волна (рис. 5.13) вызывает увеличение уровня воды, интенсивность его подъёма имеет положительное значение. При прямой отрицательной волне происходит понижение уровня воды в лимане, значение интенсивности изменения уровня воды – отрицательное. Первая ситуация аналогична нагону воды в лиман, вторая – сгону. Кроме того,

на постах в лимане, а также в с. Касперовка, отмечаются ситуации, когда уровень воды не изменяется, т.е. интенсивность его изменения равна нулю. Такие условия соответствуют штилю.

Таким образом, объём области адвекции речной воды в Днепровско-Бугском лимане (W_S) пропорционален расходу воды р.Днепр в створе Каховской ГЭС ($Q_{Дн}$), осреднённому за 5 суток, включая дату определения W_S, и средней за период съёмки интенсивности изменения уровня воды (J) в с. Касперовка (вершине Днепровского лимана)

$$W_S = 1{,}33\ln Q_{Дн} - 0{,}26J - 8{,}18. \qquad (5.11)$$

Коэффициент множественной корреляции зависимости (5.11) равен 0,97 ± 0,001. Вид зависимости представлен на рис. 5.13. Для её получения использовались наиболее полные гидрологические съёмки за период с 1975 г. по 2009 г., при которых среднесуточный расход воды р. Днепр изменялся от 300 до 5000 м^3/с, а интенсивность изменения уровня воды в с. Касперовка – в пределах ± 6 см/ч. Указанные границы изменения взаимосвязанных величин включают большинство характерных для этого морского устья ситуаций, поэтому приводимые на рис. 5.13 зависимости можно считать обоснованными.

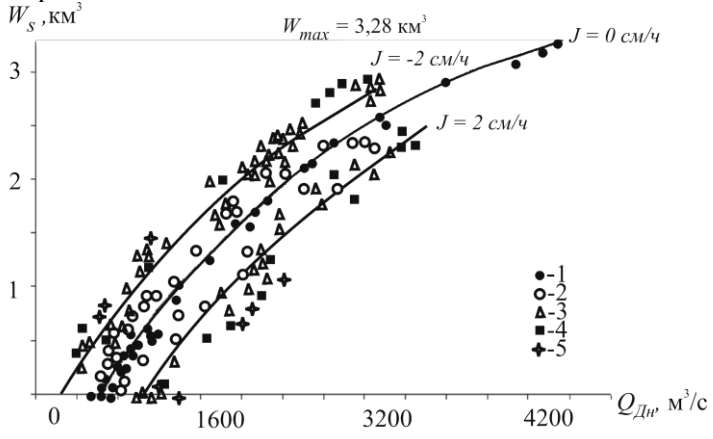


Рис. 5.13. Зависимость области адвекции зоны распреснения лимана (W_s) от расхода воды ($Q_{Дн}$) и средней интенсивности изменения уровня воды (J): 1 – 0; 2 – ± 1; 3 – ± 2; 4 – ± 3; 5 – ± 4 – 6 см/ч

При штилевых условиях, когда интенсивность изменения уровня воды в вершине лимана равна нулю, кривая зависимости проходит приблизительно по средним значениям поля точек во всём диапазоне изменения расхода воды (рис. 5.13). Увеличение расхода воды р. Днепр до 5000 м^3/с (почти в 4 раза больше годовой нормы) и более приводит к распространению области адвекции пресных вод практически на весь объём лимана (равный 3,28 км^3). Уменьшение водоносности до 400 м^3/с (в 3 раза меньше годовой нормы) и менее ограничивает область адвекции минимальными значениями. При одинаковом расходе воды и понижении уровня в с. Касперовка в результате сгона или суточных колебаний любого генезиса, область адвекции (и зона распреснения в целом) возрастает, при повышении уровня – уменьшается. Поэтому на рис. 5.13 верхняя кривая (выше средней линии) характеризует сгонную ситуацию, при которой интенсивность уменьшения уровня воды в среднем составляет -2 см/ч; нижняя – нагонную, когда средняя интенсивность роста уровня лимана равна 2 см/ч.

Для упрощения расчётов, особенно при отсутствии данных о ежечасных уровнях воды в вершине лимана (с. Касперовка), а также затруднениях при определении средней интенсивности изменения уровня воды, можно использовать зависимость (5.12) между объёмом области адвекции (W_S) и расходом р. Днепр ($Q_{Дн}$) у Каховской ГЭС

$$W_s = (9 \cdot 10^{-3} Q_{Дн}^{\ 0,79} e^{-10^{-4} Q_{Дн}}) - 1. \qquad (5.12)$$

Корреляционное отношение этой зависимости равно 0,96 ± 0,003. Область применения уравнения (5.12) ограничена, т.к. по нему можно рассчитывать только средние за период величины W_S, когда сгоны компенсируются нагонами. При среднем расходе воды р. Днепр менее 420 м^3/с объём области адвекции в лимане близок к нулю, а при $Q_{Дн}$ более 4300 м^3/с – к объёму лимана.

Анализ ежечасных наблюдений за уровнем воды на постах Днепровско-Бугского лимана свидетельствует о том, что большие значения интенсивности изменения уровня воды (более ± 5 см/ч) наблюдаются в 1,5 – 2 % случаев. Поэтому зависимости, представленные на рис. 5.13, можно использовать в практических расчётах,

применяя экстраполяцию (в пределах 20 % амплитуды) в область, не освещённую фактическими наблюдениями.

Результаты расчёта объёма области адвекции в лимане при средних гидрометеорологических условиях и среднем многолетнем расходе р. Днепр, равном 1340 м^3/с (табл.2.1), выполненные по разным формулам (5.11) – (5.12), показали, что расхождения составляют около 7 % (0,1 км^3). Средняя многолетняя область адвекции, рассчитанная по формуле (5.11), имеет объём 1,4 км^3 (около 43 % объёма лимана), при нагоне она уменьшается в среднем до 0,9 км^3 (27 % объёма лимана), а при среднем статистическом сгоне – увеличивается до 1,9 км^3 (т.е. занимает 58 % объёма лимана). Расчёт среднего многолетнего объёма области адвекции, выполненный по формуле (5.12), даёт величину, равную 1,3 км^3, что меньше полученной по формуле (5.11), вероятно, из-за недоучёта уровенной составляющей (J). Определив параметры области адвекции (1), можно рассчитать объёмы областей 2 и 3 (рис. 5.11), так как чем больше сток реки, тем больше объём всех рассмотренных частей зоны распреснения.

Влияние стока рек на солёность зоны распреснения. Исследованию влияния речного стока (Q) на солёность устьевого взморья (S) посвящено много работ, т.к. здесь колебания солёности любой дискретности во многом обусловлены изменением количества поступающей пресной воды. Наличие связей $S = f(Q)$ характерно для всех морских устьев рек независимо от их типа [7] и свидетельствует о том, что основной причиной изменчивости солёности воды устьевых взморьев является изменчивость стока воды. Поэтому методы расчёта распределения солёности в зоне распреснения у многих авторов базируются на очевидной зависимости между этими характеристиками [83, 84]. Солёность воды на устьевом взморье является основным показателем смешения и разбавления солёных вод пресными и обычно изменяется обратно пропорционально притоку пресных вод и прямо пропорционально поступлению морских вод.

Однако, при использовании расчётных формул, предлагаемых в литературных источниках, следует иметь в виду, что большинство из них применимы только в случаях полного перемешивания воды по вертикали, чего обычно в рассматриваемом устье не

наблюдается. Поэтому все они дают весьма приближённую оценку изменения солёности воды в зоне распреснения.

Расчёт средней солёности или хлорности лимана методом солезапаса, когда её значение определяется путём суммирования солезапасов отдельных районов с последующим делением полученной величины на объём лимана иногда бывает менее эффективен определения солёности (S) по зависимости $S = f(Q)$, т.е. от расхода воды (Q). Но устойчивая расслоённость вод в отдельных районах взморья этими методами не всегда может быть учтена.

Например, зависимости средней годовой солёности воды ($Cl'_{лим}$, мгCl/л) Днепровско-Бугского лимана (5.13) и его западной части (5.14) от суммарного стока рек Днепр и Юж. Буг ($Q_{сум}$, км^3), полученные Слатинским Ю.Г. [56] и приведенные в [1], имеют вид

$$Cl'_{лим} = 3{,}560 - 0{,}0337Q_{сум}, \qquad (5.13)$$

$$Cl'_{лим} = 4{,}982 - 0{,}0479Q_{сум}. \qquad (5.14)$$

Они применимы в диапазоне суммарного стока рек от 20 до 70 км^3.

Приближённо рассчитать среднюю годовую солёность лимана ($S_{лим}$, ‰), определённую как средняя арифметическая величина, в зависимости от среднего годового суммарного расхода воды рек Днепр и Юж.Буг ($Q_{сум}$, м^3/с) можно также по уравнению

$$S_{лим.} = 575{,}1Q_{сум}^{-0{,}63}, \qquad (5.15)$$

полученному по данным многолетних наблюдений (корреляционное отношение равно 0,78). Эта зависимость применима для приближённых оценок средней солёности Днепровско-Бугского лимана в диапазоне изменчивости среднего за год суммарного расхода рек Днепр и Юж. Буг от 850 до 2030 м^3/с и даёт завышенный результат по сравнению с натурными данными, обобщёнными статистическими методами, рассмотренными в разд. 5.3. Вероятно, это связано с тем, что зона распреснения неоднородна (рис. 5.11): наибольший эффект распреснения лимана речными водами проявляется в верхнем 5-ти метровом слое воды, глубже речной поток не столько рас-

пресняет воду, сколько способствует смещению клина осолонённых вод вдоль судоходного канала. При осреднении значений солёности по всей толще воды не учитывается то обстоятельство, что соотношение осолонённых и пресноводных объёмов вод в разных частях лимана неодинаково (рис. 5.11). Результаты улучшаются при использовании локальных зависимостей между солёностью воды в отдельных точках и речным стоком или при послойном расчёте солёности воды (разд. 5.3).

Действительно, зависимость средней солёности верхнего 5-ти метрового слоя воды зоны распреснения Днепровского лимана ($S_{пов\text{-}5}$) от среднего годового расхода воды р. Днепр ($Q_{Дн}$) более тесная, имеет корреляционное отношение, равное 0,92 ± 0,008 и вид

$$S_{пов\text{-}5} = 1350{,}5 Q_{Дн}^{-0{,}83}. \qquad (5.16)$$

В то же время, корреляционное отношение связи средней солёности глубоководной части зоны распреснения с тем же предиктором составляет всего 0,54 (рис. 5.14, б).

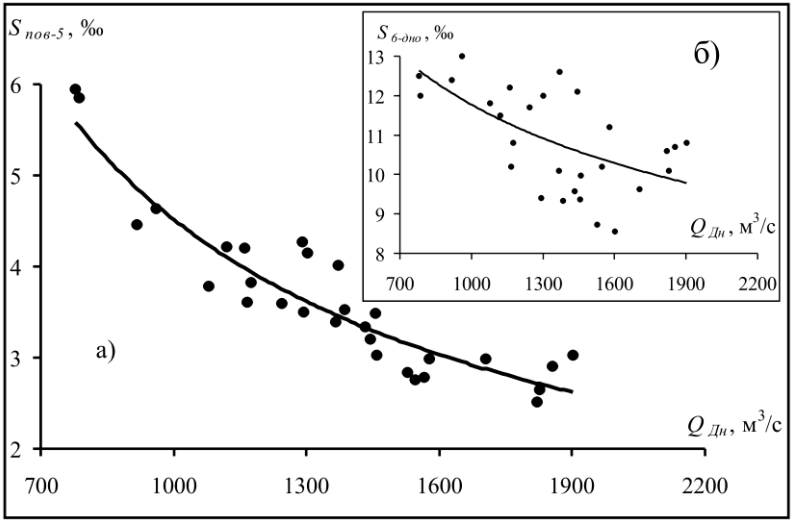


Рис. 5.14. Зависимость средней солёности верхнего (а) и нижнего (б) слоёв зоны распреснения в Днепровско-Бугском лимане от среднего годового расхода воды р. Днепр у Каховской ГЭС за период с 1975 г. по 2009 г.

При средних погодных условиях и максимальном среднем годовом расходе р. Днепр, равном 2600 м^3/с (табл. 2.1), средняя солёность верхнего 5-ти метрового слоя Днепровского лимана составит около 2 ‰, при минимальном (726 м^3/с) – около 6 ‰, при средней водоносности р. Днепр (1340 м^3/с) средняя солёность в 1 и 2-ой областях зоны распреснения будет равна 3,5 ‰. При уменьшении среднего годового расхода воды р. Днепр на каждые 100 м^3/с, солёность воды будет увеличиваться в среднем на 0,2 ‰.

На устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг распресняющая роль речного стока распространяется на всю его акваторию (особенно в поверхностном слое), что подтверждается наличием корреляции (корреляционное отношение равно 0,82) между солёностью поверхностного слоя воды в г. Очакове и средним годовым расходом воды р. Днепр у Каховской ГЭС (рис. 5.15).

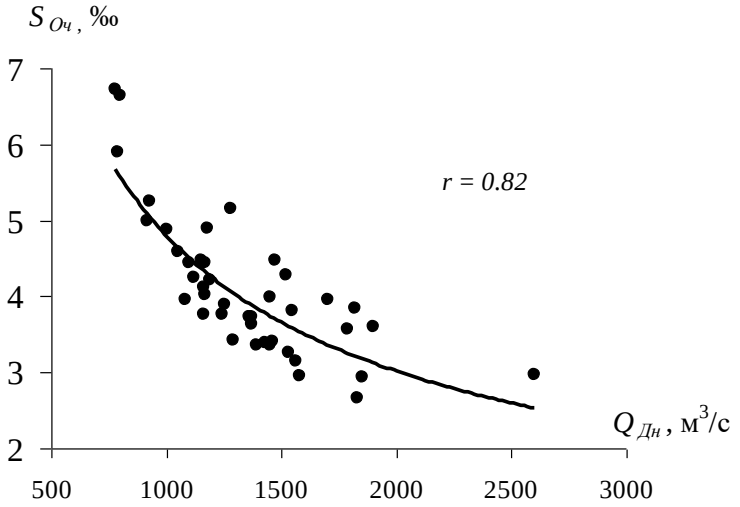


Рис. 5.15. Зависимость средней солёности в районе г. Очакова от расхода воды р. Днепр за период с 1961 г. по 2009 г.

Следовательно, средняя годовая солёность поверхностного слоя воды в западном районе Днепровско-Бугского лимана ($S_{Оч}$) может

быть приближённо определена по формуле (5.17), в зависимости от среднего годового расхода воды р. Днепр ($Q_{Дн}$)

$$S_{Оч} = 490{,}5Q_{Дн}^{-0{,}67}. \qquad (5.17)$$

Адвекция пресных вод в лимане существенна, так как растеканию потока препятствуют берега лимана, являющиеся естественным продолжением речной долины, а смешению вод – выраженная плотностная стратификация. Поэтому роль речного стока в изменении солёности воды в лимане является доминирующей.

Чем ближе пункт наблюдений расположен к дельте р.Днепр, тем связь $S = f(Q)$ более выражена. Однако, в с. Касперовка при расходе воды р. Днепр более 1000 м^3/с, вода распресняется до 0,3 – 0,4 ‰ и солёность практически уже не зависит от стока реки. По зависимостям (5.16), (5.17) можно оценить, в первом приближении, возможные изменения солёности воды, связанные с изменением водоносности р. Днепр при осуществлении водохозяйственной деятельности.

Сток воды, главным образом р. Днепр, является основным фактором распреснения устьевого взморья не только в годовом масштабе осреднения, но и для различных месяцев и сезонов года.

Изменение водности р. Днепр внутри года вызывает асинхронные изменения солёности всего устьевого взморья, поэтому зависимости $S = f(Q)$ для средних месячных величин имеют высокие коэффициенты корреляции на всех постах в лимане (рис. 5.16).

Как видно из рис. 5.16, даже для постов, удалённых от вершины устьевой области р. Днепр, в районе которых влияние речного стока на солёность меньше, чем в других частях Днепровско-Бугского лимана (г. Очаков и г. Николаев), зависимости $S = f(Q)$ имеют высокие корелляционные отношения.

Зависимости приемлемы только для средних месячных величин и являются весьма ориентировочными, так как получены по осреднённым за многолетний период значениям, что, очевидно, упрощает их вид и снижает точность расчётов. Аппроксимация зависимостей выполнена уравнениями (5.18) и (5.19). Для западного района Днепровского лимана среднюю месячную солёность воды ($S_{Оч}$) можно

рассчитать по зависимости этой характеристики от среднего месячного расхода воды р. Днепр ($Q_{Дн}$) с помощью формулы (5.18)

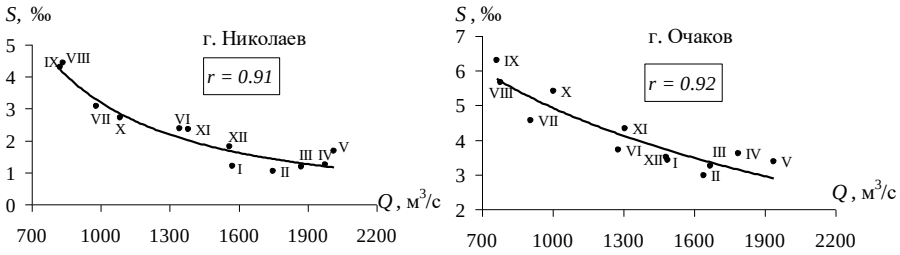


Рис. 5.16. Изменение средней месячной солёности воды в зависимости от среднего месячного расхода воды р. Днепр

$$S_{Оч} = 583{,}9Q_{Дн}^{-0{,}69}, \qquad (5.18)$$

а для северной части Бугского лимана ($S_{Ник}$) – по (5.19)

$$S_{Ник} = 533{,}2Q_{Дн}^{-1{,}42}. \qquad (5.19)$$

При использовании для нахождения зависимостей $S = f(Q)$ не осреднённых за многолетие, а ежегодных средних месячных значений (длина ряда около 500 значений) Демидовым А.Н. [45] получена тесная корреляционная зависимость (корреляционное отношение равно 0,82) между ежемесячным стоком р. Днепр ($W_{Дн}$) и средней месячной солёностью в г. Очакове ($S_{Оч}$). Она имеет вид кривой, аппроксимируемой уравнением

$$S_{Оч} = 51{,}23\,(W_{Дн} + 2)^{-1{,}829}e^{0{,}08(W_{Дн}+2)}. \qquad (5.20)$$

Эта формула (5.20) применима при значении стока р. Днепр менее 19 км^3/мес.

Бóльшая степень корреляции средних месячных значений солёности и расхода р. Днепр (по сравнению со средними годовыми величинами рассматриваемых характеристик) свидетельствует о том, что при этом масштабе осреднения основным фактором формирова-

ния солёности устьевого взморья является сток, и поэтому связь с ним более тесная.

По данным Симова В.Г. среднюю месячную солёность воды Днепровско-Бугского лимана ($S_{лим}$) можно определить по среднему месячному расходу воды р. Днепр ($Q_{Дн}$) с помощью уравнения

$$S_{лим} = 17 - 1{,}39 Q_{Дн}^{0{,}329}. \quad (5.21)$$

Согласно разработке Морозова В.И., при расходе воды р. Днепр $Q_{Дн}$, равном или меньшем 1000 м^3/с, средняя солёность лиманных вод определяется как

$$S_{лим} = 17 - e^{0.351 \ln Q_{Дн} + 0{,}177}, \quad (5.22)$$

а при $Q_{Дн} > 1000$ м^3/с по формуле

$$S_{лим} = 17 - e^{1{,}98 - 0{,}000724 Q_{Дн}}. \quad (5.23)$$

Определение солёности воды зоны распреснения в диапазоне синоптических или суточных изменений в зависимости от стока рек более сложно выполнить, так как необходимо учитывать «время добегания» речного стока к устьевому взморью или использовать «формулы смешения», рассмотренные в [7].

Попытка расчёта солёности поверхностного слоя воды на станции в центральной части Днепровского лимана (S, мг/л) от расхода р.Днепр ($Q_{Дн,}$ м^3/с) предпринята Алмазовым А.М. в работе [83]. Здесь приведена зависимость солёности от среднего за предшествующую декаду расхода воды р. Днепр у г. Берислава, имеющая вид

$$S = 128 \cdot 10^6 Q_{Дн}^{-1{,}40}. \quad (5.24)$$

Таким образом, солёность зоны распреснения может быть рассчитана с различной дискретностью в зависимости от стока р. Днепр или суммарного стока впадающих в Днепровско-Бугский лиман рек.

5.5. Баланс солей

Расширяет возможности изучения режима солёности морских устьев рек метод солевого баланса, который можно использовать для расчёта изменения солёности под влиянием различных факторов в любом пространственно-временном масштабе, что довольно подробно изложено в разных источниках [1, 58, 67, 84, 89]. Однако, в указанных работах, за исключением работы [67], не приводится оценок составляющих баланса солей, а основной акцент сделан на использовании метода водного и солевого баланса для расчёта водообмена через Кинбурнский пролив, средней солёности лимана или её изменений.

Изменение солёности устьевого взморья рек является результатом изменения баланса солей, т.е. зависит от соотношения его приходной и расходной частей. В общем виде уравнение баланса солей морского устья рек можно представить как

$$\pm \Delta S = \pm S_р \pm S_а \pm S_м \pm S_{гр} \pm S_{дно} \pm S_{ант} \pm S_{бх} \pm S_л + S_{бер}, \qquad (5.25)$$

где ΔS – изменение количества солей в устье, обусловленное солеобменом с рекой ($S_р$), прилегающей частью моря ($S_м$), атмосферой ($S_а$), подземными водами ($S_{гр}$), с грунтами дна и берегов ($S_{дно}$); за счёт антропогенного влияния ($S_{ант}$), биохимических процессов ($S_{бх}$) и ледовых явлений ($S_л$). Приходной частью баланса солей является смыв с берега и боковая приточность ($S_{бер}$). При установившемся гидролого-гидрохимическом режиме результирующая баланса солей ΔS равна нулю.

В зависимости от периода, масштабов солеобмена и других особенностей, роль каждой составляющей неодинакова. Отдельными компонентами баланса солей можно пренебречь, а иные – приобретают существенное значение. Например, если в бассейне реки и в её устьевой области развито интенсивное сельское хозяйство, необходимо учитывать влияние на солевой состав вод выпусков коллекторно-дренажных и сбросных вод с сельскохозяйственных угодий, $S_{ант}$, особенно в вегетацию. В период ливней увеличивается составляющая $S_{бер}$, учитывающая боковую приточность и смыв с берега. Изменение количества солей, в результате обмена с донными отло-

жениями, $S_{дно}$, при осуществлении масштабного дампинга надо учитывать для получения более точных значений. При ледовых явлениях, особенно в суровые зимы, возникает необходимость в учёте составляющей $S_л$ и т.д.

Для оценки климатических балансовых характеристик, очевидно, допустимо пренебречь обменом с атмосферой и с грунтовыми водами, а также другими составляющими, имеющими как положительные, так и отрицательные изменения в годовом масштабе. Не учитываются и те составляющие, расчёт которых пока сделать невозможно из-за недостатка данных и надёжных расчётных методов.

В упрощённом виде, применительно к условиям Днепровско-Бугского лимана, баланс солей для средних многолетних условий можно ориентировочно оценить по уравнению

$$\pm \Delta S = \pm S_р \pm S_м. \qquad (5.26)$$

Указанные в уравнении (5.26) основные составляющие баланса солей в Днепровско-Бугском лимане определялись по непосредственным наблюдениям Каховской и Первомайской ГМО в вершинах морского устья рек Днепр и Юж. Буг, а также в Кинбурнском проливе при производстве натурных исследований, выполняемых Николаевским ЦГМ, МО УкрНИГМИ и МГС Очаков.

Поступление минеральных веществ со стоком рек Днепр и Юж. Буг составляет около 16 млн. т/год (табл. 5.3), а из открытой части взморья через Кинбурнский пролив в среднем в лиман поступает около 486 млн. т /год (табл. 5.11).

Таблица 5.11

Составляющие среднего годового баланса солей в Днепровско-Бугском лимане за период с 1965 г. по 2009 г.

Приходная часть, млн. т/год		Аккумуляция солей в лимане, млн. т/год, невязка баланса
сток главных ионов рек Днепр и Юж. Буг	обратный поток солей	
16	486	
Расходная часть, млн. т/год		1
прямой поток солей	501	

Примерно столько же солей, сколько поступает в лиман, выносится из лимана в прилегающую часть взморья, т.е. 501 млн. т/год. Таким образом, невязка баланса солей составляет около 1 млн. т/год, т.е. 0,2 % от приходно-расходной части баланса. Вполне вероятно, что такое количество солей может аккумулироваться в лимане, донных отложениях и пр.

Полученные величины значительно отличаются от приводимых в литературных источниках, например, в [66, 67]. Вероятно, это связано с тем, что авторы указанных работ использовали для определения солеобмена Днепровско-Бугского лимана с морем не натурные данные, а метод солевого и водного баланса, который, как правильно заметил Большаков В.С. в [66], даёт заниженные значения солёности воды в районе Кинбурнского пролива. Так, определённая балансовым методом средняя солёность воды в расчётном створе пролива была равна 2 – 6,7 ‰, что не соответствует данным наблюдений (табл. 5.9, подразд. 5.3.2).

Согласно полученным новым результатам, солеобмен в Кинбурнском проливе весьма существенен и составляет в среднем 987 млн. т/год. Учитывая, что водообмен через пролив равен 72,6 км^3 (разд. 2.4), средняя взвешенная солёность вод, участвующих в обменных процессах в Кинбурнском проливе, составляет около 13 ‰, что соответствует натурным данным (разд. 5.3). Как видно из табл. 5.11 основной составляющей баланса солей в Днепровско-Бугском лимане является солеобмен через Кинбурнский пролив. В среднем за многолетний период поступление солей в морскую часть из лимана (с прямым потоком) составляет 15,9 т/с, а в обратном направлении (в лиман) – 15,4 т/с. Изменчивость этих характеристик во времени существенна: прямой поток солей изменялся в пределах 0 – 150 т/с, обратный – 0 – 120 т/с, *СКО* превосходит средние значения и составляет соответственно 20 и 18 т/с, а C_v равен 1,2.

По данным наблюдений в Кинбурнском проливе и прилегающих к нему районах взморья вода, солёностью 10 – 15 ‰, перемещается вдоль его оси в прямом и обратном направлении с той же периодичностью, что и течения, поэтому солеобмен изменяется в течение суток, синоптического периода, сезона и от года к году.

В среднем за многолетний период солезапас водной массы лимана стабилизировался на уровне 12,3 млн. тонн.

ГЛАВА 6
ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ

Характеристики ледового режима морского устья рек Днепр и Юж. Буг обусловлены температурными и ветровыми условиями атмосферы и устьевыми процессами в холодный период года. Ледовые условия играют важную роль в теплообмене между водой и атмосферой, поэтому влияют на экологическое состояние устья, изменяя продолжительность биологических циклов в экосистеме, лимитируют навигацию, создают затруднения при эксплуатации гидротехнических сооружений, могут быть причиной экстремальных явлений, вызывающих ущерб.

Несмотря на то, что ледовые явления в рассматриваемом устье не представляют серьёзных препятствий для современных крупных судов, они по-прежнему опасны для малотоннажного флота, воздействуют на берега и сооружения, а также являются причиной негативных для гидробионтов экологических условий, связанных с возникновением в ледовый сезон дефицита кислорода. Природная последовательность ледовых процессов в условиях погодной неустойчивости и эпизодического антропогенного воздействия здесь нарушается, что выражается в неоднократных вскрытиях, очищениях ото льда и его неоднократном образовании в течение ледового сезона.

Особенностью изучения ледовых процессов в морском устье рек Днепр и Юж. Буг является то, что его сложный компонентный состав, а именно – наличие водотоков, пресноводных и солёных водоёмов, плавней, болот и др., обусловливает необходимость применения для исследования ледовых явлений речных, морских, озёрных методик наблюдений. В литературных источниках наиболее полно ледовый режим рассмотрен в работах [1, 80, 81], погодичные данные содержатся в изданиях ГВК [46, 73, 74].

Для анализа ледового режима использованы многолетние (за 1961 – 2009 гг.) стационарные наблюдения НЦГМ Гидрометеослужбы Украины, проводимые ежедневно в 06 или 13 час МСВ (около 13 000 наблюдений) и ежепентадно за толщиной льда (650), авианаблюдения (160 авиаразведок льда), ледокольные (80 съёмок) и ледово-профильные (39 разрезов) наблюдения, а также специальные экс-

педиционные исследования (3 экспедиции) МО УкрНИГМИ, в которых принимала участие автор [80, 81].

В настоящее время прибрежные регулярные наблюдения за ледяным покровом в устье рек Днепр и Юж. Буг Гидрометеослужбой Украины проводятся в 10 пунктах, включая города Херсон, Нов. Одесса и Нов. Каховка (рис. 6.1). Ранее они производились также на всех маяках и других ледовых пунктах, которые потом были закрыты (разд. 1.6). Наблюдения организованы таким образом, что сектора обзора ледовых пунктов охватывают бóльшую часть акватории морского устья рек (рис. 6.1).

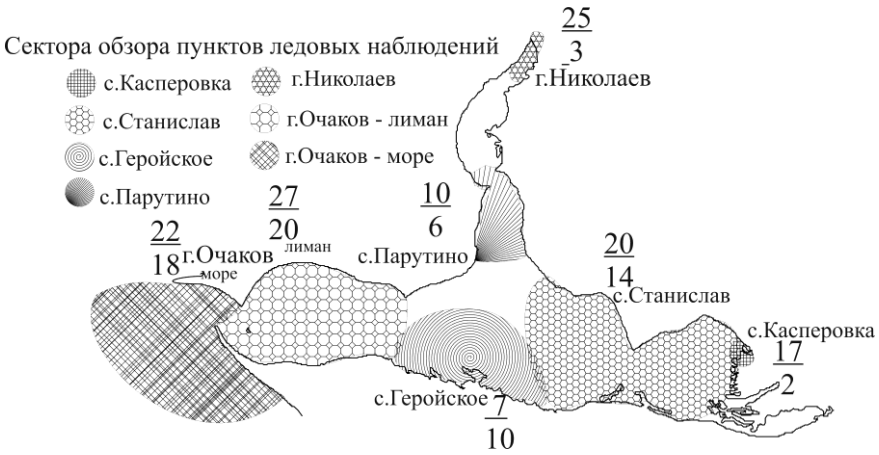


Рис. 6.1. Схема размещения пунктов ледовых наблюдений и секторов обзора (в числителе – высота пункта в м, в знаменателе – максимальная дальность видимого горизонта в км)

В ходе этих наблюдений в основном определялись: сроки начала и окончания фаз ледового режима и ледовых явлений, их продолжительность, сплочённость, торосистость льда, его количество, ледовитость взморья, положение кромки льда, границы и ширина припая, заберега, толщина льда и высота снега на нём. Кроме того, исследовались физико-механические свойства льда. Качественно определялись его возрастные формы, разрушенность, сжатие, загрязнённость и заснеженность ледяного покрова, направление дрейфа льдин и его густота.

В различных структурных компонентах морского устья рек Днепр и Юж. Буг одновременно могут наблюдаться разные фазы ледового режима, что обусловлено отличиями в теплозапасе вод и теплообмене с атмосферой, солёности воды, а также динамическими особенностями на участке, адвекцией тепла или холода из пограничных водных объектов, влиянием течений и хозяйственной деятельности.

Это является основной причиной временной и пространственной неоднородности элементов ледового режима. Например, пресноводные водоёмы в дельте р. Днепр и Бугский лиман обычно ежегодно замерзают, а устьевые водотоки р. Днепр, проливы и западная часть устьевого взморья – значительно реже, отдельные участки замерзают ненадолго, а иногда и вообще не замерзают. В водотоках может наблюдаться ледоход и шугоход, а на открытом устьевом взморье – дрейф льда под действием ветра и течений. В это время водоёмы уже могут быть покрыты сплошным неподвижным льдом.

Районирование морского устья рек по характерным особенностям ледового режима вполне соответствует схеме климатических районов, представленных на рис. 1.29. Наибольшее тепловое и распресняющее влияние попусков из каскада водохранилищ проявляется в Днепровском (I), влияние моря – в Лиманно-морском (III), а континентальности климата – в Южнобугском (II) районах.

Однако выделяются и локальные участки, с характерными ледовыми явлениями, которые обусловлены морфометрическими и динамическими особенностями отдельных частей устья.

Мелководные прибрежные части устьевого взморья с меньшей скоростью течения, чем в водотоках, и небольшим теплозапасом охлаждаются и замерзают раньше, а очищаются ото льда позже, чем глубоководные участки морского устья рек.

Образование внутриводного льда характерно для района Кинбурнского пролива Днепровско-Бугского лимана, чему, очевидно, способствует расслоённость водной массы: переохлаждённая (из-за высокой солёности и низкой температуры) вода располагается под охлаждённым более пресным слоем воды. В древности внутриводный лёд в лимане представлял существенные затруднения для парусных судов. В этом же районе устья иногда образовывались навалы льда на берега, высота которых достигала 5 – 10 м.

Естественное развитие ледовых явлений нарушается под воздействием антропогенных факторов. Например, при проведении ледокольных работ для осуществления зимнего судоходства, попусках ГЭС ледяной покров часто разрушается, а затем вновь может образовываться. В результате работы Каховской ГЭС ниже г. Новая Каховка формируется незамерзающая полынья. Иногда, при большом стоке воды, весь устьевой участок р. Днепр не замерзает. В ледяном покрове лимана часто возникают трещины.

Сравнительный анализ ледового режима до зарегулирования стока рек и после показал, что влияние антропогенных факторов на ледовый режим в устье выражено весьма заметно [80, 81]. Здесь изменения элементов ледового режима, происшедшие после сооружения каскада водохранилищ, превышают среднеквадратические отклонения соответствующих характеристик за период естественного режима стока. Из-за увеличения стока тепла в осенне-зимний период увеличилась температура воды, сроки появления льда стали более поздними, а очищения ото льда более ранними, уменьшилась продолжительность ледовых явлений, толщина льда и ледовитость.

В Днепровском климатическом районе под влиянием речного стока, с одной стороны, создаются благоприятные условия для ледообразования, так как река может охлаждать и опреснять прилегающую часть взморья, с другой, – адвекция тепла речными водами и турбулизация верхнего слоя воды удлиняют период охлаждения, препятствуют образованию ледяного покрова и способствуют образованию внутриводного льда.

В Лиманно-морском районе поступление более тёплых морских вод препятствует ледообразованию, а в период, когда морская вода переохлаждена, наоборот, ледообразование интенсифицируется.

Существенную роль в развитии ледовых явлений играет адвекция речных и морских вод, являющихся не только носителями кинетической и тепловой энергии, но и ледового материала. Поэтому неоднородность тепловых и динамических факторов в морском устье рек является одной из основных причин многообразия, одновременно отмечающихся в устье ледовых явлений.

Результатом изменения гидрометеорологических условий и адвекции разнородных вод является образование в морском устье рек ледяного покрова, особой слоистой структуры, с различной плотно-

стью, солёностью и текстурой слоёв, изучая которые можно сделать выводы о преобладающих факторах ледообразования в различных частях устья.

Значительную роль в формировании и развитии тепловых и ледовых процессов играет речной сток тепла. Обладая тепловой и кинетической энергией, сток рек влияет на теплообмен с атмосферой, взморьем и морем, обусловливает распределение температуры воды и ледового материала, оказывает тепловое и распресняющее воздействие. Масштабы теплового воздействия стока рек, особенно р.Днепр, сопоставимы с влиянием метеорологических факторов.

Ветер способствует перемешиванию вод, вызывает волнение и течения, увеличивает интенсивность теплообмена с атмосферой. Влияние ветра на ледовые процессы может быть разнонаправлено: он способствует образованию внутриводного льда; ледяной покров, образующийся при ветре, имеет бо̀льшую толщину, чем формирующийся при штилевых условиях. Под воздействием ветра лёд взламывается и дрейфует. Дрейф льда может способствовать увеличению ледовитости за счёт приносного льда или её уменьшению при выносе льда в море.

Солёность воды оказывает влияние на замерзание (т.к. чем больше солёность, тем ниже температура замерзания), формирование ледяного покрова, структуру льда и его прочность. В то же время, солёность, как было показано ранее (гл. 5), зависит от стока воды и поэтому является второстепенным фактором. К тому же, для рассматриваемого морского устья рек солёность поверхностного слоя воды зимой обычно ниже 18 ‰, следовательно, температура наибольшей плотности выше температуры замерзания и все гидрофизические процессы, связанные с замерзанием, в основном, такие же, как и для пресной воды.

Ледовые условия в морском устье рек определяются суровостью зимы, т.е. температурными условиями атмосферы. Влияние на лёд комплекса вышерассмотренных разнонаправленных факторов, в разной мере усиливает или ослабляет воздействие главного из них – температуры воздуха. Суровость зимы характеризует степень развития ледовых процессов, т.е. позволяет с определённой долей достоверности типизировать зимние условия по толщине льда, ледовито-

сти, продолжительности ледовых явлений и другим элементам режима.

Критерии суровости зим по средним суммам отрицательных среднесуточных температур воздуха (ΣT_-) на метеостанциях морского устья рек уточнены в работе [7] и имеют следующие значения: зимы относились к мягким, если ΣT_- не превышала -185 ˚С; к суровым, когда ΣT_- превышала -385 ˚С; считались умеренными в том случае, если за ледовый сезон сумма отрицательных средних суточных температур воздуха попадала в интервал от -185 до -385 ˚С.

Интегральная характеристика типа ледового сезона – сезонная сумма отрицательной среднесуточной температуры воздуха на разных постах неодинакова, так как микроклимат отдельных структурных компонентов этого крупного устьевого региона имеет различия (разд. 1.7). Например, климатические условия зимы в г. Николаеве суровей, чем в г. Очакове. Ледовые условия на севере Бугского лимана в основном определяются температурой воздуха, в устьевых рукавах р. Днепр и на устьевом участке этой реки на них влияют сбросы Каховской ГЭС и ледокольные работы, в открытой части устьевого взморья и в западном районе Днепровского лимана сказывается отепляющее влияние моря. Наибольший размах «сумм холода» (ΣT_-) характерен для континентального подрайона Южнобугского климатического района, наименьший – для Лиманно-морского района (рис. 1.29).

Для получения фоновой оценки суровости ледового сезона в морском устье рек суммы отрицательных средних суточных температур воздуха осреднялись, т.е. суровость зим определялась по средним из значений «сумм холода» на метеостанциях в городах Очаков ($\Sigma T_{-Очаков}$), Николаев ($\Sigma T_{-Николаев}$) и Херсон ($\Sigma T_{-Херсон}$) по формуле [80]

$$\Sigma T_- = (\Sigma T_{-Очаков} + \Sigma T_{-Николаев} + \Sigma T_{-Херсон}) / n, \qquad (6.1)$$

где n – число метеостанций, равное 3.

Многолетние изменения «сумм холода» за ледовый сезон (ΣT_-) представлены на рис. 6.2. Значимых тенденций в их вековом ходе не обнаружено. Так, оценка трендов по критерию Фишера свидетельствует о том, что даже для 1 %-ного уровня значимости гипотеза о равенстве нулю углового коэффициента уравнения прямой (уравне-

ния тренда на рис. 6.2) подтверждается с вероятностью 97 – 99 %. Наиболее мягкой была зима сезона 1865 – 1866 гг., наиболее суровой – 1953 – 1954 гг.

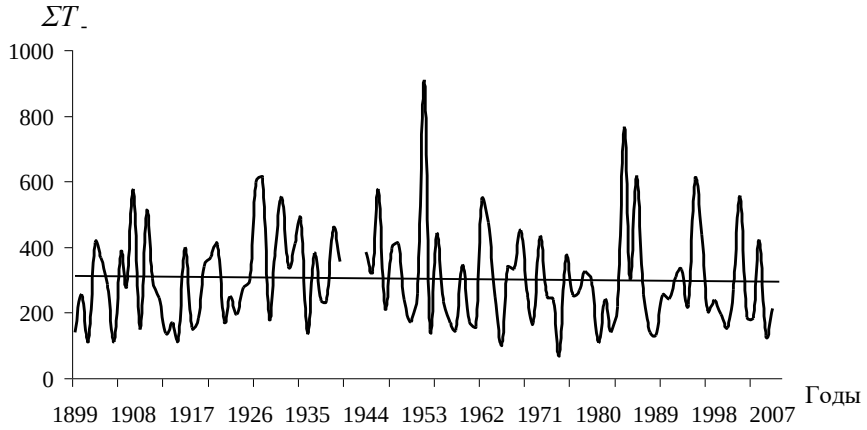


Рис. 6.2. Многолетние изменения средних по морскому устью рек Днепр и Юж. Буг сумм отрицательных средних суточных температур воздуха (ΣT_-) за ледовые сезоны 1889/1990 гг. – 2008/2009 гг**.**

В морском устье рек повторяемость суровых и мягких зим, определённых по указанным критериям за весь период наблюдений, составляет по 25 %, умеренных – 50 %. В современный климатический период (с 1961 г. по 2009 г.) повторяемость умеренных зим увеличилась до 58 %, мягких и суровых зим уменьшилась до 21 %. Вероятно, сооружение водохранилищ и прудов, глобальные климатические процессы, местные особенности микроклимата способствовали уменьшению его континентальности (разд. 1.7).

По данным Кисловодской горной станции Пулковской обсерватории [95] изменения значений ΣT_- и чисел Вольфа (*Wolf*) происходят в противофазе, о чём свидетельствует фрагмент, представленный на рис. 6.3, подтверждающий выводы о доминировании гелиофизических процессов в формировании зимних погодных условий.

После выделения скрытых периодичностей методом А. Шустера [96] и фильтрации высоких частот установлено, что изменения ΣT_- имеют цикличность 10 – 12, 22 – 25 и 78 – 80 лет.

Из короткопериодных колебаний наиболее значимы 2 – 4-х летние периоды, составляющие 60 % от всех выделенных циклов. Причём, по 21 % случаев в два смежных года отмечаются суровые или мягкие зимы. Обычно годы с умеренными условиями зим бывают смежными по 3 – 5 лет. Смежность умеренных по суровости зим имеет повторяемость, также равную 21 %. В остальных случаях суровость зим может чередоваться в любых комбинациях: например, в 23 % случаев суровая зима сменялась мягкой или наоборот.

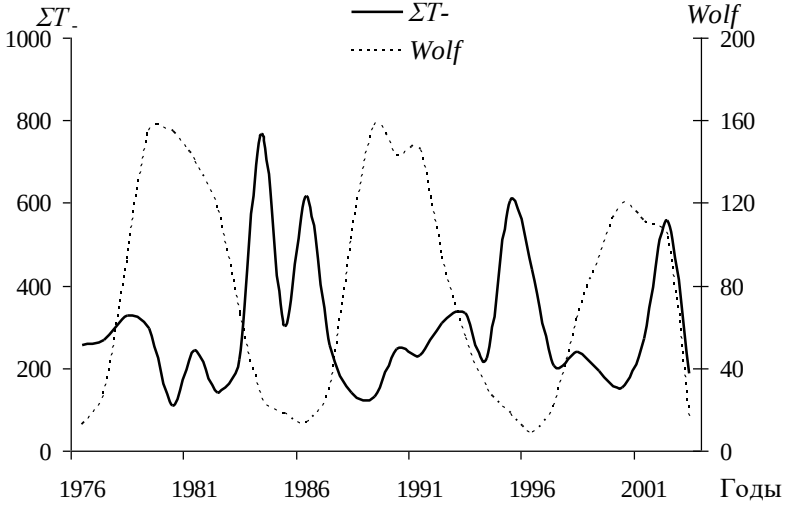


Рис. 6.3. Фрагмент изменений средних в морском устье рек сумм отрицательных среднесуточных температур воздуха (ΣT_-) и чисел Вольфа (*Wolf*)

В морском устье рассматриваемых рек основное внимание при изучении ледового режима уделялось датам начала и окончания ледовых явлений, их продолжительности, толщине льда и ледовитости. Все остальные характеристики ледового режима определялись эпизодически, не являются основными и исследовались, в основном, качественно.

Так как элементы ледового режима зависят не только от температуры воздуха, но, в разной степени, и от стока тепла р. Днепр, в разделе также уделено внимание этим зависимостям, как возможному пути решения прогнозных задач.

6.1 Фазы ледового режима

Отличия ледового режима отдельных участков морского устья рек Днепр и Юж. Буг, обусловленные вышерассмотренными природными и антропогенными факторами, проявляются в неодновременности сроков начала и окончания ледовых фаз, продолжительности и вероятности различных ледовых явлений. Знанием указанных характеристик определяется эффективность хозяйственной деятельности в регионе в зимний период, особенно судоходства.

Даты начала и окончания ледовых явлений. Средние и экстремальные (за ледовые сезоны с 1960/1961 гг. по 2008/2009 гг.) сроки появления и исчезновения льда в разных частях морского устья рек представлены в табл. 6.1, а их распределение показано на рис. 6.4.

Так как повторяемость умеренных зим в период с 1960/1961 гг. по 2008/2009 гг. составляет 58 %, средние значения сроков основных фаз ледового режима, представленные в табл. 6.1, характеризуют умеренные и близкие к ним по ледовым характеристикам сезоны. Отклонения от средних значений могут составлять 1 – 2 мес., в зависимости от гидрометеорологических условий. Сроки начала и окончания ледовых фаз в различных частях морского устья рек неодинаковы (рис. 6.4). Ранее всего лёд образуется в озёрах, мелководьях северного берега Днепровского лимана и в Бугском лимане – наиболее ледовитых районах рассматриваемого региона. Первый лёд у берегов в центральной части Днепровского лимана и в Бугском лимане в среднем появляется 10 – 20 декабря, а в рукавах р.Днепр (из-за влияния стока р.Днепр) и в западной части лимана (под влиянием морского притока) – в конце декабря – начале января. Размах дат появления льда существенный – наиболее ранняя дата появления льда отмечалась 01.11, наиболее поздняя 01.03.

После сооружения каскада водохранилищ на р. Днепр, под влиянием регулирования стока воды и тепла, сроки образования льда сместились на более поздние: в устьевых водотоках р. Днепр на 20 – 25 сут, в Днепровском лимане на 5 – 10 сут. В северной части Бугского лимана они почти не изменились. Поэтому ледовые явления в умеренные и мягкие зимы в Днепровском и Лиманно-морском районах стали менее продолжительными.

Таблица 6.1

Основные фазы ледового режима (за 1960/1961 гг. – 2008/2009 гг.)

Пункт – водный объект	Первое появление льда	Первое полное замерзание	Окончательное исчезновение льда	Ранняя дата появления льда	Поздняя дата исчезновения льда
г. Нов. Каховка – р. Днепр	09.01 (95 %)	нб (72 %)	27.02 (95 %)	26.11.1993	16.03.1972
с. Калининское – р. Ингулец*)	09.12	20.12	15.03	02.11.1953	09.04.1965
г. Херсон – р. Днепр	11.01 (98 %)	17.01 (53 %)	26.02 (98 %)	26.11.1993	30.03.1985
с. Касперовка – рук. Рвач	29.12 (98 %)	11.01 (88 %)	01.03 (98 %)	11.11.1993	29.03.2003
г. Голая Пристань – рук. Конка*)	23.12	09.01 (89 %)	05.03	28.11.1973	24.03.1964
г. Нов.Одесса – р. Юж.Буг*)	10.12	20.12 (99 %)	16.03	01.11.1953	05.04.1952
с. Новогорожено – р. Ингул*)	07.12	17.12 (98 %)	14.03	04.11.1953	03.04.1956
г. Николаев – Бугский лим.	19.12	26.12	10.03	18.11.1965, 18.11.1984	03.04.1969
с. Парутино – Бугский лим.	21.12	31.12 (98 %)	01.03	11.11.1993	04.04.1969
с. Станислав – Днепровский лим.	13.12	02.01 (94 %)	04.03	02.11.1979	02.04.1987
с. Геройское – Днепровский лим.	14.12	22.12	08.03	03.11.1979	05.04.1985
г. Очаков – Днепровский лим.	26.12	08.01 (82 %)	06.03	18.11.1993	09.04.1987
г. Очаков – открытое взморье	29.12	нб (88 %)	03.03	19.11.1993	02.04.1985, 02.04.1987

*Примечания: *) – за весь период наблюдений; нб – явление не наблюдалось, в скобках (в % от общего числа лет), приводится число лет, когда явление не отмечалось; рядом с датами в скобках приводится число лет, когда явление отмечалось, в % от общего числа лет наблюдений.*

В суровые и умеренные зимы сплошной ледяной покров обычно образуется в конце декабря – начале января. Он неоднократно разрушается попусками из Каховского водохранилища, судами, а также из-за потеплений и взлома ветром.

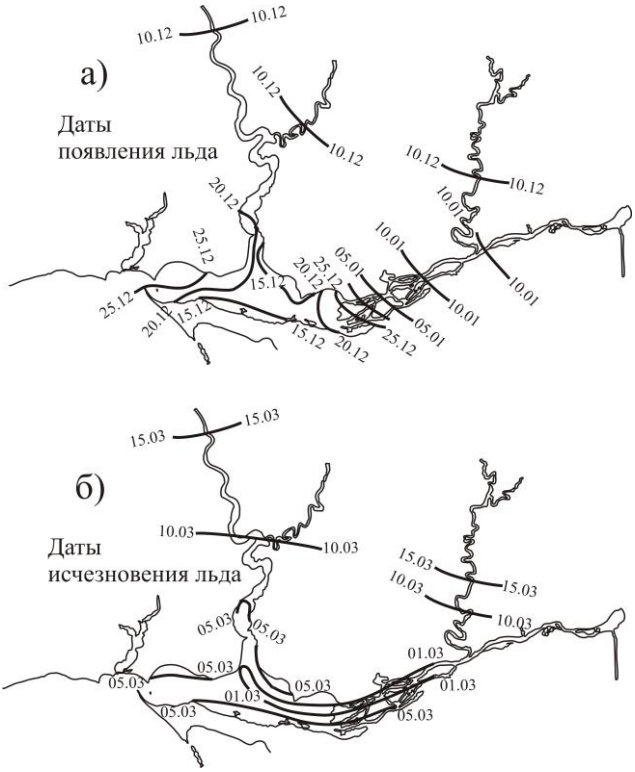


Рис. 6.4. Распределение сроков начала (а) и окончания (б) основных фаз ледового режима в морском устье рек Днепр и Юж. Буг

Очищение от льда различных частей морского устья рек происходит более «дружно», чем ледообразование и установление ледяного покрова. Так, если сроки появления льда разняться на месяц, то исчезновение льда происходит обычно в течение полумесяца. В среднем в первой декаде марта начинается устойчивое потепление, являющееся основной причиной ледотаяния.

Полное очищение акватории устья ото льда обычно заканчивается в середине марта (табл. 6.1). Сначала, в конце февраля – начале марта, очищаются рукава р.Днепр, восточная часть Днепровского лимана, акватории Кинбурнского и Сакенского проливов. В первой декаде марта на бóльшей части Днепровского лимана ледовых явлений не наблюдается. Позже всего очищается ото льда северная часть Бугского лимана и устьевые участки рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец. В результате хозяйственной деятельности окончательное исчезновение льда происходит на 5 – 25 суток раньше, чем в период естественного режима стока рек Днепр и Юж. Буг.

Сначала лёд выносится из устьевых водотоков р. Днепр (в среднем 26 – 28.02), чему способствуют сбросы ГЭС и зимняя навигация. В первой декаде марта очищается ото льда бóльшая часть Днепровского лимана и позже, 10 – 15.03, лёд исчезает в Бугском лимане и на устьевых участках рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец (рис.6.4).

Иногда ледовые явления продолжаются до первой декады апреля (табл. 6.1). Размах между ранней датой появления льда и поздней датой его исчезновения – 5,3 мес. Редкий ледовый сезон не прерывается оттепелями, при которых лёд иногда полностью исчезает и вновь образуется при последующем похолодании. В среднем за ледовый сезон отмечается 1 – 7 вскрытий и полных очищений от всех форм льда (рис. 6.5). Число вскрытий и замерзаний за зиму иногда достигает 12, что обусловлено крайней неустойчивостью ледяного покрова под влиянием природных и антропогенных факторов. В связи с этим ледоход и дрейф льда может отмечаться не только в начале и конце ледового сезона, но и любое время.

Продолжительность ледовых явлений. Неодновременность сроков появления и исчезновения льда в различных частях морского устья рек Днепр и Юж. Буг обусловливает неодинаковую продолжительность ледовых явлений, ледового сезона и др. характеристик зимнего режима. Обобщённые данные стационарных наблюдений за продолжительностью ледовых явлений, определяемой (в связи с неустойчивостью ледяного покрова) по суммарному числу дней со льдом за сезон, приведены в табл. 6.2. Здесь же помещены сведения об общей продолжительности ледового сезона, определённой от даты появления первых ледовых образований до даты окончательного очищения ото льда.

Продолжительность ледовых явлений между отдельными час-

Таблица 6.2

Продолжительность ледовых явлений за 1960/61 гг. – 2008/2009 гг.

Пункт – водный объект	Число суток с ледовыми явлениями	Максимальное число суток со льдом	Число суток со сплошным неподвижным льдом: среднее/макс.	Продолжительность ледового сезона	Максимальная продолжительность ледового сезона
г. Нов. Каховка – р. Днепр	18	40	4 / 17	50	110
с. Калининское – р. Ингулец*)	96	152	80 / 133	97	153
г. Херсон – р. Днепр	34	93	9 / 44	46	105
с. Касперовка – рук. Рвач	45	110	23 / 72	63	117
г. Голая Пристань – рук. Конка*)	50	115	27 / 75	73	120
г. Нов. Одесса – р. Юж. Буг*)	83	149	70 / 123	97	150
с. Новогорожено – р. Ингул*)	89	145	75 / 129	98	151
г. Николаев – Бугский лим.	71	122	43 / 110	89	137
с. Парутино – Бугский лим.	59	117	37 / 103	77	123
с. Станислав – Днепровский лим.	61	117	29 / 85	82	138
с. Геройское – Днепровский лим.	70	127	55 / 120	86	141
г. Очаков – Днепровский лим.	57	114	10 / 52	69	122
г. Очаков – открытое взморье	45	101	– / 12	65	109

*Примечание: знак «–» означает, что явление полного замерзания отсутствовало в 88 % от всех лет наблюдений; *) – приводятся данные за весь имеющийся период наблюдений.*

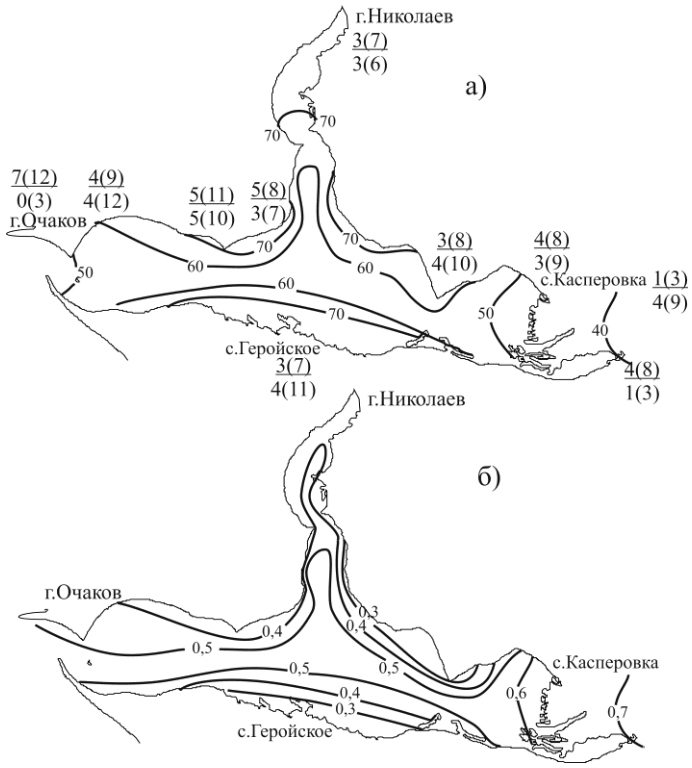


Рис. 6.5. Распределение среднего многолетнего числа суток со льдом (а) и его C_v (б); в числителе число очищений ото льда, в знаменателе – вскрытий за сезон, в скобках – соответствующие экстремумы (а)

тями устья сильно разнится, особенно на границах морского устья рек: число дней со льдом в среднем составляет 20 – 100, максимумы достигают 40 – 150 сут. Наибольшая продолжительность ледового сезона около 5 мес. (153 сут) характерна для северных речных границ морского устья рек.

На рис. 6.5 показано, как распределяется по акватории морского устья рек продолжительность ледовых явлений и её коэффициент вариации. Очевидно, что в районах мористых границ ледяного покрова, дельты и Кинбурнского пролива его целостность чаще нарушается (под действием ветра, волнения, сбросов ГЭС и в результате

судоходства), чем у берегов, что и способствует уменьшению продолжительности ледовых явлений по направлению к судоходному каналу, к дельте р. Днепр и к открытой части взморья.

На изменчивость числа суток со льдом (C_v) также оказывает влияние сток р. Днепр, приток морских вод и проводка судов вдоль судоходного канала, которые, безусловно, увеличивают значения этой характеристики.

Средняя продолжительность ледостава изменяется от его отсутствия (в открытой части устьевого взморья сплошной ледяной покров не образуется в большинстве ледовых сезонов) до 55 сут (в мелководных частях Днепровско-Бугского лимана). Наибольшая продолжительность ледостава характерна для устьевых участков малых рек, Бугского лимана и мелководий Днепровского лимана (табл. 6.2), наименьшая – отмечается в рукавах р. Днепр и на взморье Днепровско-Бугского лимана (и составляет 5 – 10 сут).

Анализ тенденций числа суток со льдом за период с 1960/1961 гг. по 2008/2009 гг. свидетельствует об их отсутствии на всех постах, кроме г. Николаева и с. Парутино. В Бугском лимане продолжительность ледовых явлений в среднем уменьшается на 0,6 – 0,7 сут/год (рис. 6.6). Учитывая, что температурный режим атмосферы и солёность воды здесь значимых тенденций не имеют (разд. 1.7, разд. 5.3), а по данным НЦГМ в 1981 г. наблюдения на этих постах были перенесены [46], можно полагать, что обнаруженные тренды обусловлены переносом пунктов наблюдений, т.е. нарушением однородности рядов. Это подтверждается тем, что с 1981/1982 гг. по 2008/2009 гг. значимых тенденций продолжительности ледовых явлений в г. Николаеве и с. Парутино не обнаружено.

Эксплуатация водохранилищ днепровского каскада привела к сокращению продолжительности ледовых явлений в устьевых рукавах р. Днепр на 30 – 40, а в лимане – на 10 – 20 сут. Средняя продолжительность периода с ледовыми явлениями составляет в умеренные зимы 40 – 75 сут, а в суровые – может достигать 125 сут.

Осенью и весной в водотоках дельты и на устьевом участке р.Днепр обычно отмечается ледоход и шугоход. Изменение уровня хозяйственной деятельности способствовало увеличению продолжительности осеннего ледохода на 2 – 3 сут и уменьшению продолжительности весеннего ледохода в 2 – 3 раза. Вероятность осеннего ледохода составляет 45 – 60 %, весеннего – 60 – 75 %.

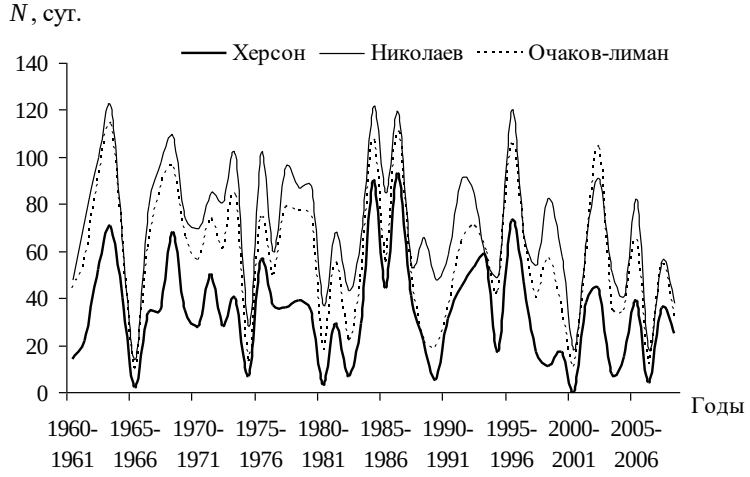


Рис. 6.6. Многолетние изменения продолжительности ледовых явлений

Сейчас осенний ледоход в устьевых водотоках р. Днепр продолжается в среднем 4 – 7 сут, а на нижнем участке дельты р. Днепр (2в, рис. 1.3) – около 5 сут. Однако теперь он может наблюдаться в течение всей зимы. Так, после зарегулирования стока р. Днепр Каховским водохранилищем, в 32 % всех зим ледоход отмечался весь ледовый сезон и продолжался в среднем 20 сут (от 2 до 45 сут).

На устьевом участке р. Юж. Буг осенний ледоход отмечается в 15 % зим. Весенний ледоход в среднем продолжается 10 сут (от 2 до 30 сут) и бывает в 77 % ледовых сезонов.

Затороопасными участками являются: устьевой участок р. Днепр в районе переката и поворота русла, в 7 – 8 км ниже водпоста Нов. Каховка и на р. Юж. Буг – в 0,7 км ниже водпоста Александровка. Иногда заторы отмечались в районах: г. Николаева – 25.02. 1953 г.; г. Херсона – 15.12.1959 г., с. Касперовка – 24.03.1932 г., а зожор льда у г. Голая Пристань произошёл 04.01.1964 г.

Вероятность образования льда. Важной характеристикой для осуществления зимней навигации является вероятность различных ледовых явлений: первого появления льда, полного замерзания акватории и др., так как неподвижный лёд, толщиною более 35 см, может являться серьёзной проблемой при проводке судов.

В морском устье рек Днепр и Юж. Буг ледовые явления наблюдаются ежегодно. В среднем, в конце декабря, после перехода температуры воздуха через 0˚С к отрицательным значениям, начинается ледообразование. Но, происходит оно не одновременно, из-за отмеченных выше особенностей водного режима отдельных районов морского устья рек.

Наиболее вероятный срок первого появления льда в лимане приходится на декабрь. Из-за работы каскада ГЭС, в нижнем бьефе Каховского водохранилища обычно образуется незамерзающая полынья. В связи с этим, наибольшая вероятность появления льда на участке г. Херсон – с. Касперовка отмечается в январе (с повторяемостью 50 %). При современном режиме стока р. Днепр на устьевом участке реки и в её крупных рукавах первичные формы льда иногда наблюдаются в марте (3 %) или вообще лёд не образуется в течение всего ледового сезона. Вероятность появления льда в ледовый сезон увеличивается по направлению от г. Нов. Каховка к лиману с 30 до 90 %. В северной части Бугского лимана её значения наибольшие и представлены по месяцам в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Вероятность ледовых явлений (%) в Бугском лимане у г. Николаева в различные по суровости зимы за 1960/1961 гг. – 2008/2009 гг.

Суровость зимы	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Суровая	50	100	100	100	100	20
Умеренная	35	93	100	100	92	8
Мягкая	42	71	100	100	78	0

На рис. 6.7 показано распределение по пространству вероятности первого полного замерзания акватории морского устья рек.

Ледостав ежегодно устанавливается на устьевом участке р. Ингулец, полностью замерзает прибрежная часть Кинбурнской косы со стороны лимана. В 98 – 99 % зим ледостав отмечается на устьевых участках рек Юж. Буг и Ингул. С вероятностью менее 25 и даже 15 % полное замерзание бывает в районе Кинбурнского пролива и в открытой части устьевого взморья.

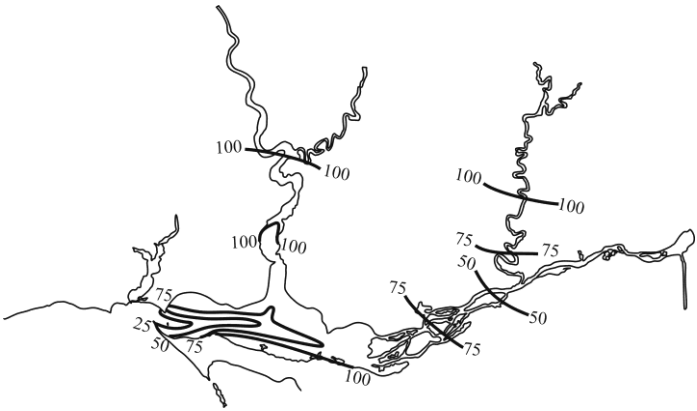


Рис. 6.7. Вероятность (%) полного замерзания акватории

Влияние стока тепла рек на ледовые характеристики. Анализ наблюдений за ледовыми явлениями, сроками их наступления и окончания, продолжительностью отдельных фаз ледового режима в морском устье рек Днепр и Юж. Буг показал, что при мало изменившихся температурных условиях атмосферы (разд. 1.7) все характеристики ледового режима в настоящее время более соответствуют условиям умеренных и мягких зим, так как сократилась продолжительность ледовых явлений, уменьшилась вероятность установления ледостава. Учитывая, что «суммы холода» (ΣT_-) в ледовый сезон практически остались неизменными (рис. 6.2), все указанные изменения, вероятно, связаны не столько с глобальным потеплением климата, сколько с изменением уровня хозяйственной деятельности в бассейнах рек и в их общей устьевой области, влиянием местного климата.

В первую очередь, на ледовые процессы влияет эксплуатация водохранилищ, так как в результате регулирования стока рек произошло увеличение стока воды и тепла в предзимний и зимний периоды. Очевидность связи стока тепла рек и сроков начала и окончания фаз ледового режима показана в работах [7, 80]. Теснота зависимостей, применимых для любых температурных условий ледового сезона, характеризуется коэффициентами корреляции 0,82 – 0,98.

Например, зависимость отклонений дат появления неподвижного льда от средних значений (ΔD, сут.) в судоходном рукаве Рвач от

стока тепла р. Днепр в декабре (Θ_{XII}, 10^{15}Дж) имеет простой вид (6.2) и среднюю ошибку, в 88 % случаев не превышающую ± 5 сут,

$$\Delta D = 0.87\Theta_{XII} - 45. \quad (6.2)$$

Зависимости аномалий дат исчезновения неподвижного льда, продолжительности ледовых явлений и других характеристик ледового режима от стока тепла в марте или, соответственно, за сезон имеют более сложный вид [7, 80].

Совместный анализ материалов ледовых наблюдений и данных о стоке тепла за современный климатический период позволяет оценить масштабы влияния стока тепла р. Днепр на ледовые характеристики в фазы ледообразования, максимального развития ледяного покрова, вскрытия и очищения ото льда в рукавах р. Днепр и Днепровском лимане. Так, увеличение или уменьшение стока тепла р. Днепр в декабре в 2 раза приводит к смещению сроков ледообразования почти на месяц. Влияние стока тепла р. Днепр на ледовые процессы, особенно в Днепровском климатическом районе, сопоставимо с воздействием атмосферных факторов, так как в зимы любой суровости зависимости одни и те же и достаточно тесны [80].

Удельный сток тепла, полученный путём деления среднего месячного стока тепла рек на зону его теплового влияния, является определяющим фактором продолжительности ледовых явлений на устьевом взморье. Причём, это справедливо не только для Днепровско-Бугского лимана, но и для взморьев других крупных рек [7, 80].

Прогноз дат ледовых явлений. Зависимости характеристик ледового режима от стока тепла рек не только раскрывают их физическую обусловленность от одного из основных факторов, но и дают возможность использовать сток тепла рек в качестве предиктора для разносрочных ледовых прогнозов.

Возможность использования для прогнозов различных ледовых характеристик стока тепла рек (особенно, когда связи с температурой воздуха и другими атмосферными факторами недостаточно эффективны) показана на примере расчёта сроков появления неподвижного льда в восточной части Днепровского лимана (у с. Станислав).

Зависимости сроков появления неподвижного льда у с. Станислав от температуры воздуха и воды характеризуются коэффициен-

тами корреляции -0,50 и -0,65. Более высокий коэффициент корреляции (0,82) имеет зависимость даты появления неподвижного льда у с. Станислав от расхода воды у Каховской ГЭС на дату устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям.

Связь даты появления неподвижного льда в лимане с датой устойчивого похолодания также довольно тесная, она имеет коэффициент корреляции 0,81, а при использовании в качестве предиктора стока тепла р. Днепр коэффициент корреляции увеличивается до
0,86. При этом, связь даты перехода температуры воздуха через 0 ºС к отрицательным значениям со стоком тепла р. Днепр на эту же дату не обнаружена (коэффициент корреляции равен 0,48).

На рис. 6.8 представлена зависимость даты появления неподвижного льда в с. Станислав от даты перехода температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям в г. Херсоне и расхода тепла (10^9 Вт) р. Днепр у Каховской ГЭС. Эту зависимость можно использовать в практических расчётах. Сток тепла, учитывая в комплексе температуру водной массы, объём воды и её перенос, наилучшим образом характеризует тепловые и динамические условия восточной части Днепровского лимана, поэтому коэффициент множественной корреляции указанной зависимости высок и равен 0,97.

Уравнение полученной прогностической зависимости, члены которого выражены в отклонениях от средних многолетних дат, имеет вид

$$D_c - 0{,}51D_x = 1{,}08\Theta_p + 1{,}38, \qquad (6.3)$$

где D_c – отклонение от средней даты появления неподвижного льда в лимане у с. Станислав, сут; D_x – отклонение даты перехода температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям в г. Херсоне от средней, сут; Θ_p – расход тепла р. Днепр на дату перехода температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям, 10^9 Вт.

Средняя квадратическая ошибка зависимости составляет 5, а среднее квадратическое отклонение дат появления неподвижного льда – 19 суток.

Для западного района Днепровского лимана подобные зависимости (рис. 6.8) имеют более низкие значения коэффициентов корреляции, а для с. Касперовки и г. Херсона – более высокие, что обусловлено степенью влияния стока тепла р. Днепр на ледовые процессы в этих районах.

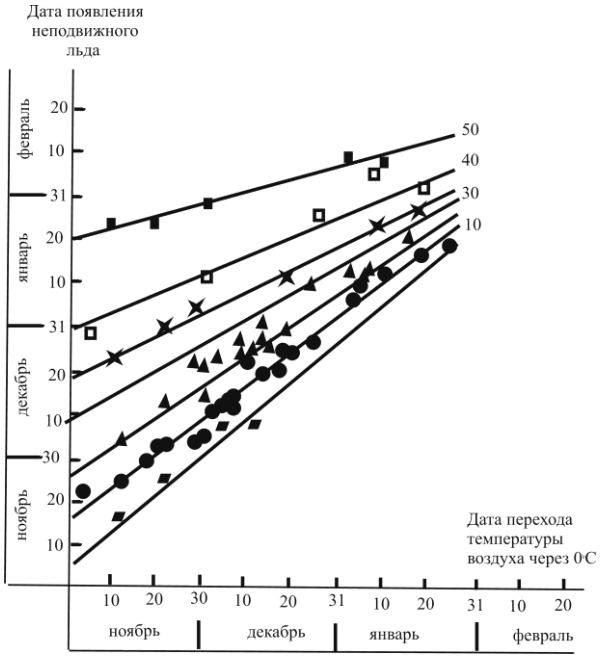


Рис. 6.8. Зависимость даты появления неподвижного льда в Днепровско-Бугском лимане у с. Станислав от даты перехода температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям в г. Херсоне и расхода тепла (10^9 Вт) р. Днепр (цифры у линий) на эту дату

Средняя заблаговременность прогноза составляет 13 сут (изменяясь от 1 до 43 сут), т.е. такой прогноз можно отнести к среднесрочным. Допустимая погрешность прогноза при заблаговременности 13 сут согласно [97] равна 4 сут, а средняя погрешность проверочных прогнозов – 2 сут. Оправдываемость проверочных прогнозов по уравнению (6.3) около 87 %, а в 96 % случаев отклонение проверочных прогнозов от фактических значений не превышает 4 сут.

Физический смысл зависимости (6.2) заключается в том, что процессы замерзания в морском устье рек, приводящие к образованию неподвижного льда, обусловлены не только похолоданием, но и адвекцией тепла с речным стоком. При ранних устойчивых морозах, в зависимости от стока тепла р. Днепр, неподвижный лёд в зоне его влияния может появиться в течение 2 – 2,5 месяцев, а при позднем

похолодании – в течение месяца, так как сумма отрицательной температуры воздуха в январе уже существенна и вода более охлаждена. При малом стоке тепла неподвижный лёд появляется сразу после похолодания (в течение 1 – 3 дней), а при большом стоке тепла процесс замерзания длится месяц и более.

Даты окончания ледовых явлений также связаны со стоком тепла рек и могут быть определены для устьевого взморья рек Днепр и Юж. Буг по расходу тепла р. Днепр на дату перехода температуры воздуха через 0 °С к положительным значениям температуры в г.Херсоне. Такие разработки довольно эффективны, не требуют сложных вычислений и прогноза погоды, в условиях водных объектов с неустойчивым ледяным покровом имеют достаточную заблаговременность (бо̀льшую, чем при использовании прогноза погоды).

Продолжительность ледового плавания. Практическое значение имеет установление дат, в пределах которых планируется осуществление зимней навигации. Несмотря на сравнительную неустойчивость ледяного покрова и относительно небольшую толщину, лёд в Днепровско-Бугском лимане представляет существенное препятствие для судов низких ледовых категорий. Их проводка осуществляется караваном из 5 – 7 судов, а при сложной гидрометеорологической обстановке – из 2 – 3-х. Суда в основном проводились буксирами ледового класса или ледоколом. Продолжительность проводки каравана от г. Очакова до г. Херсона при благоприятных погодных условиях составляет в среднем 1 – 1,5 сут.

По материалам стационарных ледовых наблюдений на в/п Николаев за 1961 – 2009 гг. определены средние сроки ледового плавания для судов самой низкой ледовой категории (L_4) в различные по суровости зимы (табл. 6.4). Для судов более высоких ледовых категорий период ледового плавания будет меньше.

Таблица 6.4

Средние сроки и продолжительность ледового плавания в районе порта Николаев

Суровость зимы	Начало	Окончание	Продолжительность, сут.
Мягкая	06.12	24.01	49
Умеренная	16.12	13.03	88
Суровая	13.12	01.04	110

6.2. Ледовитость и толщина льда

Кроме сроков начала и окончания основных фаз ледового режима, их продолжительности, повторяемости явлений, важными характеристиками ледового режима являются ледовитость, толщина льда и др., такие, например, как торосистость и дрейф льда.

Несмотря на то, что морское устье рек Днепр и Юж. Буг является самым ледовитым районом Чёрного моря, пространственная изменчивость основных характеристик ледового режима остаётся до сих пор недостаточно изученной, исключая район г. Николаева, где выполнялись регулярные ледово-профильные и снегомерные наблюдения.

Изменение уровня хозяйственной деятельности в бассейне рек (сооружение водохранилищ, изъятия и регулирование стока рек, сбросы и др.) отразилось на теплообмене с атмосферой, что подтверждают, как непосредственные расчёты [80], так и изменение зависимостей температуры воды от температуры воздуха (рис. 4.1) и толщины льда от суммы отрицательной средней суточной температуры воздуха за ледовый сезон (рис. 6.9).

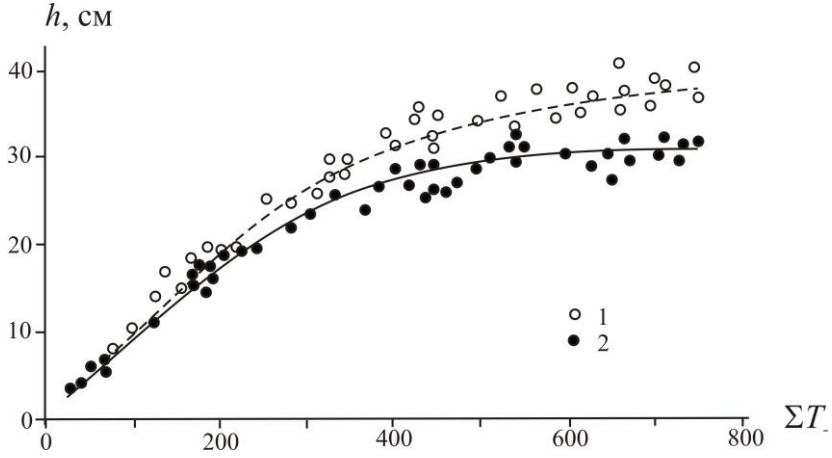


Рис. 6.9. Зависимость средней за зиму толщины льда (h) в с. Геройском от суммы отрицательной средней суточной температуры воздуха за ледовый сезон (ΣT_-) в период естественного (1) и зарегулированного (2) стока рек Днепр и Юж. Буг

Аналогичные зависимости получены для рукавов р. Днепр, восточной и центральной частей Днепровского лимана. По-видимому, в этих районах морского устья рек температура воды (гл. 4) и ледовые характеристики зависят от адвекции тепла из Каховского водохранилища и притока тепла из северо-западной части моря. В осенне-зимний сезон из Каховского водохранилища поступает более тёплая, чем в Днепровском лимане, вода, так как водохранилище глубже лимана и его теплозапас в это время больше.

Из-за этого температура воды в современный период (по сравнению с предшествующим) во время охлаждения и ледообразования возросла в среднем на 0,5 – 2 °С, что отразилось не только на продолжительности ледовых явлений, но и на толщине льда и ледовитости – степени покрытия льдом акватории.

Бугский лиман, особенно его северная часть, является одним из самых ледовитых районов устья. Здесь основным фактором ледообразования являются температурные условия зимнего сезона, что, впрочем, характерно и для других частей устья. В северной части Бугского лимана и на устьевом участке р. Юж. Буг такого, как на рис. 6.9, разброса точек на графиках $h = f(\Sigma T)$ не обнаружено, т.к. тепловое и динамическое воздействие стока р. Днепр здесь менее существенно, чем в Днепровском лимане.

Толщина льда и ледовитость в устьевой области реки зависит от суровости зимы. В современный период эти характеристики в среднем уменьшились на 15 – 20 % (по сравнению с периодом естественного стока рек), в основном, в начале и конце ледового сезона. В среднем, толщина льда в центральной части Днепровского лимана уменьшилась на 10, в западном районе – на 5, в восточном – на 15 см. В Бугском лимане она уменьшилась на 5 – 10 см, возможно, из-за переноса пункта ледовых наблюдений.

Толщина льда. Эта характеристика в основном измеряется в прибрежной части на тех же постах, где производят наблюдения за ледовыми явлениями (рис. 6.1). Зачастую – это толщина заберега или подошвы припая. Измерения не производились, если толщина льда была меньше 7 см или отмечался ледоход. При сплошном неподвижном ледяном покрове достаточной толщины наблюдения за толщиной льда производились на ледово-профильных разрезах, в основном, в районе г. Николаева. Данные о распределении толщины

льда по акватории лимана получены в результате специальных экспедиционных исследований и попутных ледокольных наблюдений.

В связи с тем, что ледовые явления в рассматриваемом морском устье рек отличаются неустойчивостью (ледяной покров образуется и исчезает несколько раз за зиму), а толщина льда при ледоходе не измеряется, хотя может достигать значительных величин, анализировалась, в основном, максимальная за ледовый сезон толщина льда. Сведения о наибольшей толщине льда за период с 1960/1961 гг. по 2008/2009 гг. представлены в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Статистические характеристики наибольшей толщины льда, см

Пункт – водный объект	Наибольшая толщина льда	Средняя из наибольших значений	*СКО*	C_v
г. Херсон – р. Днепр	60	30	17	0,57
с. Касперовка – рук. Рвач	34	16	10	0,59
г. Николаев – Бугский лим.	54	22	11	0,51
с. Парутино – Бугский лим.	56	25	14	0,54
с. Станислав – Днепровский лим.	62	19	12	0,63
с. Геройское – Днепровский лим.	52	26	12	0,46
г. Очаков – Днепровский лим.	50	22	13	0,60
г. Очаков – открытое устьевое взморье	48	18	13	0,74

Из табл. 6.5 видно, что в современный климатический период экстремальные значения толщины льда у берега изменяются в пределах 34 – 62 см, и чем устойчивей ледяной покров и больше вероятность его установления (рис. 6.5, 6.7), тем меньше изменчивость толщины льда.

Пространственное распределение различных форм льда в лимане и его толщины на стационарных постах в зависимости от суровости зим представлено на рис. 6.10. Очевидно, что наиболее ледовитыми месяцами являются январь и февраль. В это время в

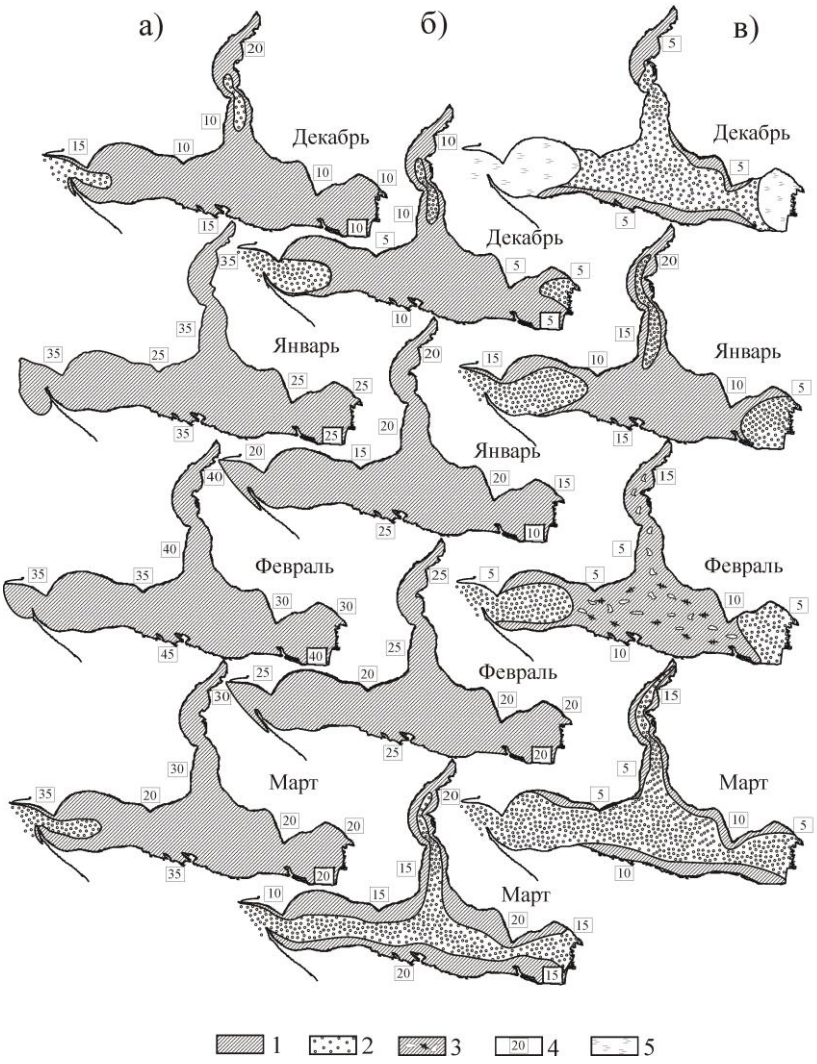


Рис. 6.10. Ледовитость и средняя толщина льда в устьевой области рек Днепр и Юж. Буг в суровые (*а*), умеренные (*б*) и мягкие (*в*) зимы

1 – неподвижный лёд; 2 – плавучий лёд; 3 – лёд с проталинами, полыньями, разводьями и трещинами; 4 – толщина льда (см); 5 – чистая вода

суровые и умеренные зимы Днепровско-Бугский лиман в большинстве случаев покрыт сплошным неподвижным льдом, вероятность припая на бóльшей части акватории составляет 100 %, толщина льда в суровые зимы в среднем достигает 25 – 45 см, в умеренные – 10 – 25 см, а в мягкие – 5 – 15 см.

Рисунок 6.10 характеризует средние месячные, а не экстремальные ледовые условия. Толщина льда, в период его максимального развития, который наступает обычно в конце января – начале февраля, составляет в среднем 20 – 30 см. В суровые зимы она достигает 35 – 65 см. Наибольшая толщина льда, когда-либо наблюдавшаяся в этом морском устье была зафиксирована в Бугском лимане в 1963 г. и достигала 95 см. Ледяной покров толщиной 89 см зафиксирован в районе г. Очакова в 1909 г., в г. Нов. Одесса максимальная толщина льда составляла 68 см (1954 г.), в г. Николаеве 59 см (1929 г.), в с. Станислав 70 см (1954 г.), в с. Геройское 71 см (1954 г.).

Ледяной покров имеет неодинаковую толщину в различных частях морского устья. В западном районе лимана лёд обычно тоньше, чем в Бугском лимане и у берегов центральной части Днепровского лимана. В распределении толщины льда по акватории обычно отмечается крайняя неоднородность: одновременно на одних участках эта величина может быть близка к нулю, на других – достигать 50 см и более. В одних случаях, в зависимости от конкретных условий ледообразования и замерзания, толщина льда у берега больше, чем в глубоководной части, в других – наоборот. Например, при ледокольных работах в открытой части устьевого взморья образуется торосистый лёд, толщина которого (в торосах) может значительно превышать толщину гладкого прибрежного льда. Так, в феврале 2010 г. толщина льда у берега составляла около 30 см, в Херсонском судоходном канале – более 40 см, а в торосах – до 80 см.

При поступлении переохлаждённых морских вод под сформировавшийся из более пресной воды ледяной покров, происходит ледообразование и нарастание льда снизу припая. В этих случаях толщина льда в районе Кинбурнского пролива может превышать толщину льда на других, более северных, участках морского устья. При скоплении плавучего льда в районе пролива он может смерзаться, образуя торосистые образования значительной толщины.

Изменение толщины льда в устьевых водотоках р. Днепр оценить затруднительно из-за постоянного его разрушения попусками из Каховского водохранилища и судами, а также отсутствия наблюдений на несудоходных рукавах.

Анализ многолетней изменчивости толщины льда на постах морского устья рек Днепр и Юж. Буг показал, что в период 1960/1961 гг. – 2008/2009 гг. значимые тенденции толщины льда отсутствуют, за исключением г. Николаева и с. Геройского. Очевидно, выявленные на этих постах значимые тенденции (толщина льда здесь в среднем уменьшается от сезона к сезону на 0,3 см) обусловлены переносом пунктов наблюдений за ледовыми явлениями, который произошёл в 1981 г. (г. Николаев) и в 1982 г. (с. Геройское). При этом продолжительность ледовых явлений на посту в с. Геройском значимых тенденций не имеет (разд. 6.1). Следовательно, уменьшение толщины льда после переноса пункта наблюдений, по-видимому, вызвано изменением теплозапаса водной массы (глубины, температуры воды), а также проточности в месте измерений.

В зимы любой суровости толщина льда у левых берегов чаще всего больше, чем у правых и в открытой части устьевого взморья, исключая участки торошения, в основном сосредоточенные вдоль судоходного канала и отмели, простирающейся параллельно Кинбурнской косе. Эта закономерность физически обусловлена сравнительной отмелостью и меньшей проточностью левобережных акваторий.

Интенсивность нарастания льда равна 1 – 4 см/сутки (в среднем, 2 см/сутки), интенсивность стаивания составляет 1 – 5 см/сутки (в среднем, 3 см/сутки).

Структура и текстура льда. По данным специальных наблюдений, выполненных в феврале – марте 1984, 1985 и 1987 гг. бóльшую часть ледяного покрова составляет 2 – 3-х слойный лёд со средней солёностью 0,8 – 1 ‰.

Например, типичный монолит льда, отобранный в марте 1984 г. в центральной части Днепровского лимана, был двухслойным: нижний слой состоял из водного льда столбчато-зернистой структуры, среднезернистого, прозрачного; верхний, поверхностный слой, был образован водно-снеговым льдом малопрозрачным, зернистым (рис. 6.11). При этом нижний слой льда был намного прочнее верхнего.

Более плотный лёд нижнего слоя был сформирован пресными водами, которые распространялись под ледяным покровом, образовавшимся из воды зоны смешения. При поступлении переохлаждённой морской воды на устьевое взморье, замерзает соприкасающаяся с ней более пресная вода, и лёд примерзает к нижней поверхности ледяного покрова [93]. Так образуется третий нижний слой льда, что иногда отмечается в суровые зимы, особенно в западном районе Днепровского лимана.

Вертикальная неоднородность ледяного покрова свидетельствует о характерном для устьевого взморья процессе многократного замерзания и таяния льда, связанного с воздействием разнородной по солёности и температуре воды.

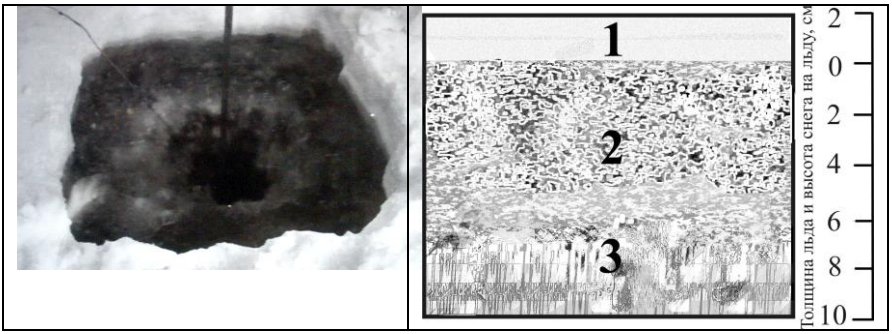


Рис. 6.11. Многослойный лёд в центральном районе Днепровско-Бугского лимана у с. Васильевка 02.03.1984 г.
1 – высота снега на льду 2 см; 2 – водно-снеговой лёд малопрозрачный, зернистый, 7 см; 3 – водный лёд, столбчато-зернистой структуры, среднезернистый, прозрачный, 3 см.

Максимальная высота снега на льду составляет 10 – 20 см. Сугробы и надувы обычно ориентированы с северо-востока на юго-запад, их высота иногда достигает 0,5 – 1,0 м.

Солёность льда зависит от солёности воды, что подтверждается наличием связей, полученных автором по натурным данным (6.4) – (6.5), имеющим коэффициенты корреляции 0,92 – 0,96 и вид

$$S_л = 0{,}15S_в + 0{,}28\ , \qquad (6.4)$$

$$S_л = 0{,}84S_в + 0{,}14\ , \qquad (6.5)$$

где $S_л$ – солёность ледяного монолита; $S_в$ – солёность поверхностного слоя воды.

Безусловно, применимость приведенных зависимостей ограничена, так как при их построении использовалось 45 проб, что не охватывает всего многообразия условий формирования ледяного покрова. Уравнение (6.4) даёт представление о солёности льда, толщиной 7 – 20 см, и преобладающей при этом солёности воды в подлёдном слое, (6.5) – о связи солёности льда, толщиной 25 – 50 см, с солёностью воды подлёдного слоя в период взятия монолита. При анализе на солёность более тонкого льда (толщиною менее 25 см) средняя температура воды подлёдного слоя составляла 0,2 ˚С (0,0 – 0,7 ˚С), в структуре ледяного образца преобладал водно-снеговой лёд (рис. 6.11), а при исследовании более толстого водного льда (толщиною более 25 см), температура воды была около 0,0 ˚С (изменялась от -0,1 до 0,1 ˚С). Солёность водного льда была близка к солёности воды, из которой он образовался, и даже несколько выше её (6.5), так как подлёдный слой воды быстро распресняется, будучи изолированным от воздействия ветра. Более тонкий несплошной ледяной покров, сформировавшийся из смерзшегося снега, распреснённой воды и приносного пресноводного льда, обычно менее солёный, чем подлёдный слой воды (6.4).

Ледовитость акватории определялась согласно методике, изложенной в [7]. Распределение льда по месяцам ледового сезона показано на рис. 6.10. Наибольшее покрытие акватории льдом отмечается в суровые и умеренные зимы в январе и феврале. В начале ледового сезона, в декабре, на границах лимана и в его глубоководных частях преобладают плавучие формы льда, занимающие, в зависимости от суровости зимы, 10 – 80 % акватории лимана. Плавучий лёд в январе и феврале бывает в основном в мягкие зимы. В марте в умеренные и мягкие зимы доля плавучего льда в общей ледовитости лимана составляет 50 – 90 % (рис. 6.10).

Целостность ледяного покрова ежегодно нарушается в результате зимней навигации, сбросов Каховской ГЭС, потеплений и действия ветра. Поэтому ледовитость лимана может в течение ледового

сезона неоднократно значительно изменяться (от 0 до 100 % покрытия льдом).

Неоднородность ледяного покрова по акватории устья – характерная черта ледовых условий в зимы различной суровости. Из рис. 6.12 видно, что в суровую зиму 2005/2006 гг. районе г. Херсона лёд взломан искусственно, у с. Касперовка – ледяной покров с промоинами и водой на льду; в восточной и центральной частях Днепровского лимана, в районе с. Станислав – сплошной неподвижный лёд [7].

По натурным данным распределение различных форм льда в акватории устьевого взморья может существенно отличаться от осреднённых схем (рис.6.10).



Рис. 6.12. Ледовые явления в морском устье рек Днепр и Юж. Буг в феврале 2006 г. (фото Гурьевой В.В., НЦГМ)

Например, в период исследований ледяного покрова в умеренную зиму 1983/1984 гг. и в суровую 1984/1985 гг. в первой декаде марта ледовая обстановка существенно отличалась. Ледостав в сравниваемые сезоны установился 05 – 06.12, во время ледомерных съёмок сток рек, солёность воды и температура воздуха, ветер были примерно одинаковыми. Сильные различия в ледовитости лимана между указанными съёмками (рис.6.13) обусловлены, в первую очередь, предшествующими гидрометеорологическими условиями: сумма отрицательных средних суточных температур воздуха к марту 1984 г. достигла 210 ˚С, а к марту 1985 г. – превысила 700 ˚С.

Наименее изучено распределение льда в открытой части устьевого взморья. По данным авиаразведок льда и ледокольных

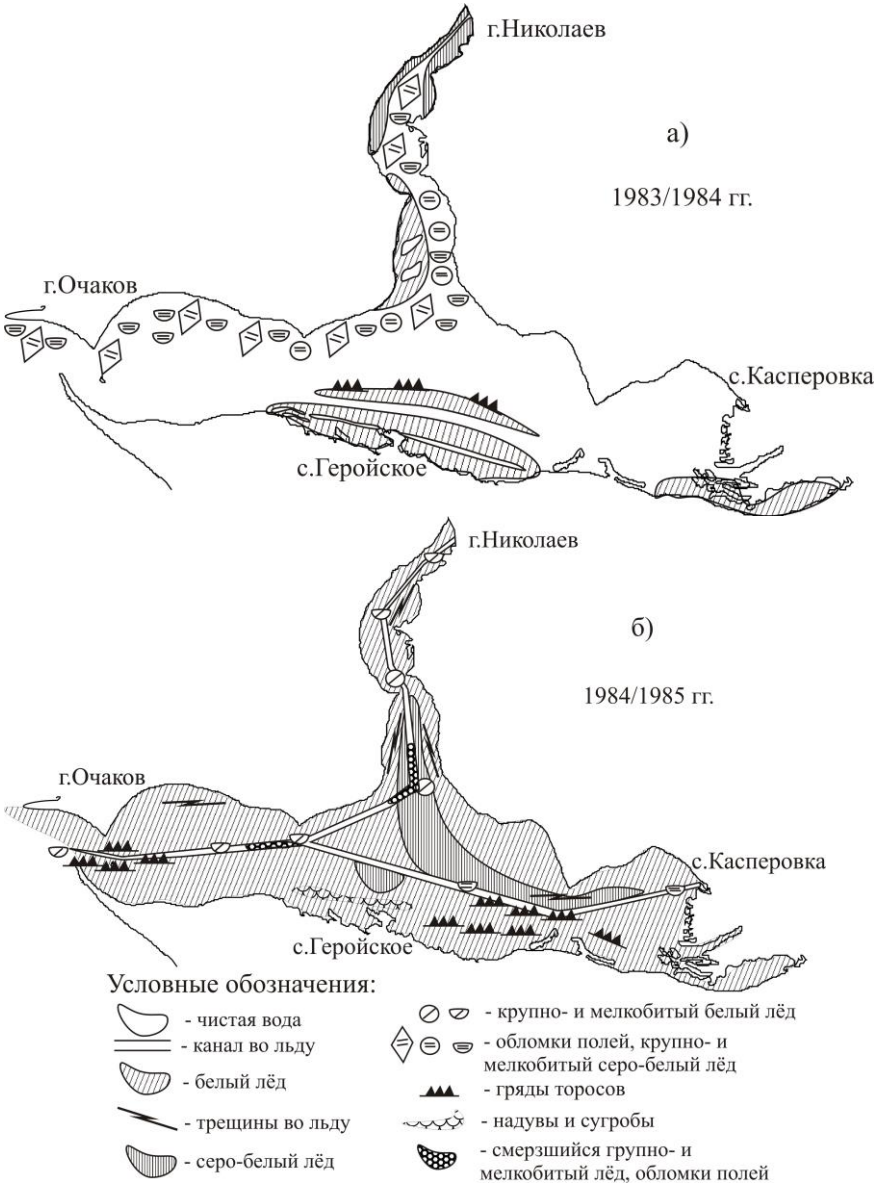


Рис. 6.13. Ледовитость Днепровско-Бугского лимана в марте в умеренную зиму 1983/1984 гг. (а) и суровую зиму 1984/1985 гг. (б)

наблюдений здесь преобладает чистая вода и плавучий лёд, преимущественно дрейфующий в сторону СЗЧМ.

В особенно суровые зимы ледовитость этой части морского устья увеличивается. В суровые и умеренные зимы ледяной покров акватории открытого устьевого взморья выглядит, как показано на рис. 6.14. В районе г. Очакова формируются караваны, суда в ожидании проводки и благоприятных погодных условий иногда отстаиваются в течение 3 – 6 дней. Бывали случаи, когда суда, из-за сложной ледовой обстановки в сочетании со штормовыми условиями, не могли осуществлять зимнюю навигацию и были вынуждены покинуть опасную трассу. Таким образом, ледовые условия лимитируют зимнее судоходство и могут наносить существенный ущерб.



Рис. 6.14. Ледовитость открытого устьевого взморья 20.01.2010 г

По историческим данным в предшествующий климатический период, при естественном режиме стока рек, известны случаи, когда суда были зажаты льдами в Днепровско-Бугском лимане и терпели бедствие. Причём, это касалось не только парусного флота, но и пароходов, и даже для буксиров ледокольного класса льды бывали труднопроходимыми. Например, пассажирский пароход «Георгий» дважды не мог преодолеть льды Днепровско-Бугского лимана: в

1900 г. и в 1920 г. При этом, ледовые условия указанных зим были не суровыми, а умеренными.

Влияние стока тепла на ледовитость и толщину льда. Анализ ледовитости и толщины льда в морском устье рек показал, что эти характеристики ледового режима зависят не только от температуры воздуха, но и от стока тепла р. Днепр. Влияние стока тепла на элементы ледового режима распространяется на значительное расстояние, ослабевая по мере удаления от нижней границы дельты. О зависимости степени покрытия льдом поверхности Днепровско-Бугского лимана и толщины льда в рук. Рвач от стока тепла р. Днепр свидетельствует рис. 6.15, на котором ледовитость лимана и толщина льда уменьшаются с ростом стока тепла.

В соответствии с данными табл. 4.6 (разд. 4.3), при среднем многолетнем стоке тепла р. Днепр за февраль, равном $10 \cdot 10^{15}$ Дж, ледовитость лимана будет равна 800 км^2, т.е. вся его акватория будет покрыта льдом (рис. 6.15).

Таким образом, зависимости основных характеристик температурных и ледовых процессов от стока тепла рек показывают, что под его влиянием изменяется температура водного объекта (разд. 4.3), сроки образования и разрушения ледяного покрова, продолжительность ледовых явлений, толщина льда и ледовитость.

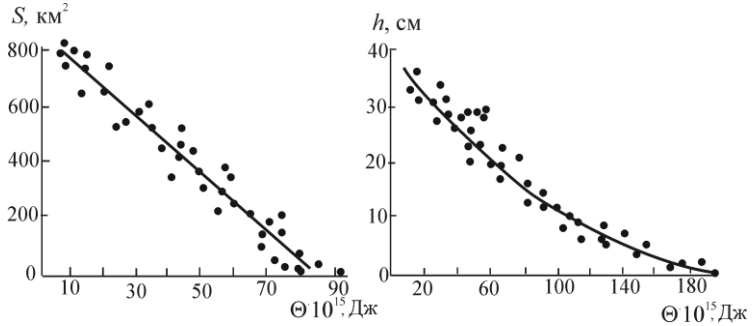


Рис. 6.15. Зависимости ледовитости Днепровского лимана (S) в марте и наибольшей толщины льда за ледовый сезон в с. Касперовка (h) от стока тепла р. Днепр у Каховской ГЭС в марте и за зиму (Θ), соответственно

Влияние стока тепла р. Днепр на лёд в лимане зависит от соотношения его величины и теплозапаса взморья. Речная вода, поступая

на устьевое взморье, кроме динамического воздействия, увеличивает его теплозапас, замедляя ледообразование и замерзание. Практическое значение установленных зависимостей заключается в том, что располагая прогнозом стока тепла р. Днепр, который в основном зависит от стока воды (разд. 4.3), многие характеристики ледовых процессов на большей части взморья могут быть рассчитаны с различной заблаговременностью по планируемым на зиму сбросам ГЭС.

Торошение льда. Попуски воды из Каховского водохранилища зимой, многократное разрушение льда ветром и судами способствуют подвижкам льда и его последующему сжатию, образованию торосов в Днепровско-Бугском лимане. Наиболее вероятно торосообразование в январе и феврале, в эти месяцы торосы образуются в 25 – 55 % зим. В Бугском лимане торосы наблюдаются в 30 – 40 % ледовых сезонов, в центральной части Днепровского лимана они равновероятны (с вероятностью 20 – 25 %) в любом месяце ледового сезона.

В период ледовых явлений, при различной суровости зимы, вероятность образования торосов неодинаковая. Её изменчивость в Бугском лимане у г. Николаева (наиболее ледовитом районе морского устья и Чёрного моря) представлена в табл. 6.6.

Вдоль мелководья, расположенного в 1,5 – 2 км параллельно Кинбурнской косе, торосы льда наблюдаются почти ежегодно. По данным прибрежных наблюдений часто торосы образуются в районе г. Николаева, с. Станислав, с. Аджигиол, г. Очаков, с. Касперовка.

Таблица 6.6

Вероятность (%) торошения льда в районе г. Николаева

Суровость зимы	Декабрь	Январь	Февраль	Март
суровая	25	20	40	20
умеренная	13	47	31	33
мягкая	0	14	33	14

Процесс торошения льда в лимане наиболее интенсивен на мелководье, у нижней границы дельты (чему способствует выносимый из реки лёд), в узостях лимана, в Кинбурнском проливе (рис. 6.16), у кромки припая. Гряды торосов обычно окаймляют судоходный канал, так как здесь происходит разрушение ледяного покрова буксирами, нагромождение льдин у кромки канала и их

смерзание. Торосистый лёд иногда нагромождается на берега, образуя небезопасные ледяные скопления – навалы льда, достигающие порой 5 – 6 м в высоту.

Наблюдались случаи повреждения зданий и сооружений на берегу в западном районе устьевого взморья. Навалы льда на берега чаще всего отмечались в районе сёл Станислав и Аджигиол, городов Очакова и Херсона, у дистального конца Кинбурнской косы, т.е. в сужениях лимана мысами и косами. В суровые зимы в западном районе лимана на мелководье иногда надолго остаются стамухи (смёрзшиеся торосистые образования), высотой 5 – 6 м, длиною 35 – 45 м.



Рис. 6.16. Нагромождение торосистого льда на берег в районе г. Очакова зимой 2004 г.

Толщина льда в торосистых образованиях больше, чем ровного ледяного покрова, в среднем она составляент 2 м, а в отдельных случаях может достигать 4 – 5 м. Преобладающая торосистость в Днепровско-Бугском лимане, в местах распространения торосов, 2 балла, максимальная – 5 баллов (т.е. 50% видимой акватории может быть покрыто торосами).

Дрейф льда. В морском устье рек Днепр и Юж. Буг ежегодно отмечается дрейф льда. Из рукавов р. Днепр лёд выносится в лиман, где он дрейфует, смерзается или переносится на открытое устьевое взморье вместе со льдом, образовавшимся в лимане. В феврале – марте, когда толщина льда достигает максимальных значений, а целостность ледяного покрова нарушается попусками из водохранилища, ветром и судоходством, дрейф льда становится опасен, особенно в районе г. Очакова и в Кинбурнском проливе, где отмечаются большие скорости течений (разд. 2.3). Это опасное ледовое явление может наблюдаться в любой месяц сезона, так как ледяной покров в этом районе устья крайне неустойчив. Статистические характеристики дрейфа льда в районе Кинбурнского пролива по месяцам (в период с 1960/1961 г. по 2008/2009 г.) и за ледовый сезон, рассчитанные как отношение числа лет с явлением в рассматриваемом периоде к продолжительности периода наблюдений, приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.7.

Вероятность и продолжительность дрейфа льда в Кинбурнском проливе

Характеристика	Месяцы					За ледовый сезон
	XI	XII	I	II	III	
вероятность (%) ледообразования	9	69	91	97	84	100
дрейф льда из лимана в море						
вероятность (%) дрейфа льда	0	50	81	88	72	100
продолжительность дрейфа льда, сут. сред./макс.	0/0	3/9	6/14	6/17	5/14	16/49
вероятность (%) дрейфа льда в ледовый сезон	0	10	29	37	24	100
дрейф льда из моря в лиман						
вероятность (%) дрейфа льда	3	25	41	62	38	94
продолжительность дрейфа льда, сут. сред./макс.	0/3	1/5	1/5	1/5	1/4	3/14
вероятность (%) дрейфа льда в ледовый сезон	3	15	22	40	20	100
дрейф льда одновременно в противоположных направлениях						
вероятность (%) ежегодного дрейфа льда	0	3	6	12	16	25
продолжительность дрейфа льда, сут. сред./макс.	0/0	0/1	0/2	1/3	1/2	1/5
вероятность (%) дрейфа льда в ледовый сезон	0	5	16	42	37	100

При составлении табл. 6.7 исключались случаи, когда льда не было или его дрейф не определялся из-за образования лишь первичных форм льда или плохой видимости и пр.

В отличие от ледохода в рукавах р. Днепр, который продолжается в среднем 5 сут, с вероятностью 45 – 75 % в начале и конце ледового сезона (разд. 6.1), дрейф льда в районе Кинбурнского пролива может наблюдаться в любой месяц сезона с разной вероятностью, с максимальной – в январе – феврале, когда толщина льда наибольшая, и его максимальная продолжительность достигает 49 сут.

Вероятность дрейфа льда в ледовый сезон по соответствующим направлениям показывает, с какой частотой он отмечается в течение ледового сезона (табл. 6.8).

Таблица 6.8.

Вероятность и продолжительность дрейфа льда в Кинбурнском проливе по направлениям за период с 1960/1961 г. по 2008/2009 г.

Характеристика	Направление дрейфа					
	из лимана в море			из моря в лиман		
	З	ЮЗ	СЗ	В	ЮВ	СВ
вероятность дрейфа (%) по направлениям	50	46	4	28	58	14
средняя продолжительность дрейфа, сут.	8	7	1	1	1	1
наибольшая продолжительность дрейфа, сут.	25	28	3	4	8	3

В связи с неустойчивостью ледяного покрова, обусловленной динамичностью водообмена через Кинбурнский пролив, преобладающим влиянием сгонных ветров и стоковых течений (особенно в феврале – марте), вероятность дрейфа льда из лимана в западном и юго-западном направлении составляет 96 %, его средняя продолжительность 7 – 8 сут, максимальная 20 – 30 сут. Причём, за ледовый сезон дрейф льда прямого направления наблюдается от 2 до 50 раз, в среднем 16 раз в год и по 3 – 6 раз в месяц. Под действием ветра и течений (разд. 2.3) в лиман иногда поступает лёд из открытой части взморья и Березанского лимана. Это явление наблюдается ежегодно, как минимум 1 раз, а как максимум 15 раз в сезон. В 86 % случаев лёд из открытой части взморья перемещается на восток и юго-восток (табл.

6.8). Продолжительность такого дрейфа в среднем составляет 1 сут, максимальная – достигает 8 сут.

Повторяемость неподвижного и плавучего льда. Временная изменчивость форм и сплочённости льда оценивается по повторяемости этих характеристик. В Бугском лимане, в районе г. Николаева, она практически остаётся постоянной за многолетний период. На рис. 6.17 показано, как в среднем за ледовый сезон изменяется повторяемость неподвижного и дрейфующего льда и его сплочённости (густоты) в этом районе [98]. Из рис. 6.17 видно, что наибольшая повторяемость припая отмечается в январе – феврале, а формы дрейфующего льда чаще всего наблюдаются в марте.

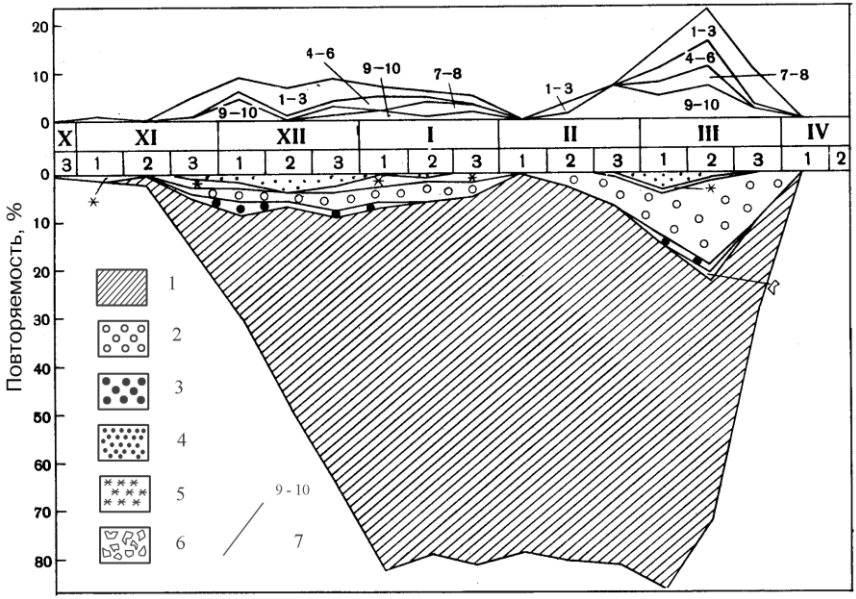


Рис. 6.17. Повторяемость различных форм и сплочённости льда в районе г. Николаева: 1 – припай; 2 – мелкобитый лёд; 3 – крупнобитый лёд; 4 – сало, иглы, шуга, снежура; 5 – блинчатый лёд, нилас; 6 – взломанные поля; 7 – сплочённость дрейфующего льда в баллах (1 – 3 – редкий лёд; 4 – 6 – разряжённый лёд; 7 – 8 – сплочённый лёд; 9 – 10 – сплошной лёд)

Условия зимней навигации. Так как в рассматриваемом морском устье рек осуществляется зимняя навигация, знания о ледовом режиме находят практическое применение для характеристики ледовых условий плавания [43]. Приводимые в табл. 6.9 данные по наиболее труднопроходимому для судов участку Бугского лимана определены за период с 1961 г. по 2009 г. путём систематизации по зимам разной суровости и по месяцам. Средняя максимальная толщина льда на трассе получена в результате анализа ледокольных, прибрежных и ледово-профильных наблюдений в рассматриваемом районе. В таблице 6.9 приняты следующие условные обозначения:

П – припай; Б – припай белого льда; $П^{р}$, $Б^{р}$ – разрушающийся припай; П*, Б* – заснеженный припай (заснеженность ≥ 2 балла); $П^{т}$ – торосистый припай; ↓ – трансформация припая в более поздние формы; # – первичные формы льда; С – сало; * – льдины тёмного ниласа; о – мелкобитый лёд; • • – крупнобитый лёд; ◊ – обломки ледяных полей; ⌂ – взломанные ледяные поля; h_{max} – средняя из максимальных значений толщина льда.

В мягкие зимы ледовые условия не являются серьезным препятствием для навигации, так как преобладают формы дрейфующего льда, и толщина льда в среднем не превышает 20 см.

Наиболее разнообразны ледовые условия плавания в умеренные зимы. С декабря по февраль на трассе можно встретить все виды и формы льда (от первичных ледовых образований до припая белого льда). Так как h_{max} в умеренные зимы составляет в среднем 21 см, проводку судов во льдах можно осуществлять, используя морские буксиры.

В суровые зимы характерна трансформация припайного льда более раннего вида в более поздний, происходящая уже в начале зимы, и преобладание серо-белого и белого припая толщиною 40 см, что требует применения ледоколов для осуществления проводки судов.

Сокращение ряда ледовых наблюдений, произошедшее в последние годы, негативно отразилось на развитии методов расчётов и прогнозов основных ледовых характеристик. Способствовать решению этой проблемы, очевидно, могло бы привлечение спутниковых данных для изучения ледового режима, анализ которых мог бы служить основой для получения современных карт ледовой обстановки, что имело бы как научное, так и практическое значение.

Таблица 6.9

Ледовые условия плавания в суровые и умеренные зимы на трассе с. Парутино – г. Николаев в Бугском лимане

Месяц	Вид льда	Форма		Сплочённость, балл	Форма		Сплочённость, балл
		неподвижный	плавучий		неподвижный	плавучий	
Суровость зим		Суровые зимы h_{max} = 38 см			Умеренные зимы h_{max} = 22 см		
XII	Первичный		#	8 – 10		#	5 – 8
	Тёмный нилас, блинчатый лёд	П	*	5 – 9			
	Светлый нилас	П					
	Серый лёд	П					
	Серо-белый, белый лёд	П*			П	о, ● ●	5 – 10
I	Первичный					С, #	5 – 10
	Тёмный нилас, блинчатый лёд					*, о	5 – 10
	Светлый нилас				П		
	Серый лёд				П*, П		
	Серо-белый, белый лёд	П, П*, Б			П*, Б		
II	Первичный					#	7 – 8
	Тёмный нилас, блинчатый лёд					*	7 – 8
	Светлый нилас					о, ● ●	9
	Серый лёд	П			П	● ●, ⌓, ◊	6 – 7
	Серо-белый, белый лёд	П*, Б П			$П^{рт}$, Б* П	● ●, ⌓, ◊	6 – 8
III	Первичный						
	Тёмный нилас, блинчатый лёд						
	Светлый нилас				$П^{р}$		
	Серый лёд						
	Серо-белый, белый лёд	$П^{р}$, $Б^{р}$ Б	● ●, ◊	7 – 9	П*, Б	⌓, о, ◊, ● ●	1 – 9

ГЛАВА 7
ВЕТРОВОЕ ВОЛНЕНИЕ

Актуальность наблюдений за волнением и расчёта его режимных характеристик на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг обусловлены необходимостью обеспечения потребностей судоходства, рыболовства, гидротехнического строительства, рекреации, мониторинговых мероприятий по контролю природной среды.

Несмотря на то, что ветровое волнение здесь не представляет такой опасности, как в море, оно лимитирует судоходство малотоннажного флота, отрицательно сказывается на рыбном промысле; препятствует швартовке, погрузочно-разгрузочным и другим видам работ в портах; воздействует на гидротехнические сооружения; разрушает берега, изменяя рельеф, способствует перемещению наносов; влияет на заносимость судоходного канала, на гидрофизические и гидрохимические процессы, рекреацию и др.

В то же время, волнение оказывает и положительный эффект: способствует перемешиванию водной массы, увеличивая содержание кислорода в воде, интенсифицирует самоочищение водных объектов от загрязняющих веществ, замедляет ледообразование, формирует пляжи и пр. Волны также влияют на биологические процессы в водных объектах.

По данным гидрографических наблюдений, произведенных в начале XX в. в Днепровско-Бугском лимане, при штормовых условиях не редко происходили аварии не только парусных судов, но и пароходов. Например, в различных частях морского устья, волнение было причиной многих аварий: в 1904 г. у Херсонского маяка потерпел аварию паровой баркас «Пётр», в 1906 г. в лимане погибло судно «Св. Антоний»; в 1907 г. в Днепровско-Бугском лимане потерпели аварии 3 парохода; в 1908 г. – 4 парохода; в 1909 г. – 2 парохода; в 1910 г. – 2 парусника и 5 пароходов и т.д. Интересно, что в 1904 г. парусник «Св. Пантелеймон» затонул при шторме в Днепровском лимане и одноимённое парусное судно в 1910 г. было выброшено волнами на о. Березань и погибло. В этом же году у Кинбурнской косы был выброшен на мель парусник «Св. Николай», и одноимённое судно затонуло в 1912 г. в районе г. Очакова.

Сведения о гибели судов и нанесении ущерба волнами относятся и к середине века, и к современному климатическому периоду.

Так, 28 сентября 1959 г. северо-западный ветер скоростью 16 – 18 м/с (с порывами до 20 – 22 м/с) вызвал умеренное волнение в районе г. Николаева (высота волн достигала 0,75 м). В результате были сорваны с якоря катера, шлюпки и яхты, некоторые повреждены и выброшены на берег. По сообщению водпоста Херсон 4 января 1969 г. в результате ураганного восточного ветра скоростью 20 м/с (с порывами до 28 м/с) и развившегося ветрового волнения затонул катер «Град», получил повреждения теплоход «Дрейф».

Основными аспектами исследования режима волнения в морском устье рек Днепр и Юж. Буг являются: получение данных о средних и максимальных элементах волн, их повторяемости и о преобладающих направлениях распространения волн; оценка волнения в отдельных пунктах стационарных и экспедиционных наблюдений.

В морском устье рек Днепр и Юж. Буг на сети Гидрометеослужбы Украины наблюдения за ветровым волнением производятся только визуально на водомерных постах в Днепровско-Бугском лимане (ежедневно в 2 – 3 срока) и в период гидрологогидрохимических съёмок в открытой части устьевого взморья (в тёплое время года, при штиле, слабом или умеренном ветре); на устьевых участках рек, в водотоках и водоёмах, расположенных в дельте р. Днепр, специальных наблюдений за волнением не ведётся.

Волнение в Днепровско-Бугском лимане изучено недостаточно. Атласы и справочно-монографические издания не содержат информации о ветровом волнении в этом устье. Характеристика волнения в Днепровско-Бугском лимане дана в работах [56, 1, 104].

Сведения о волнении, приведенные в рукописных материалах Гидрометеофонда МО УкрНИГМИ, ограничены 1935, 1942, 1960 гг. Они, в основном, освещают режим волнения в районе г. Очаков. Наиболее полное представление о волнении в лимане даёт работа Слатинского Ю.Г. [56]. Вопросами ветрового волнения в лимане и на его взморье в разное время занимались также сотрудники «Укрводпроекта», «Укригипроводхоза», Всесоюзного НИИ транспортного строительства, Черноморского отделения морских берегозащитных сооружений им. А.М. Жданова и др., однако, результаты этих исследований широко неизвестны и касаются узко специальных вопросов волнового воздействия на планируемую плотину – перекрытие в районе Кинбурнского пролива.

Инструментальные наблюдения за волнением не производились. До 1969 г. велись 2 – 3-х срочные визуальные наблюдения в с. Геройском и г. Николаеве. В г. Очакове – наиболее длинный ряд наблюдений за ветровым волнением. При этом до 1940 г. определялось состояние моря (в баллах), с 1944 по 1958 гг. производились визуальные наблюдения, с 1959 по 1969 гг. волнение определялось на расстоянии 600 м от берега с помощью волномера-перспектометра ГМ-12, а с 1970 г. опять перешли на 2-х срочные визуальные наблюдения. Таким образом, ряды наблюдений за волнением неоднородны.

Ежедневные восьмисрочные наблюдения за ветром производятся на метеоплощадках городов Николаев, Очаков и Херсон. Ряды наблюдений за ветром неоднородны (разд. 1.7). Наблюдения в г. Очакове нерепрезентативны, так как метеоплощадка до 1975 г. была расположена в застроенной части города, а с 1975 г., хотя и была перенесена на северную окраину г. Очакова, открытость флюгера (анемометра) иная, чем в городах Николаеве, Херсоне, на Тендровском маяке. Поэтому анализ ветрового режима сделан автором по данным в г. Николаеве и г. Херсоне с учётом однородности синоптических процессов над акваторией лимана, протяжённость которого с востока на запад около 60 км, с севера на юг 30 км привлекались также данные наблюдений в г.Одесса и на Тендровской косе.

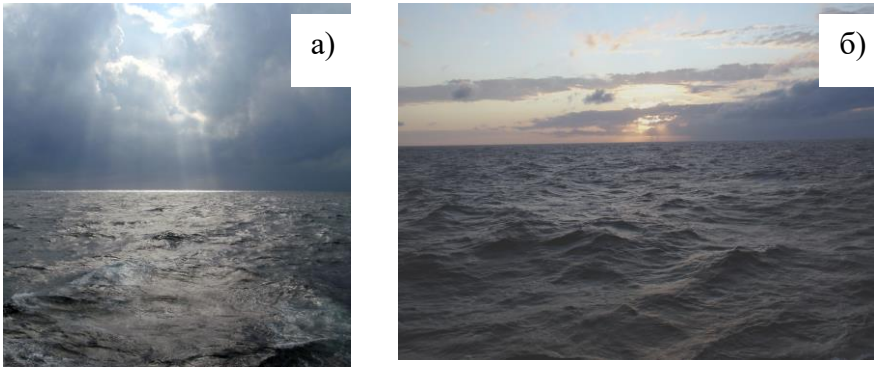
Особенности режима волнения в морском устье рек. Согласно [43, 45] рассматриваемое устье рек по ветро-волновому режиму примыкает [43], либо относится [45] к северо-западному району Чёрного моря. Кроме ветра на режим волнения и элементы волн оказывают влияние морфометрические особенности отдельных районов устья, малые глубины и значительная их изменчивость по пути разгона волн, стоковые и другие виды течений, колебания уровня воды, сезонные и кратковременные, зарастаемость мелководий, ледовые образования, молы, причалы и другие сооружения, прочие факторы. Всё это и воздействие преобладающих ветров на глубоко вдающуюся в сушу стеснённую мысами мелководную акваторию формирует специфические поля волнения, что позволяет это морское устье отнести к особому Днепровско-Бугскому району.

По типу, форме волн, их происхождению и степени волнения в морском устье рек Днепр и Юж. Буг выделяется три характерных

подрайона: 1) устьевые участки рек, рукава р. Днепр; 2) Днепровско-Бугский лиман; 3) открытая часть устьевого взморья.

На устьевых участках рек, в водотоках и водоёмах, расположенных в дельте р. Днепр, волнение опасности практически не представляет, поэтому наблюдений за ним не производят. Здесь преобладает штиль, рябь, короткие крутые волны при нагонном ветре и только в половодье при сильном ветре развивается волнение, аналогичное озёрному. В водотоках сильное течение препятствует развитию волн, разгон волн небольшой.

Наиболее опасно волнение в открытой части устьевого взморья, куда распространяются волны морского происхождения. Длина гребней ветровых волн на мелководье увеличивается, и они становятся похожи на зыбь. Вид штормового и смешанного ветрового волнения в открытой части устьевого взморья (участок 3в, рис.1.3, разд.1.1) показан на рис. 7.1. Иногда здесь наблюдалась зыбь, мёртвая зыбь, но чаще – смешанное волнение. Повторяемость зыби, проникающей в эту часть устьевого взморья около 5 %. Именно здесь отмечаются ветровые волны наибольшей высоты, т.к. разгон волн максимальный, достигающий иногда 100 – 150 км.



фотографии Иванова В.Е.

Рис. 7.1. Штормовое ветровое волнение (а) и смешанное волнение (б) в районе 3в (разд. 1.1)

В лимане, кроме обычного ветрового волнения и изредка (с повторяемостью около 3 %) проникающей в западный район Днепров-

ско-Бугского лимана зыби, в результате наложения разных систем волн отмечается сложное смешанное волнение и толчея, а также тягун и волновые процессы не ветрового происхождения. При западном ветре, вызывающем иногда распространение в западную часть лимана мёртвой зыби, её высота по данным наблюдений не превышала 1,5 м.

Волны морского происхождения в неизменном виде обычно на закрытое устьевое взморье не распространяются. Они трансформируются в предпроливном пространстве лимана, чему способствует мелководная Одесская банка.

Процессы трансформации волн в лимане выражены в бóльшей степени, чем в открытой части устьевого взморья, поэтому расчёт элементов волн в Днепровско-Бугском лимане более сложен. Наибольшая трансформация волн в лимане происходит в период повышенного речного стока. Вопрос влияния стока рек Днепр и Юж. Буг на волнение до сих пор недостаточно изучен, потому что, во-первых, волнение здесь не представляет серьёзной проблемы для хозяйствования (поэтому не изучается), а во-вторых, постановка наблюдений за волнением осложняется малыми (по сравнению с морем) размерами волн, значительной их изменчивостью и отсутствием специального оборудования и средств, что не позволяет определять элементы волн с достаточной точностью.

Постоянные стоковые течения на устьевом взморье по разному влияют на элементы волн, что зависит от направления распространения волнения по отношению к течениям, а также (как показано Титовым Л.Ф. в [99]) от соотношения между скоростью течения и скоростью волн. Если направление волнения совпадает с направлением течения, высота волны уменьшается, увеличивается длина волн, уменьшается их крутизна. Встречное течение делает волны более крутыми, так как высота волн увеличивается, а длина уменьшается. Иногда это может способствовать опрокидыванию гребней и обрушению волн. Такое явление можно наблюдать при выраженном фронтальном разделе между распреснёнными и осолонёнными водами в открытой части устья [7]. Здесь, даже при волнении 2 – 3 балла, на границе речного гидрофронта происходит забурунивание и разрушение ветровых волн, причём, в пределах 0,5 – 2,0 м (разд. 5.4).

Процессы развития, стабилизации и затухания ветрового волне-

ния в лимане и прилегающей открытой части взморья имеют общие черты с ветровым волнением в море, озёрах и водохранилищах. При этом для глубоководных участков открытого взморья характерны закономерности, применяемые для анализа волнения в морях, а для мелководных частей лимана – в озёрах или водохранилищах.

Расчёт основных элементов волн. Для анализа режима волнения применялись статистические методы, изложенные в [99 – 103], с помощью которых получены средние, экстремальные элементы волн и элементы волн заданной обеспеченности.

Расчёт элементов волн выполнялся на основе разработок СНиП [103], с помощью которых построены поля волнения для преобладающих и волноопасных направлений ветра, рассчитаны высоты волн (максимально возможная и 1 %-ой обеспеченности), средние периоды, длины волн и другие характеристики волнения.

Для расчёта характеристик ветрового волнения по [103] использованы данные наблюдений за ветром за последние 35 лет.

Существует несколько подходов к получению характеристик ветрового волнения, но большинство из них малоприменимы для условий Днепровско-Бугского лимана [104].

Из-за отсутствия аэростереофотосъёмок, волнографных и др. измерений волнения, мелкомасштабности и сложности акватории, параметризации моделей – использование методов теории вероятностей, спектральных методов, применение математического моделирования и др. пока проблематично.

Анализ существующих методов расчёта элементов волн (высоты, периода, длины), применяемых в инженерной практике, показал, что расчётные формулы для их определения, полученные на основе решения уравнения баланса волновой энергии [103], являются наиболее эффективными.

Элементы волн в Днепровско-Бугском лимане согласно [103] определялись в зависимости от условий: скорости ветра, глубины, разгона, уклона, контура берега. Схема расчетных станций показана на рис. 7.2. Для каждой точки сетки (48 станций) определялись условия волнообразования, и в соответствии с ними использовался весь арсенал методик, изложенный в СНиП [103].

Поля ветрового волнения, формирующиеся при северо-восточном ветре скоростью 5, 10 и 15 м/с, рассчитаны для устано-

вившегося волнения по сетке станций 5×5 км в Днепровском и 2,5×2,5 км в Бугском лимане и представлены на рис. 7.3.

Над устьевым взморьем преобладает северо-восточный ветер (повторяемость 15 – 20 %, табл. 1.8). Поэтому большую часть года в лимане ветровое волнение распространяется с северо-востока на юго-запад, и только в летние месяцы увеличивается повторяемость северо-западного волнения.

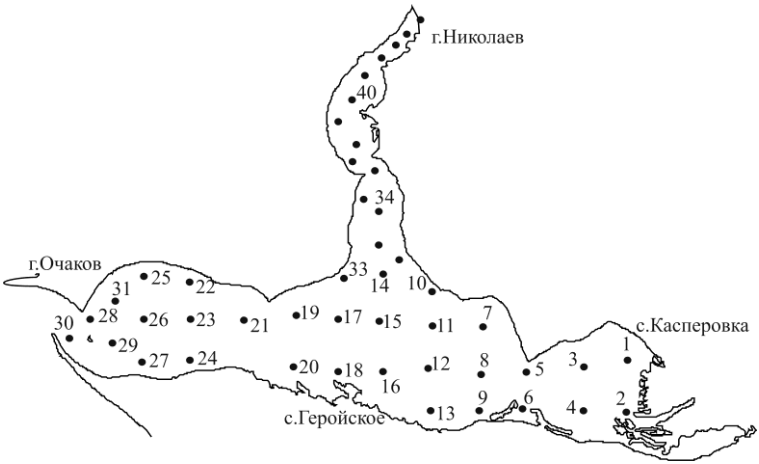


Рис.7.2. Сеть станций для расчёта волнения в Днепровско-Бугском лимане

Полученные расчётные величины волнения хорошо согласуются с данными полуинструментальных и визуальных наблюдений в г. Очакове и результатами расчётов других авторов. Наибольшая повторяемость высот волн при средних ветровых условиях (5 м/с) соответствует градациям высот волн в пределах 0,3 – 0,7 м в глубоководной части и ≤ 0,25 м в прибрежной. Волны такой высоты не представляют угрозы для судоходства. При усилении ветра до 15 м/с, волнение увеличивается незначительно, так как наибольшая длина разгона волн при северо-восточном ветре 18,6 км.

Наиболее волноопасными в Днепровском лимане являются западные и восточные ветра. Средняя высота волны в западном районе лимана при восточном ветре 10 м/с достигает 0,8 м; при 15 м/с – 1,0 м и при 20 м/с – 1,2 м; в восточной части (при западном ветре), соответственно, 0,4, 0,6 и 0,8 м.

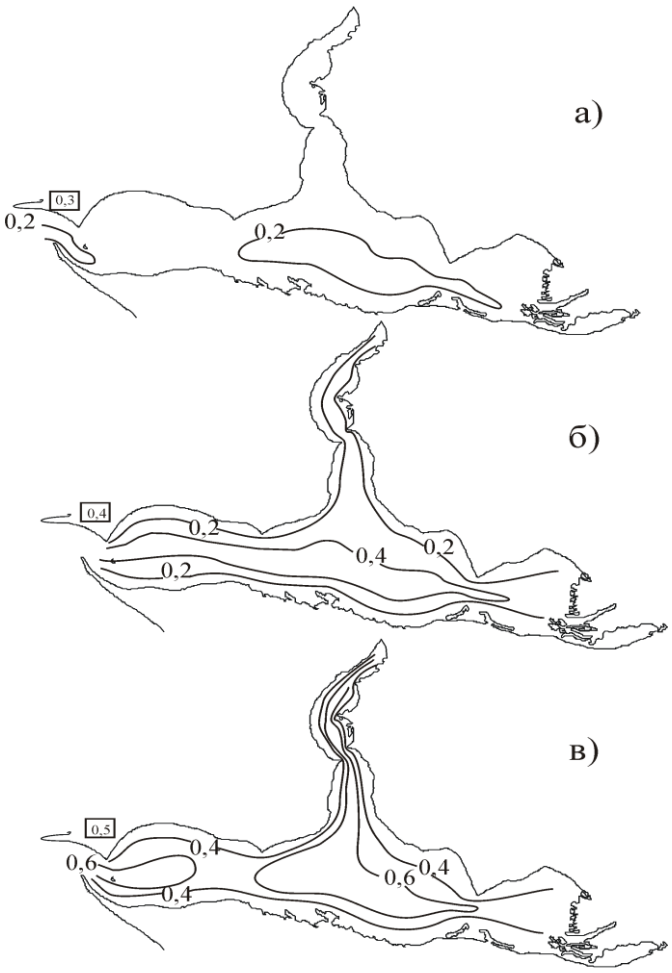


Рис. 7.3. Поля волнения (м) при северо-восточном ветре скоростью 5 (*а*), 10 (*б*) и 15 (*в*) м/с

Высота волны 1 %-ой обеспеченности при западном, юго-западном ветрах в зависимости от глубины может достигать 1,0 – 2,0

м (от г. Очаков до с. Станислав). Для района Кинбурнского пролива максимально возможная расчётная высота волны (для современного климатического периода) при южном и юго-западном ветрах равна 2,8 м (табл. 7.1). Таким образом, расчёты показывают, что наиболее волноопасными районами для судоходства при южном ветре являются открытая часть устьевого взморья, западная часть Днепровского лимана и глубоководная южная часть Бугского лимана (рис. 7.3, табл. 7.1).

Таблица 7.1

Элементы волн в Днепровско-Бугском лимане при волноопасных направлениях ветра

Район лимана	Глубина, м	Скорость ветра, м/с											
		10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20
		$\overline{h}$, м			$\overline{\tau}$, с			$\overline{\lambda}$, м			$h_{1\%}$, м		
Восточный	2,0 – 4,0	0,2	0,4	0,5	1,8	2,4	2,5	5,2	8,5	10,0	0,5	0,8	1,1
	4,5 – 5,5	0,4	0,6	0,7	2,5	2,9	3,1	10,2	13,2	16,0	0,8	1,2	1,5
Центральный	0,5 – 1,0	0,1	0,2	0,2	1,1	1,3	1,5	1,9	2,5	3,3	0,2	0,4	0,4
	1,5 – 2,5	0,2	0,3	0,3	1,7	1,8	2,0	5,0	5,6	6,2	0,5	0,6	0,7
	4,5 – 5,5	0,4	0,6	0,8	2,7	3,1	3,4	12,0	14,5	17,3	0,9	1,4	1,7
	6,0 – 6,5	0,5	0,7	0,9	3,2	3,4	3,6	16,0	17,7	19,3	1,2	1,6	2,0
Западный	1,5 – 2,5	0,2	0,3	0,3	1,4	1,6	1,8	4,8	4,9	5,0	0,4	0,6	0,6
	3,0 – 4,0	0,2	0,4	0,6	1,8	2,6	2,9	5,2	10,5	13,3	0,5	0,9	1,3
	4,5 – 5,5	0,4	0,6	0,8	2,6	3,0	3,3	11,0	14,0	16,7	0,8	1,3	1,7
	9,5 – 12,0	0,6	0,8	1,1	3,5	4,2	4,6	19,1	27,5	32,4	1,5	1,9	2,5
	17,0 – 20,0	0,8	1,0	1,2	4,2	4,3	4,8	27,5	31,8	35,9	1,9	2,5	2,8
Бугский	0,5 – 1,5	0,1	0,2	0,3	1,3	1,5	1,7	2,4	3,5	4,3	0,2	0,4	0,6
	4,5 – 5,5	0,4	0,6	0,7	2,7	3,0	3,3	12,0	14,4	17,3	0,8	1,3	1,6
	6,0 – 6,5	0,5	0,7	0,8	3,2	3,4	3,5	16,3	17,6	19,1	1,2	1,6	1,8

Примечание: $\overline{h}$ *– высота волны;* $\overline{\tau}$ *– период волны;* $\overline{\lambda}$ *– длина волны;* $h_{1\%}$ *– высота волны 1 % обеспеченности.*

Период волны в западном районе лимана изменяется в пределах 1,2 – 4,8 с., длины волн составляют 4,8 – 35,9 м в зависимости от волнообразующих факторов.

Приводимые результаты хорошо согласуются с расчётными данными Ю.Г. Слатинского [56] и наблюдениями в г. Очакове. Однако по расчётам Слатинского Ю.Г. (и некоторых других авторов) высота волн 0,01 % -ной обеспеченности в районе Кинбурнского пролива может достигать 3,5 – 3,8 м, длина таких волн – 75 – 83 м, а период – 6,6 – 6,9 с. Вероятно, такая существенная величина, 3,8 м, не наблюдаемая в реальности, получена потому, что длина разгона для волноопасных направлений была принята равной 300 – 330 км, что маловеротно, так как по исследованиям Титова А.Ф. [99], максимальная длина разгона при южных ветрах на Чёрном море не превышает 100 – 200 км. Кроме того, за исходные данные принимались материалы наблюдений за ветром в предыдущий климатический период, т.е. с 1872 г. по 1965 г., когда скорость ветра превышала современную.

Анализ штормовых ситуаций показал, что повторяемость сильных ветров (≥ 15 м/с) над акваторией Днепровско-Бугского лимана имеет наибольшее значение (27,1 %) не при преобладающих северо-восточных ветрах, а при северо-западных, имеющих повторяемость 10 – 15 %. При этом, сильные северо-западные и юго-западные ветры в течение года бывают ежемесячно (кроме августа), а штормовой южный ветер (волноопасного направления) за 1961 – 2009 гг. имел повторяемость 4,3 %.

По данным наблюдений и отчётов об особо опасных явлениях максимальная скорость ветра (порыв) в рассматриваемом районе иногда достигает 40 м/с, обычно штормовое волнение вызывают сильные устойчивые ветры скоростью 20 – 25 м/с.

Распределение высоты волн по акватории лимана при экстремальных погодных условиях рассчитано по [103] для сильного южного ветра и показано на рис. 7.4.

Опасная штормовая обстановка в Днепровско-Бугском лимане сложилась 10 – 11 ноября 1981 г., когда средиземноморский циклон с давлением в центре менее 990 гПа сместился на север вдоль западного берега Чёрного моря (рис. 7.4). Вблизи центра циклона скорость южного и юго-западного ветра достигала 30 м/с. В г. Николаеве продолжительность южного ветра составила 24 часа, средняя скорость 10 м/с (порывами до 23 м/с), в г. Херсоне южный ветер продолжался 15 часов с наибольшей скоростью 21 м/с, в г. Очакове,

соответственно, 32 часа, средняя скорость была равна 20 м/с (порывами до 25 м/с).

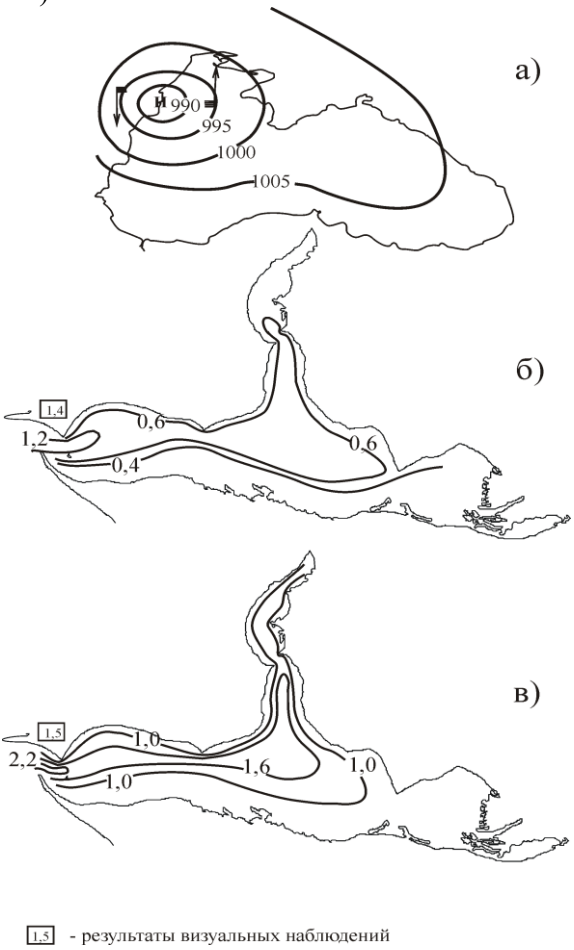


Рис. 7.4. Синоптические условия (*а*), средняя (*б*) и максимальная (*в*) высота волн (м) при южном ветре скоростью 20 м/с 10 ноября 1981 г.

В результате на бо̀льшей части акватории лимана развилось умеренное волнение (0,7 м), а в западной – значительное (≥ 1,25 м). Полученные расчётные величины хорошо согласуются с наблюдениями в г. Очакове (в лимане).

Для определения режимно-климатических характеристик волнения получены функции распределения скорости ветра волноопасных для лимана направлений и соответствующих им высот волн. Предельная обеспеченность восточного (повторяемостью 12 – 18 %), юго-западного (повторяемостью 11 – 15 %) ветров составляет 0,007 %. Средняя высота волны при таких ветрах не превысит в западном районе Днепровского лимана, соответственно, 1,1 – 1,2 м, а максимальная – 2,6 – 2,9 м. Предельная обеспеченность западного ветра (повторяемостью 7 %) составляет 0,01 %. Средняя высота волны в восточной и центральной частях Днепровского лимана (в районе с. Станислав) не превысит 0,9 м, максимальная – 1,9 м. Такие ситуации, согласно расчётам, возможны 1 раз в 100 лет.

В то же время, ежегодно может отмечаться восточный ветер скоростью 15 м/с и юго-западный ветер скоростью 13 м/с, формирующие в западном районе лимана волны средней высотой 0,8 м. В районе с. Станислав устойчивый западный ветер скоростью 12 м/с, отмечающийся ежегодно, может вызывать волнение, при котором средняя высота волны будет равна 0,6 м.

По расчётам специалистов ЦНИИС, с западной стороны Очаковского мыса высота волны при южном ветре может достигать 2,8 м, при юго-западном – 3,4 м. Примерно в этих пределах (от 2,9 до 3,7 м) изменяется максимальная высота волн в прилегающей к Кинбурнскому проливу части открытого устьевого взморья. В районе 5-ти метровой изобаты (южнее ст. 12, рис. 1.28, разд.1.6) при южных и западных румбах средняя высота волны изменяется от 0,2 до 1,8 м, при юго-западных – в пределах 0,6 – 3,0 м.

Расчёт элементов волн методом Браславского А.П., результаты которого приведены в [1], даёт более высокие величины максимальных (1 %-ой обеспеченности) высот волн вдоль судоходного канала: в восточной части лимана эта характеристика достигает 1,3 м, на остальной акватории – 1,4 м, в районе г. Очакова (со стороны открытой части взморья) – 4,6 м. При этом расчётная длина волны достигает 90 м. Длина разгона для волноопасного южного направления была принята равной 620 км, что маловероятно.

Характеристика ветрового волнения по данным наблюдений.

Анализ материалов наблюдений в сёлах Геройское и Касперовка, городах Николаев, Очаков и Херсон за типом, направлением, вы-

сотой, длиной и периодом волн свидетельствует о достоверности полученных расчётных величин элементов волн.

В рассматриваемый климатический период преобладала степень волнения 0 – II балла, т.е. от его отсутствия до умеренной величины (высота волны 0 – 0,75 м). В то же время, независимо от размеров волн, эффект воздействия ветра на водную поверхность иногда был здесь значительным, поэтому состояние поверхности моря изменялось от 0 до 8 баллов.

В лимане в среднем ветровое волнение при штормах не превышало 0,5 – 0,75 м, волны имели длину 6 – 8 м. Наблюдаемые величины меньше рассчитанных. Так, с 1961 г. по 2009 г. максимальная высота волн в районе г.Очаков не превышала 1,5 м, причём, с 1986 г. по 2009 г. – эта величина не превышала 1,0 м. Имеется только одно свидетельство о том, что ветровое волнение в лимане в 1871 г. было существенным, высота волн достигала 2 – 2,5 м.

Наблюдаемое в последнее время уменьшение максимальной высоты волн, возможно, связано с уменьшением скорости ветра, отмечаемым на всех метеостанциях региона (разд. 1.7). В последний климатический период повторяемость штормового волнения уменьшается в среднем на 0,5 – 0,7 % в год. Эта тенденция также связана с уменьшением скорости ветра и, возможно, со строительством волнозащитных сооружений.

Максимальное волнение наблюдается с декабря по март, минимальное – в июне – июле, что соответствует внутригодовой изменчивости скорости ветра (разд. 1.7). Многолетние изменения этих характеристик также синхронны.

Повторяемость высот волн в безлёдный период в районе г.Очакова, полученная по данным натурных наблюдений с 1975 г. по 2009 г., представлена в табл. 7.2, из которой видно, что почти в 70 % случаев волнение в районе г.Очакова (со стороны Днепровского лимана) не превышает 0,25 м.

В предыдущий климатический период, по исследованиям Слатинского Ю.Г., волны высотой от 0,25 м до 1,24 м повсеместно имели наибольшую повторяемость – от 59,2 % (с. Геройское) до 74,8 % (с. Касперовка); волны высотой более 1,25 м у г.Очакова повторялись в 0,11 % случаев, у с. Геройское – в 0,10 %, повторяемость волн высотою 2 м и более составляла 0,30 % в районе г. Очаков у морско-

го побережья (в лимане таких высоких волн не наблюдалось). Средняя высота волн в открытой части устьевого взморья составляла 0,5 м, изменяясь от 0,25 до 0,75 м. Максимальная высота волн на акватории Днепровско-Бугского лимана была равна 0,5 – 1,0 м, в открытой части устьевого взморья – 1,5 – 3,5 м (в ноябре 1956 г.).

Таблица 7.2

Повторяемость (%) высот волн в г. Очакове (лиман)

Месяцы	Градации высот волн, м			
	0	≤ 25	0,3 – 0,7	0,8 – 1,2
III	3,8	53,8	34,7	7,7
IV	1,7	56,9	38,0	3,4
V	1,6	62,9	33,9	1,6
VI	1,6	71,4	23,8	3,2
VII	1,5	83,3	15,2	
VIII	3,2	81,0	15,8	
IX	1,6	73,8	24,6	
X	5,9	55,9	32,4	5,8
XI	3,4	58,6	31,0	7,0
XII	4,8	61,9	33,3	
За безлёдный период	2,5	68,5	26,7	2,3

По данным наблюдений института «Укргипроводхоз» в 1982 г. в Днепровском лимане преобладало слабое волнение, с повторяемостью 90 % высота волн не превышала 0,5 м. Максимальная высота волн в лимане достигала 0,8 – 1,0 м. В то же время, с морской стороны Кинбурнской косы максимальная высота волн вдвое превышала волны в лимане, здесь в районе дистального конца отмечались волны 2-х метровой высоты.

Обобщение наблюдений на водпосту Очаков, расположенном в Днепровском лимане, в последний 5-ти летний период свидетельствует о том, что в среднем высота волны составляла 0,25 м, максимум был равен 0,8 м (обычно в декабре – марте), зыбь в лиман не проникала, а штиль отмечался хотя бы 1 раз в месяц. Количество случаев волнения в месяц в безлёдный период составляло в среднем 60, а в октябре – декабре – 25 – 30.

ГЛАВА 8
ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И СТОК РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Сложность и своеобразие условий формирования поверхностного водного стока и гидрохимического состава воды, недостаточные знания о процессах смешения разных по химическому составу вод, нестабильное хозяйствование, приводящее к нестабильности загрязнения, обусловливают трудности в изучении современного гидрохимического режима морского устья рек Днепр и Юж. Буг.

Гидрохимические наблюдения в морском устье рек Днепр и Юж. Буг осуществляются гидрометеорологической службой Украины с начала 40-х годов XX века, а систематические наблюдения за загрязнённостью воды – с начала 80-х годов, после создания Государственной службы наблюдений и контроля за загрязнённостью объектов природной среды (ОГСНК). В последние 20 лет объём исследований гидрохимических условий водных объектов постоянно сокращался из-за отсутствия финансирования, в 1991, 1995, 1997, 2002, 2003 гг. комплекс наблюдений уменьшился или они вообще не производились, поэтому сведения о гидрохимическом режиме ограничены. С 2004 г. наметилось некоторое возобновление мониторинговых исследований основных загрязняющих веществ. В морском устье рассматриваемых рек наиболее изучен газовый состав, главные элементы биогенного цикла (ГЭБЦ) и отдельные загрязняющие вещества. Анализ изменчивости этих абиотических компонентов экосистемы устья выполнен на основе данных ГВК с 1976 г. по 2009 г., подготавливаемого НЦГМ и МО УкрНИГМИ, а также данных Каховской ГМО, ГС Херсон и ГС Первомайск [46, 105, 106].

Схема пунктов контроля водной среды и основные выпуски сточных вод показаны на рис. 8.1. В настоящее время количество станций наблюдений сократилось примерно на 35 %.

Ранее различные аспекты гидрохимического режима отдельных структурных компонентов морского устья (лимана, открытой части взморья, рек и др.) рассматривались в работах [1, 6, 7, 10, 11, 22, 23, 25, 43, 56, 67, 69, 83, 84, 105 и др.]. Однако, в основном, в указанных источниках характеризовались отдельные части морского устья в разные периоды или распределение некоторых ингредиентов при конкретных гидрометеорологических ситуациях. В ряде работ при-

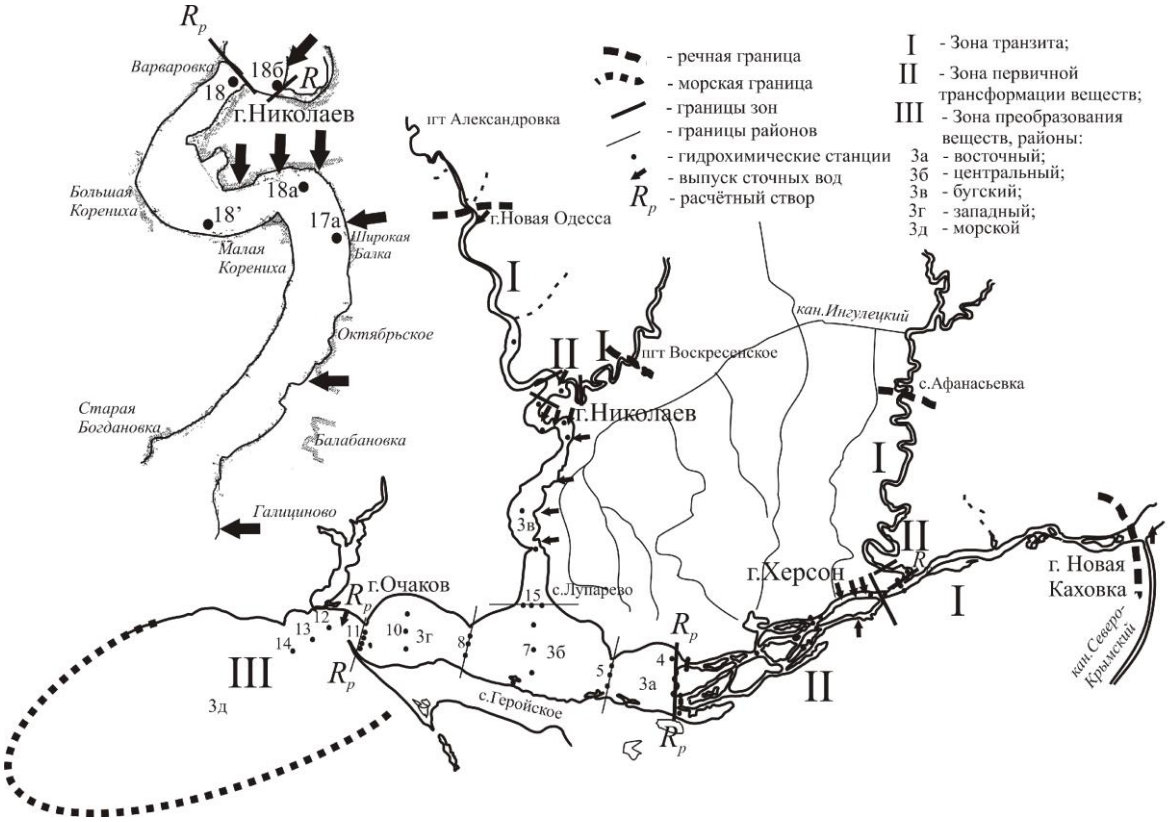


Рис. 8.1. Схема станций гидрохимических наблюдений в период с 1976 г. по 2009 г.

водятся величины стока отдельных веществ в различных створах в отдельные периоды [107, 108 и др.].

Основной особенностью формирования гидрохимического режима морского устья рек Днепр и Юж. Буг является смешение и адвекция разнородных по химическому составу вод – речных и морских. На этом фоне большую роль в изменчивости гидрохимических характеристик играет хозяйственная и природоохранная деятельность человека. Если первый фактор – смешение вод – действует постоянно, то антропогенное загрязнение морского устья зависит, как от выноса химических веществ загрязнёнными человеком реками, так и от локальных сбросов, разливов, аварий и других случайных явлений, зачастую непрогнозируемых. Эффективность природоохранной деятельности изменяется во времени и зависит от темпов внедрения новых, более экологичных технологий, контроля за соблюдением природоохранного законодательства, капиталовложений в природоохранные мероприятия и пр.

Основными источниками загрязнения воды являются: сбросы хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, а также неорганизованные сбросы; поступление загрязняющих веществ с сельхозугодий, приусадебных участков. Значительную роль играет водный транспорт – вода портов в городах Николаев, Херсон и Очаков наиболее загрязнённая. Кроме указанных источников загрязняющие вещества поступают в воду при транзите с вышерасположенных участков рек, аварийных утечках химических веществ. В процессе загрязнения водных объектов играют роль не только антропогенные, но и природные факторы: эрозия почв, образование льда большой толщины, эвтрофикация, заморы, заболачивание пойм, пересыхание водных объектов, заливание дельты, ветровой перенос и выпадения из атмосферы, образование токсичных веществ в донных отложениях или воде, например, при разложении органических веществ.

Поступая на устьевое взморье, биогенные и загрязняющие вещества, выносимые реками Днепр, Юж. Буг, Ингул и Ингулец, частично разлагаются, сорбируются, осаждаются, поглощаются гидробионтами. В результате перемешивания, адвекции, диффузии, различных физико-химических и биохимических процессов их концентрация на устьевом взморье изменяется.

Реакция среды морского устья рек на поступающие или образующиеся в нём химические вещества направлена на восстановление

качества воды, на сохранение некоторого среднего равновесного состояния. Если это равновесие нарушается, качество воды значительно ухудшается, что может привести к деградации устьевой экосистемы. Изменение во времени абиотических компонент может свидетельствовать о нестационарности экосистемы, поэтому, кроме анализа пространственной изменчивости основных гидрохимических ингредиентов, исследовались тенденции временных изменений концентрации отдельных веществ.

Морское устье рек Днепр и Юж. Буг условно разделено на три характерных района: 1) устьевые участки рек, где преобладает хорошее перемешивание и транзит биогенных и загрязняющих веществ (зона транзита); 2) устьевые рукава р. Днепр, Ингулецкий и Ингульский лиманы – зона первичной трансформации и 3) устьевое взморье – зона преобразования веществ под действием волнения, перемешивания, диффузии, гидрохимических и биогеохимических процессов, с характерной стратификацией вод (гл. 5). Зона преобразования веществ, по аналогии с зоной распреснения (разд. 5.4), может быть разделена на несколько районов: восточный, центральный, бугский, западный и морской, отличающихся особенностями гидрологического, температурного и ледового режимов, солёностью и др.

В зависимости от величины речного стока зона транзита может охватывать устьевые рукава и распространяться в прилегающую часть взморья (в период половодья, паводков, сбросов из водохранилищ) или, наоборот, сокращаться (в период межени). В связи с этим для более полной характеристики гидрохимического режима выполнена оценка стока растворённых веществ в вершины морского устья рек.

Сложность анализа ряда ингредиентов гидрохимического режима морского устья рек связана с тем, что их определение в пресных, распреснённых и солёных водах различное, и не всегда можно сопоставить результаты. То же касается использования интегральных показателей качества воды – критерии оценки качества в водах различной солёности не совпадают. К тому же, в конкретных районах морского устья превалируют разные ингредиенты, поэтому в пресных водах производят одни определения, в солёных – другие, т.к. химические элементы, поступающие на устьевое взморье с речной водой, подвергаются физическим, химическим и биологическим преобразованиям.

Учитывая это, для анализа гидрохимического режима использовались все имеющиеся материалы наблюдений, полученные обобщения характеризуют современные средние многолетние условия, сформированные постоянно действующими источниками загрязнения в морском устье и транзитом веществ с речным стоком. Экстремальные характеристики гидрохимического режима, обычно локализованные на небольшой акватории и отмечающиеся эпизодически в течение нескольких часов, анализировались отдельно и не использовались при построении полей распределения и определении тенденций. Основной акцент при анализе сделан на гидрологические аспекты гидрохимии морского устья рек Днепр и Юж. Буг, т.к. анализ химических и биохимических преобразований элементов в водной среде морского устья является предметом исследования гидрохимии и гидробиологии. Поэтому, в основном, рассматриваются отдельные черты гидрохимического режима, обусловленные стоком биогенных и загрязняющих веществ, изменчивость некоторых его составляющих, а также представлены осреднённые за 1976 – 2009 гг. поля распределения основных определяемых в воде устья ингредиентов.

8.1 Газовый состав и pH

Газовый состав воды и pH играют важную роль в формировании гидрохимического режима морского устья, являются показателями качества водной среды. Кислород поступает из атмосферы или образуется в результате фотосинтеза. Его недостаток может привести к заморам рыбы, появлению в придонном слое сероводорода, избыток – провоцировать смещение окислительно-восстановительных процессов, способствовать образованию свободных радикалов.

От водородного показателя зависит жизнедеятельность гидробионтов, по концентрации ионов водорода можно ограничить зону влияния речного стока на устьевое взморье в различные сезоны года, т.к. эта характеристика для речных и морских вод неодинакова.

Проверка данных наблюдений за содержанием растворённых газов и pH в воде морского устья рек на наличие тренда свидетельствует об его отсутствии в период с 1976 г. по 2009 г.

Содержание растворённого кислорода. В результате анализа данных натурных гидрохимических наблюдений в морском устье

рек Днепр и Юж. Буг получены средние многолетние схемы (рис.8.2) распределения концентрации растворённого кислорода (в % насыщения). Они свидетельствуют об очевидной обусловленности насыщения воды кислородом её стратифицированностью. Связь между солёностью воды и содержанием в ней кислорода установлена многими авторами [67, 83, 84 и др.]. Кроме солёной воды, поступающей в лиман, основной причиной изменчивости концентрации растворённого кислорода в лимане являются особенности продуцирования и потребления этого газа в условиях устойчивой плотностной стратификации вод, перемешивания в различные периоды года и при сгонах-нагонах.

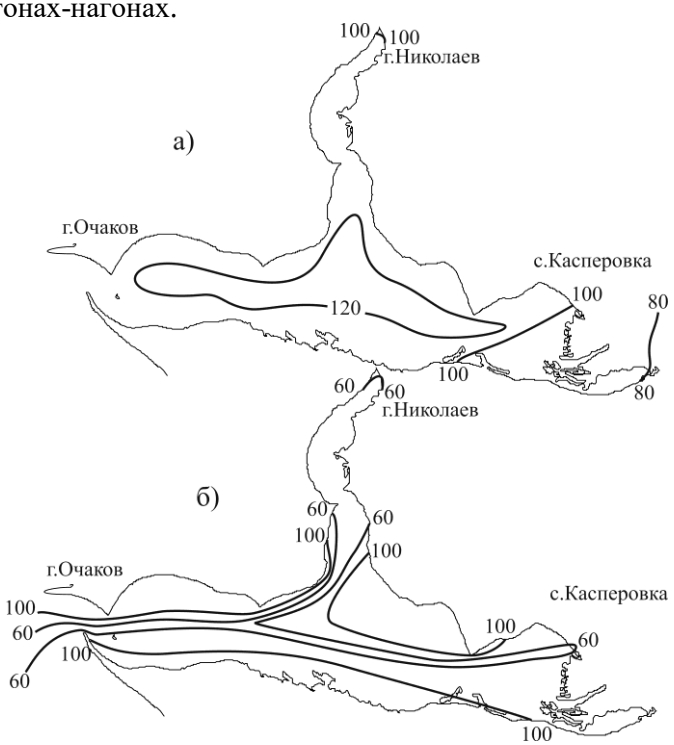


Рис. 8.2. Среднее многолетнее распределение % насыщения растворённого кислорода в поверхностном (а) и придонном (б) слоях морского устья рек

Содержание растворённого кислорода в поверхностном слое лимана изменялось в зависимости от конкретных гидрометеорологических условий в пределах 0,71 – 20,8 мг/л (6,5 – 273 %), в придонном

– от 0 до 14,7 мг/л (0 – 298 %). По данным Журавлёвой Л.А. [67] пределы изменений значений иные: от 6,0 до 28,0 мг/л (63 – 320 %).

Концентрация растворённого кислорода увеличивается в период повышенной водности рек, при понижении температуры воды (зимой), в период массового развития фитопланктона. Количество кислорода в воде уменьшается к концу лета, в межень (вплоть до гипоксии в придонном слое воды), при увеличении расхода кислорода на окисление органического вещества, накопленного за вегетационный период и достаточном прогреве. Содержание растворенного кислорода имеет суточный ход: максимум отмечается в вечерние часы, минимум – в утренние. Подробно сезонная и краткосрочная изменчивость концентрации растворенного кислорода рассмотрена в работе [67].

В поверхностном слое вода обогащается кислородом при абсорбции газа из атмосферы в условиях ветро-волнового перемешивания и при фотосинтезе, сюда же поступают обогащённые кислородом воды р. Днепр. Поэтому содержание кислорода в поверхностном слое Днепровского лимана больше, чем в устьевых рукавах р. Днепр и в Бугском лимане, здесь создаются условия для пересыщения воды кислородом.

Центральный район лимана пересыщен растворённым кислородом. Очевидно, это обусловлено тем, что в бóльшую часть года биомасса фитопланктона здесь имеет максимальные значения, отмечается «цветение» воды [83, 112], поэтому происходит интенсивное продуцирование кислорода при фотосинтетической деятельности фитопланктона. В центре лимана активное ветро-волновое перемешивание верхнего слоя воды (гл. 7) также способствует абсорбции кислорода из атмосферы.

В придонном слое обеднённая кислородом вода распространяется вдоль судоходного канала (рис. 8.2). В нижних осолонённых слоях, вода которых слабо перемешивается или вообще застаивается, кислород быстро расходуется на окисление органических веществ и возникает его дефицит. При этом в прибрежных мелководных районах Днепровско-Бугского лимана, заросших водной растительностью, с хорошим перемешиванием вод, концентрация кислорода наиболее высокая по всей глубине, а в судоходном канале практически всегда отмечается дефицит растворённого кислорода.

Недостаток кислорода в воде во все сезоны года характерен для загрязнённых акваторий городов, особенно портов. Так, в районе порта Николаев кислородный дефицит отмечается в 44,3 % случаев. При этом насыщение воды кислородом в 21 пробе из ста ниже 60 %, в 11 пробах из ста – ниже 30 % [115].

Сероводород. Уже на ранних этапах изучения гидрохимического режима морского устья рек Днепр и Юж. Буг в придонном слое отдельных глубоководных районов Днепровско-Бугского лимана был обнаружен сероводород [83]. Исследователи этого явления сходятся во мнении, что причиной сероводородного заражения является разложение органических веществ в условиях застойности вод из-за установившейся плотностной стратификации, препятствующей вертикальному обмену, что и вызывает гипоксию и появление сероводорода.

Средняя многолетняя зона распространения сероводорода в придонном слое воды приведена на рис. 8.3.

Наибольшая концентрация сероводорода отмечается в судоходном канале Бугского лимана и восточной части Днепровского лимана. Зона сероводородного заражения, ограниченная концентрацией 0,1 мг/л, в настоящее время занимает в придонном слое почти ¼ часть площади лимана.

Средняя многолетняя концентрация сероводорода в судоходном канале северной части Бугского лимана составляет 0,5 – 0,6 мг/л, максимум, 9,4 мг/л, отмечался 09.09.1998 г. в районе г. Николаева на ст. 18 (рис. 8.1). В восточном районе Днепровского лимана среднее содержание сероводорода варьирует в пределах 0,3 – 0,4 мг/л (03.09.1992 г. – 4,5 мг/л), в центральном – 0,1 – 0,2 мг/л (26.07.2001 г. – 4,0 мг/л), в открытой части устьевого взморья – 0,01 – 0,03 мг/л (02.07.1992 г. – 0,7 мг/л).

Чаще всего сероводород фиксируют в пробах воды в летне-осеннюю межень, с июля по сентябрь включительно. Иногда этот газ обнаруживали даже весной и зимой.

На рис. 8.3б) показано, как часто фиксировался сероводород в придонном слое воды в период с 1976 г. по 2009 г. В 20 и более процентов проб, отобранных за этот период в Бугском лимане, центральной и восточной частях Днепровского лимана сероводород присутствовал. На остальной акватории вероятность обнаружения

сероводорода меньше, а на прибрежном мелководье его обнаруживали в единичных пробах.

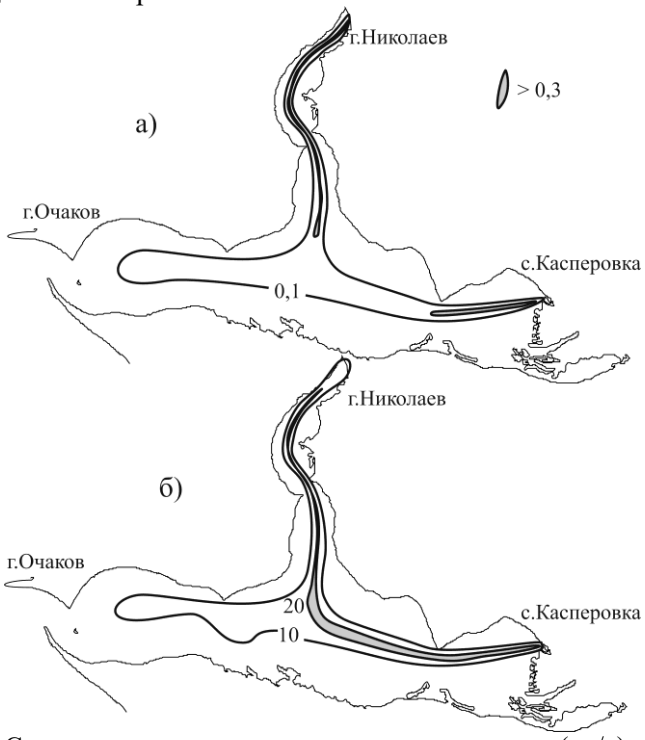


Рис. 8.3. Среднее многолетнее содержание сероводорода (мг/л) в придонном слое лимана (а) и вероятность (%) сероводородного заражения (б)

Таким образом, сероводородное заражение придонного слоя (толщиною 2 – 3 м) отмечается в 10 – 20 % случаев, в основном, при пониженном стоке р.Днепр и штиле. Такой комплекс гидрометеорологических условий способствует усилению плотностной стратификации, образованию слоя скачка, развитию гипоксии и даже аноксии, что и приводит к появлению сероводорода.

В портовой акватории г. Николаева, в северной части Бугского лимана обнаружение сероводорода в придонном слое воды имеет существенное значение – 29 % от общего числа определений. В районе судоходного канала толщина слоя, зараженного сероводородом, иногда составляет 3 – 5 м. Обратные течения, характерные для при-

донного слоя (разд. 2.3), способствуют поступлению в район г. Николаева заражённой сероводородом воды из застойной центральной части Бугского лимана. Поступление речной воды с севера в поверхностном слое и лиманной воды с юга в придонном слое, а также особенности рельефа (рис. 8.1) способствуют подпорным явлениям, затруднённому водообмену и образованию застойных зон в углублениях дна в районе г. Николаева.

Если в более ранних исследованиях сведений о появлении сероводорода на мелководных станциях не содержится, то по данным наблюдений НЦГМ в 1992 г. в районе станции 5в (рис. 1.28) на глубине 5 м концентрация сероводорода составляла 0,89 мг/л; на глубине 4 – 5 м в центральной части Днепровского лимана повышенное содержание сероводорода фиксировали в 1992, 1997 (отмечался замор рыбы) и в 2001 г., при этом концентрация сероводорода составляла 0,1 – 1,3 мг/л. В августе 2009 г. в центральной части Днепровско-Бугского лимана наблюдался замор бычка, аноксия и появление сероводорода. В западном районе Днепровского лимана, в его мелководных местах, на глубине 3,5 – 5,0 м также появлялся сероводород в эти же годы, и его содержание составляло 0,3 – 2,6 мг/л. Следовательно, можно предположить, что зона сероводородного заражения могла увеличиться. Не исключено, что этому, кроме соответствующих гидрометеорологических и динамических факторов, способствовали дноуглубительные работы в канале с последующим складированием грунта на мелководных отвалах в лимане. Например, в 2006 г., согласно разрешению на ремонтные и дноуглубительные работы [111], из 43 точек дампинга – 42 находились в лимане. В последнее время участились случаи обнаружения сероводорода на отдельных станциях (2002, 2004, 2007, 2009 годы).

Избежать сероводородного загрязнения лимана, очевидно, можно путём его «промывки» значительными попусками ГЭС в опасные периоды и прекращением складирования грунта в районе канала при дноуглублении.

Водородный показатель (pH). За период наблюдений с 1976 г. по 2009 г. средние значения pH стабилизировались на уровне 8,2 – 8,8. Пространственное распределение водородного показателя приведено на рис. 8.4. Очевидна идентичность в распределении pH и растворённого кислорода (рис. 8.2, 8.4), что обусловлено общностью причин, повышающих концентрацию сравниваемых ингредиентов,

основной из которых, по-видимому, является фотосинтез в Днепровско-Бугском лимане. Поэтому максимальные величины pH приурочены к центральному и западному районам Днепровского лимана, в водотоках, в восточном и морском районах устья pH имеет наименьшие значения. Из рис. 8.4 очевидно влияние на Днепровский лиман адвекции «подкислённых» береговыми стоками речных вод и проникающих вдоль канала осолонённых вод. Двухслойность водной массы по величине pH аналогична стратификации концентрации кислорода и также обусловлена плотностной неоднородностью.

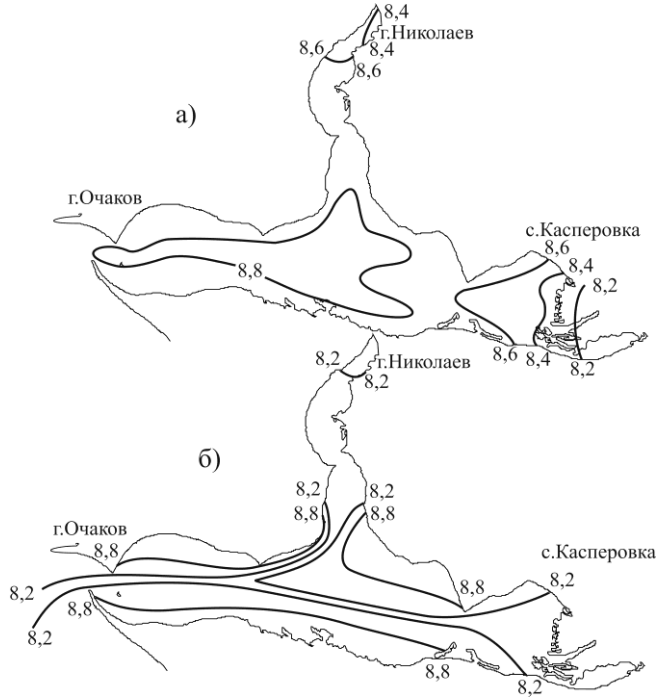


Рис. 8.4. Водородный показатель (pH) в поверхностном (а) и придонном (б) слоях морского устья рек Днепр и Юж. Буг за 1976 – 2009 гг.

Значения pH поверхностного слоя повсеместно больше, чем у дна, так как наиболее активно процессы фотосинтеза развиваются в верхнем слое воды. Причём, градиенты между поверхностью и дном могут быть существенными [83], размах величин pH показан в табл.

8.1, в которой нумерация станций приведена в соответствии с рис. 1.28, 8.1.

Таблица 8.1

Пределы изменений pH в Днепровско-Бугском лимане

Станция	Горизонт					
	поверхностный			придонный		
	макс	мин	размах	макс	мин	размах
4	9,3	7,2	2,1	8,9	7,1	1,9
5	9,4	7,9	1,5	9,3	6,9	2,5
7	9,5	6,9	2,7	9,2	6,1	3,1
8	9,6	8,2	1,4	9,6	7,4	2,3
10	9,5	8,0	1,5	8,9	6,8	2,1
11	9,9	7,9	2,0	9,0	7,1	1,9
15	10,0	8,0	2,0	9,1	7,3	1,8
18	9,5	7,3	2,2	10,4	7,2	3,2

В отдельных пробах (табл. 8.1) pH в рассматриваемый период изменялся от 6,10 (на глубине 9 м, ст.7, 14.08.1987 г.) до 10,4 (на глубине 8 м, ст.18, 06.07.1994 г.). Экстремальные величины pH наблюдались в придонном слое воды при разном насыщении её растворённым кислородом: минимуму pH соответствовал дефицит кислорода до 3 % насыщения, максимуму – пересыщение до 298 %.

Важной характеристикой экологического состояния водной среды морского устья является биологическое потребление кислорода ($БПК_5$), характеризующее убыль растворённого кислорода в процессе окисления органических веществ при определённом значении pH. Этот элемент гидрохимического режима, несмотря на свою важность, изучен недостаточно, т.к. определялся эпизодически и, в основном, в рукавах р.Днепр, в районе городов Николаев и Херсон, на отдельных станциях в лимане. Среднее значение $БПК_5$ изменялось от 1,4 до 7,8 и в 50 – 55 % случаев превышало ПДК (т.е. было выше 3 мг/л). Как минимум, в половине отобранных проб вода, согласно классификации загрязненности Былинкиной А.А. и др. [114], была загрязненной (7 – 9 %), грязной (34 – 36 %) и очень грязной (9 – 10 %) по этому показателю. Максимальное значение $БПК_5$ достигало 55,1 мг/л (в устье р. Ингулец, 03.11.1990 г.), что свидетельствует о высоком уровне загрязненности воды.

8.2. Главные элементы биогенного цикла

Биогенные вещества (БВ) или главные элементы биогенного цикла (ГЭБЦ) являются важной абиотической составляющей экологических условий, необходимым элементом жизнедеятельности гидробионтов, лимитирующим фактором биопродуктивности, важной характеристикой загрязнённости водной среды. Они поступают в морское устье рек Днепр и Юж. Буг с речным стоком, со сточными водами, при смыве с берега, из атмосферы и донных отложений, богатых органическими веществами, в результате внутриводоёмных процессов, например, разложения животных и растительных организмов и минерализации органического вещества. Кроме того, в составе пород правобережья р. Днепр обнаружены фосфориты, которые, путём выветривания и растворения, могут, в конечном итоге, обогащать речные воды соединениями фосфора. По уровню содержания биогенных веществ рассматриваемое морское устье можно отнести к высокопродуктивным.

В Чёрное море, по расчётам автора [8], с речным стоком поступает в среднем 88 % фосфатов, 57 % фосфора общего, 82 % кремния и 89 % азота нитритного от общего объёма приходной части баланса. Сравнительный анализ поступления ГЭБЦ в морское устье рек Днепр и Юж. Буг из различных источников показал, что их приток с речными водами в основном превалирует над остальными приходными составляющими. Поэтому исследование поступления биогенных элементов из этого источника имеет важное научное и практическое значение для экологии, как морского устья рек, так и всего Чёрного моря.

Из ГЭБЦ в воде морского устья определялись растворимые формы азота (мкг*N*/л), фосфора (мкг*P*/л) и кремний (мкг/л).

Кроме станций в северной части Бугского лимана (рис.8.1), все определения выполнялись в тёплый период года, поэтому схемы распределения биогенных веществ построены за сопоставимый период (с апреля по ноябрь). Среднее многолетнее (за период с 1976 г. по 2009 г.) содержание ГЭБЦ (также за тёплый период года) вдоль оси Днепровско-Бугского лимана (рис. 8.1) представлено в табл. 8.2. Нумерация станций в таблицах и на рисунках соответствует приведенным рис. 1.28 (разд. 1.6) и рис. 8.1 (разд. 8.1).

Таблица 8.2

Характерные концентрации ГЭБЦ в поверхностном (числитель) и придонном (знаменатель) слоях лимана, мкг/л

Станция	Характеристика	Фосфаты	Фосфор общий	Азот* аммоний.	Азот нитрит.	Азот нитрат.	Азот общий	Кремний
	ПДК	170	–	390	20	9100	–	10000
4	сред.	141 214	216 300	50(67/26) 129(172/70)	11 10	189 183	900 1034	2408 2271
	макс.	410 710	1900 1180	960 1014	41 41	690 850	2800 2890	5100 4800
	мин.	0 0	0 7	0 0	0 0	0 0	80 230	0 210
7	сред.	106 159	162 235	56 151	8 8	64 68	855 909	1870 1526
	макс.	660 750	750 1100	500 830	52 67	420 562	3350 3620	4400 4100
	мин.	0 0	0 21	0 0	0 0	0 0	30 130	0 0
11	сред.	68 49	118 91	55 53	6 6	45 45	871 765	1619 1045
	макс.	230 246	850 330	804 520	35 36	400 170	3830 2870	5700 3900
	мин.	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	64 0	0 0
15	сред.	107 136	159 207	65 132	8 9	67 88	928 1013	1783 1263
	макс.	290 590	770 790	1280 820	46 29	690 780	3950 3350	7200 7200
	мин.	0 0	5 36	0 0	0 0	0 0	80 74	0 0
18	сред.	196 261	253 326	87 201	17 17	240 199	1302 1293	2246 2225
	макс.	910 850	980 1280	1136 1590	110 97	1720 850	4830 4780	7750 7700
	мин.	0 0	22 0	0 0	0 0	0 0	130 81	0 0

*Примечание: * – (.../...) значения за 1986 – 1995 гг. / 1996 – 2009гг.*

Материалов наблюдений за растворённым железом недостаточно для обобщения, и этот компонент не анализировался. Наиболее полно особенности распределения железа в воде лимана рассмотрены в работах [22, 67], а сток этого элемента, причём, как растворённого, так и взвешенного – в работе Морозовой А.А. [135].

Подробный анализ изменчивости ГЭБЦ в пространстве и во времени и соображения по поводу преобразования рассматриваемых ингредиентов приведены в работе [67].

Поэтому в данном разделе основное внимание уделено среднему многолетнему распределению фосфатов, нитратов и кремния по акватории морского устья (рис. 8.5, 8.7, 8.10), анализу временных тенденций их концентрации и возможных причин изменчивости. В пространственном распределении указанных биогенных веществ отмечаются общие черты.

В поверхностном слое морского устья рек обогащённые биогенными веществами речные воды, смешиваясь с морскими, разбавляются, ГЭБЦ потребляются фитопланктоном и их концентрация у поверхности уменьшается. В придонном слое, где ветро-волновое перемешивание затруднено, и потребление фитопланктоном практически отсутствует, биогенные вещества сохраняются или даже образуются при минерализации органических веществ донных отложений. В результате – вертикальное распределение концентрации сглаживается и не отмечается выраженной стратификации воды по этим элементам (за исключением кремния), характерной для солёности, pH, растворённого кислорода и др. ингредиентов.

Общим также является уменьшение концентрации элементов по направлению к морю, что подтверждает ведущую роль речных поступлений в распределении концентрации. Наибольшее содержание ГЭБЦ отмечается на устьевых участках рек и в устьевых рукавах р.Днепр, наименьшее – в открытой части устьевого взморья (рис. 8.5, 8.7, 8.10). В процессе смешения речных и морских вод на устьевом взморье происходит разбавление речных вод более чистыми морскими, осаждение биогенных веществ, поглощение их гидробионтами и пр., что и приводит к закономерному уменьшению концентрации ГЭБЦ вдоль осей Днепровско-Бугского лимана.

Заболоченные и плавневые участки дельты р. Днепр, изобилующие эвтрофными водоёмами, являются «накопителями» и дополнительными источниками ГЭБЦ в различные фазы водного режима.

Акватории городов и особенно портов – наиболее загрязнены. Локальное, экстремальное содержание биогенных веществ постоянно фиксируется в северной части Бугского лимана, т.к. сюда они поступают с водой рек Юж. Буг и Ингул, а также из многочисленных выпусков сточных вод (рис.8.1) в районе г. Николаев. Загрязнённость воды в прибрежной зоне характерна для выпусков сточных вод в районе г. Херсон и г. Очаков. В условиях постоянного загрязнения, ГЭБЦ поглощаются здесь в меньшей степени, чем в других районах морского устья, накапливаясь в воде и донных отложениях. Кремний является исключением из правила, т.к. его наибольшие значения бывают в днепровской воде и прилегающей к дельте р. Днепр части Днепровского лимана (табл. 8.2).

Минимальные значения всех элементов приурочены к западной части Днепровского лимана и открытой части устьевого взморья, вследствие того, что в лимане концентрация ГЭБЦ существенно уменьшается, и через Кинбурнский пролив в лиман поступает вода, обеднённая биогенными веществами.

Фосфаты. Распределение концентрации соединений растворённого минерального фосфора в акватории морского устья характеризует рис. 8.5. Из него видно, что их основным источником является поступление с речными водами, т.к. изолинии концентрации фосфатов по всей толще воды оконтуривают поток пресных вод, и содержание элементов постепенно уменьшается по направлению к морю – средний горизонтальный градиент этого уменьшения вдоль оси Днепровского лимана составляет -0,6 мкг*P*/л на 1 км, вдоль оси Бугского лимана около -2,6 мкг*P*/л на 1 км.

Однако это не означает, что чем больше сток р. Днепр, тем больше концентрация минерального фосфора в прилегающих к дельте реки районах Днепровского лимана. Напротив, зависимость средней годовой концентрации фосфатов в верхнем слое восточного района Днепровского лимана (ст. 4) от расхода воды р. Днепр (рис. 8.6а) имеет обратный характер и коэффициент корреляции, равный -0,58. Более тесная зависимость установлена здесь между средней годовой концентрацией фосфатов и средней годовой солёностью

верхнего 5-ти метрового слоя воды (рис.8.6, б), её коэффициент корреляции равен 0,63. Ранее установить аналогичные зависимости не удавалось [67].

Анализ имеющихся натурных наблюдений на устьевом участке и в рукавах р. Днепр показал, что удовлетворительной связи между концентрацией фосфатов в нижнем бьефе Каховской ГЭС и восточном районе Днепровского лимана нет. Содержание фосфатов в речной воде до г. Херсона – около 80 – 90 мкг*P*/л, а ниже, в устьях днепровских рукавов оно увеличивается до 130 мкг*P*/л. Вероятно, сбросы сточных вод населённых пунктов и обширные плавневые массивы дельты р. Днепр способствуют увеличению концентрации фосфатов на этом участке морского устья рек.

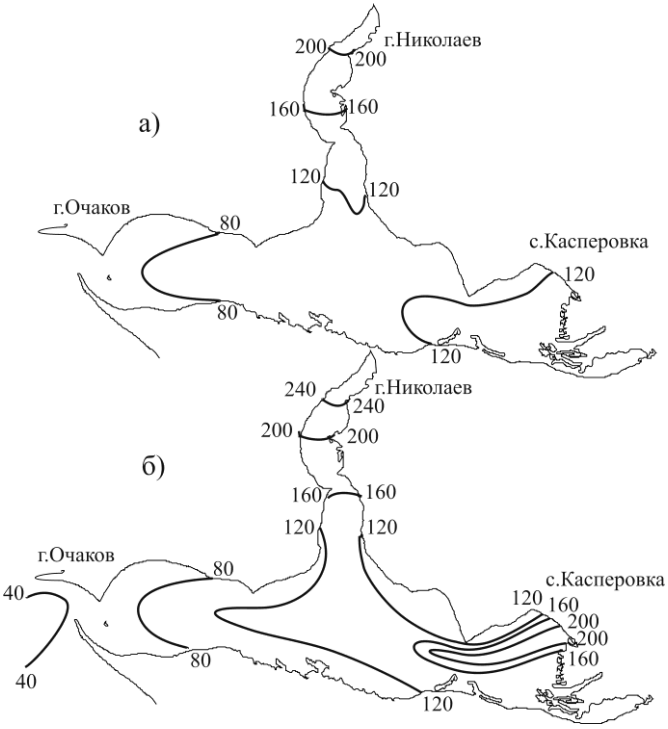


Рис. 8.5. Среднее многолетнее распределение концентрации фосфатов (мкг*P*/л) в поверхностном (а) и придонном (б) слоях Днепровско-Бугского лимана

В многоводные годы в водохранилищах Днепровского каскада происходит разбавление речных вод талыми (рис. 2.2, разд. 2.1), а затем и вод лимана речными, в связи с чем концентрация растворённого минерального фосфора в поступающих на устьевое взморье речных водах и в зоне их влияния минимальна. Наоборот, при пониженном стоке р. Днепр такого разбавления талыми водами не происходит и из водохранилищ на устьевое взморье поступает речная вода, максимально обогащённая фосфатами в этих искусственных застойных водоёмах, концентрация которых и в лимане из-за низкой межени тоже велика.

Связь концентрации фосфатов с солёностью воды (рис. 8.6, б), в отличие от связи со стоком, прямо пропорционального характера, так как чем больше сток р.Днепр, тем меньше солёность Днепровского лимана (рис. 5.14, разд. 5.3) и меньше концентрация фосфатов (рис. 8.6а). Кроме того, увеличению солёности воды в районе НГД (ст. 4) способствует локальный подъём придонных вод (разд. 5.4, рис. 5.11), в которых концентрация фосфатов больше, чем в поверхностном слое (рис. 8.5). Возможно, это и увеличивает тесноту зависимости, коэффициент корреляции возрастает до 0,63 (рис. 8.6б).

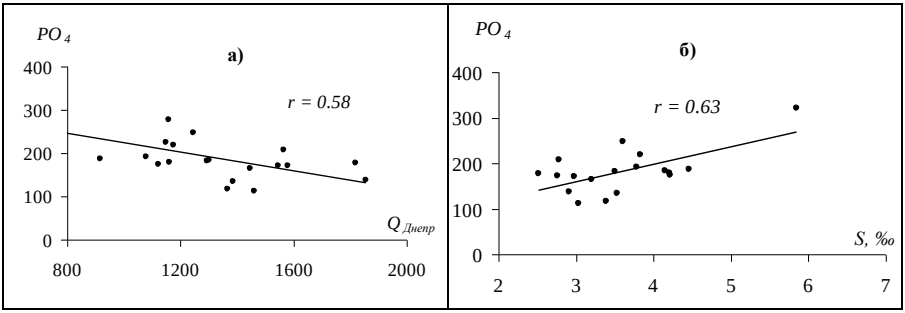


Рис. 8.6. Зависимости концентрации фосфатов (PO_4, мкгP/л) в восточной части Днепровского лимана от среднего годового расхода воды р. Днепр (а) и средней солёности верхнего пятиметрового слоя воды (б)

Увеличение концентрации фосфатов по глубине является результатом происходящих в водной среде преобразований соединений фосфора при химико-биологических процессах, основными из

которых являются их утилизация и регенерация. В поверхностном слое воды фосфор потребляется фитопланктоном, в придонном – аккумулируется ниже слоя скачка. Затрудненный вертикальный обмен способствует сохранению в придонном слое более высоких концентраций минерального и общего фосфора, по сравнению с вышележащими слоями. При компенсационных течениях и подъёме вод или разрушении слоя скачка верхние слои не только осолоняются, но и обогащаются этим биогенным веществом.

На большинстве станций в Днепровско-Бугском лимане значимых тенденций в многолетних изменениях концентрации, как фосфатов, так и фосфора общего, не обнаружено. Средняя годовая концентрация фосфатов увеличивается локально: на ст. 7 (рис. 1.28, рис. 8.1), в центральном районе Днепровского лимана, ежегодное увеличение в среднем составляет 3,6 мкг*P*/л, в районе Николаевского морского порта (ст. 18а, рис. 8.1) – 2,1 мкг*P*/л в год.

Повышенное содержание фосфатов (выше ПДК, табл.8.2) характерно для устьевого участка р. Юж. Буг, северной части Бугского лимана и нижних слоёв воды (глубже 5 м) восточной части Днепровского лимана (рис. 8.5). Здесь, у нижних границ устьевых участков р. Юж. Буг и р. Ингул, дельты р. Днепр, отмечается большая биомасса пресноводного фитопланктона [22, 112], происходит осаждение веществ, выносимых реками, т.к. скорость течения уменьшается, солёность воды увеличивается, адсорбция фосфора взвешенным веществом активизируется. В придонном слое органические вещества минерализуются, концентрация фосфатов увеличивается, но из-за незначительного перемешивания, т.к. ветровое волнение в этих частях устья несущественно (гл. 7), максимальная концентрация соединений фосфора локализуется вдоль судоходного канала восточной части Днепровского лимана и в северной части Бугского лимана (рис. 8.5).

В указанных районах наибольшего загрязнения (рис. 8.5) максимальная концентрация фосфатов достигала 850 (на ст. 5, глубина 8,0 м, 26.07.2001 г.) – 910 мг*P*/л (у поверхности на ст. 18, 06.09.2004 г.).

Внутригодовые изменения средней месячной концентрации фосфатов (и фосфора общего), показанные на рис. 8.7, свидетель-

ствуют о том, что в маловодную фазу водного режима, в августе – сентябре, эта группа ГЭБЦ имеет наибольшие значения, минимум отмечается в период половодья на реках – в апреле-мае (рис. 2.2, разд. 2.1). Причиной минимума концентрации фосфатов весной, по-видимому, является разбавляющее воздействие талых вод и потребление ГЭБЦ развивающейся органикой.

Летне-осенний максимум наблюдается в межень, при достаточно высокой температуре воды, слабой проточности лимана, поступлении эвтрофированных днепровских вод, обогащённых продуктами первичной минерализации органического вещества. По данным Журавлёвой Л.А. [67] в водоёмах, расположенных в дельте р.Днепр, содержание ГЭБЦ превышает их концентрацию в лимане, поэтому важную роль в распределении фосфатов, особенно в увеличении их количества в восточном районе лимана, может играть обмен с плавнями и озёрами в днепровской дельте. До настоящего времени обмен ГЭБЦ между рукавами р. Днепр, дельтовыми водоёмами и лиманом остаётся практически неизученным, что затрудняет установление закономерностей поступления фосфатов на устьевое взморье.

В Каховском водохранилище летом отмечается наибольшая концентрация соединений фосфора [11], наименьшая – весной, т.е. сезонная изменчивость ГЭБЦ идентична с лиманом. Следовательно, внутригодовые изменения концентрации фосфатов (и фосфора общего) в лимане противоположны сезонному ходу стока воды р.Днепр, что подтверждает тесная обратная зависимость между этими величинами (рис. 8.8). Причём, несмотря на то, что станция 18 расположена в северной части Бугского лимана, связь между содержанием фосфатов со стоком р. Днепр более тесная, чем со стоком р. Юж. Буг, что объясняется существенным различием водоносности этих рек и, соответственно, разной степенью воздействия на устьевое взморье.

По имеющимся данным натурных наблюдений сезонный ход концентрации ГЭБЦ в Днепровском лимане аналогичен приведенному на рис. 8.7, но смещён на 1 – 2 месяца позже, так как вода Бугского лимана охлаждается раньше, чем Днепровского (разд. 4.1, 6.1), что может быть причиной разной продолжительности вегетационного периода, фотосинтетической активности, сдвига во времени био-

химических процессов, отражающихся на содержании фосфатов. По исследованиям Журавлёвой Л.А. [67] во всех районах Днепровско-Бугского лимана максимальные величины концентрации фосфора отмечаются зимой, а не осенью, причём, кое-где весной и летом концентрация больше, чем осенью, что автор [67] объясняет многочисленностью влияющих факторов. Но, по имеющимся данным наблюдений, и в поверхностном, и в придонном слоях внутригодовая изменчивость концентрации фосфора соответствует рис. 8.7.

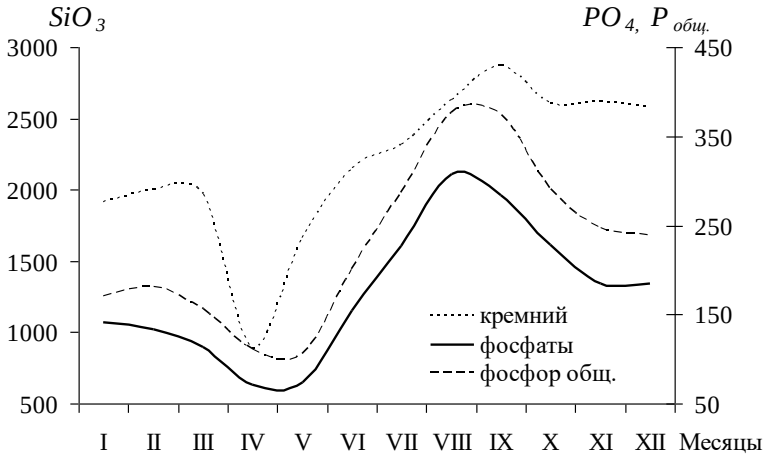


Рис. 8.7. Внутригодовая изменчивость концентрации соединений фосфора (PO_4, $P_{общ.}$, мкгP/л) и кремния (SiO_3, мкг/л) на станции 18 в поверхностном слое воды северной части Бугского лимана

Наличие удовлетворительных зависимостей средней годовой и средней месячной концентрации фосфатов от соответствующих значений стока и солёности поверхностного слоя воды (рис. 8.6, 8.8) в восточной части Днепровского лимана и северной части Бугского, не гарантирует, что в суточном диапазоне изменчивости и в других районах устьевого взморья они будут аналогичными, т.к. концентрация фосфатов в конкретный срок может зависеть не только от адвекции веществ рекой или разбавления речными водами, но и от других, зачастую локальных, физических, химических, биологиче-

ских и антропогенных факторов, которые довольно сложно учитывать из-за их взаимосвязанности и комплексного воздействия.

Концентрации минерального фосфора в пробах воды, отобранных в верхнем слое, в различных районах устьевого взморья в тёплый период года, распределены не одинаково (рис. 8.9). По направлению к морю асимметричность распределений увеличивается.

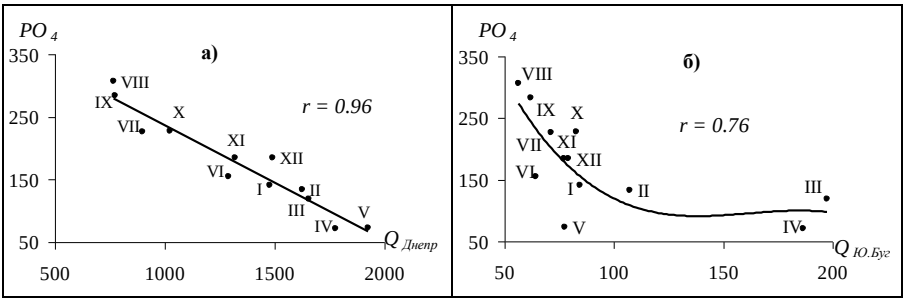


Рис. 8.8. Изменения средних месячных значений концентрации фосфатов (PO_4, мкгP/л) на ст.18 и расхода воды рек Днепр (а) и Юж. Буг (б)

Ближе всего к нормальному закону распределения гистограмма концентрации фосфатов в устьевых рукавах р. Днепр и восточном районе Днепровского лимана (ст. 4), так как здесь проявляются речные факторы влияния, концентрация фосфора зависит от водности р. Днепр (рис. 8.6) и случайный характер в распределении её стока (разд. 2.1) отражается на гистограммах распределения концентрации фосфатов. Действуют и другие факторы, имеющие в этой части устья существенную изменчивость и рассмотренные в разд. 5.4.

В северной части Бугского лимана (ст. 18) с равной вероятностью (со средней частотой 13 %) концентрация фосфатов изменяется в диапазоне 50 – 350 мкгP/л, что, по-видимому, связано с детерминированностью её годового хода (рис. 8.7). Постоянные источники поступления фосфора (реки Юж. Буг и Ингул, стоки г. Николаева), малая способность водной среды к самоочищению, обеспечивают его наличие во всех отобранных пробах, а с повторяемостью 66 % концентрация фосфатов здесь была равна или превышала ПДК.

Кстати, вода р. Юж. Буг, в устьевой части, из всех рек Причерноморья наиболее богата фосфатами и фосфором общим. Не исклю-

чено, что причиной этого могли быть промышленные стоки предприятий по производству удобрений и моющих средств, а после их закрытия – свалки фосфогипса, отстойники, склады, смыв с сельскохозяйственных угодий и пр. территорий, загрязнённых соединениями фосфора.

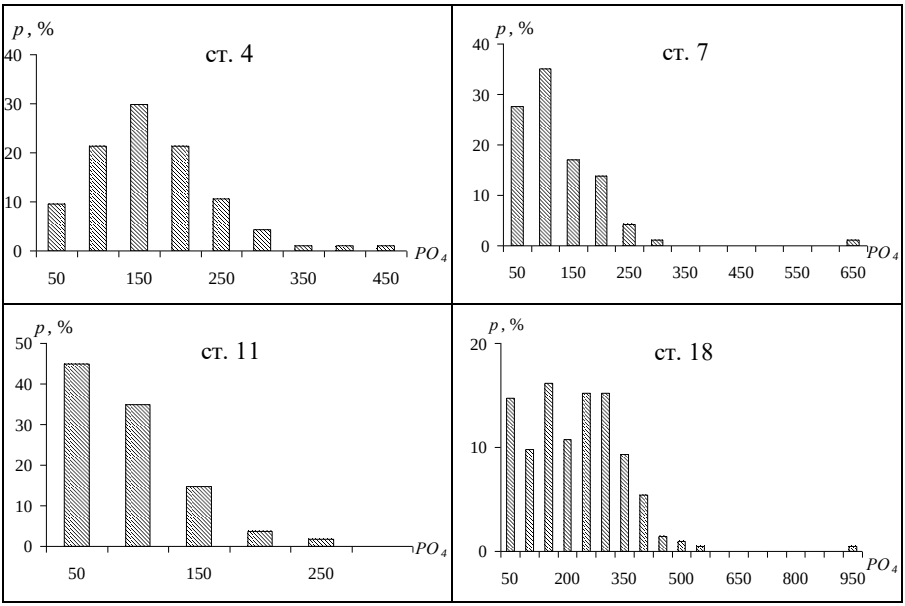


Рис. 8.9. Гистограммы распределения концентрации фосфатов (PO_4, мкгP/л) в различных районах устьевого взморья

Умеренная (ст. 7) и крайняя (ст. 11) асимметричность гистограмм рядов характерна для центрального и западного районов Днепровского лимана. Так как в отличие от Бугского лимана (ст. 18) максимальные концентрации фосфора фиксируют на ст. 7 и ст. 11 поздней осенью и зимой, а в этих районах Днепровского лимана наблюдения в холодное время года немногочисленны, повторяемость больших значений концентрации очень мала. В то же время, высока вероятность минимальных величин, в 65 % случаев концентрация фосфатов не превышала 100 мкгP/л. В западном и морском районах устьевого взморья гистограммы наиболее смещены в сто-

рону минимумов (рис. 8.9), т.к. концентрация фосфатов на устьевом взморье закономерно уменьшается в 3 – 4 раза и стабилизируется на низком фоновом уровне.

Повторяемость обнаружения фосфатов, а также фосфора общего, высока по всей акватории морского устья. Например, в верхнем 5-ти метровом слое фосфор общий зафиксирован в 98 % (западный район Днепровского лимана) – 100 % проб (северная часть Бугского лимана). Чаще всего фосфаты обнаруживали в воде Бугского лимана (повторяемость обнаружения 99 %), а в центральной части Днепровского лимана их значение зачастую уменьшалось до нуля из-за потребления фитопланктоном, бóльшей самоочищающей способности, обусловленной ветро-волновым перемешиванием верхнего слоя воды и другими динамическими процессами, и поэтому повторяемость обнаружения составляла здесь 89 %.

Соединения азота. Основными источниками различных форм азота в морском устье являются: реки Днепр и Юж. Буг, в которых они как природного, так и антропогенного происхождения; сточные воды населённых пунктов в пределах устья, особенно крупных городов; смыв с берега (только в г. Николаеве зарегистрировано около 50 ливневых стоков, 39 % из которых имеют прямые сбросы в открытые водные объекты [23]); регенерация органических остатков; обмен с донными отложениями; поступление с осадками и др. По мнению Холопцева А.В. и Павловой Е.А. [113] при повышенной солнечной активности увеличивается количество нитратов в атмосфере, ими обогащаются осадки, вносящие заметный вклад в баланс нитратов в поверхностных водах. Очевидно, основной причиной изменчивости концентрации соединений азота в морском устье являются его поступление со стоком рек и сточными водами (в том числе и ливневыми), а также внутриводные процессы (нитрификация, аммонификация и пр.). Причём, процессы оборота соединений азота, характерные для Каховского водохранилища, очевидно, свойственны восточному и, отчасти, центральному районам Днепровско-Бугского лимана. Западный район лимана и открытая часть устьевого взморья – бедны соединениями азота вследствие очищающего влияния моря.

В устье определяется (в основном, с мая по ноябрь) содержание азота аммонийного, нитритного, нитратного и общего. В среднем за период с 1976 г. по 2009 г. концентрация соединений азота не превышала ПДК (табл. 8.2). При анализе средних годовых значений (на ст. 18, 18а и 18б, рис. 8.1), включая холодный период года (декабрь – март), установлено, что в наиболее загрязнённой северной части Бугского лимана, в районе г. Николаева, средняя многолетняя концентрация нитритов превышает ПДК. Повышенное содержание нитритов свидетельствует об интенсификации здесь процессов разложения органических веществ в условиях замедленного окисления нитритов в нитраты, что является показателем загрязнённости воды и невысокой степени её самоочищения [114].

Так как нитратный азот является наиболее потребляемым фитопланктоном и в то же время представляет собой последнее звено минерализации других форм азота [84], основное внимание уделено этому биогенному веществу, и на рис. 8.10 представлено среднее многолетнее распределение концентрации нитратов в поверхностном и придонном слоях воды, характерное для бóльшей части года – с апреля по декабрь включительно.

Как видно из рис. 8.10 наибольшее содержание нитратов характерно для устьевых участков рек Юж. Буг и Ингул, рукавов р. Днепр и прилегающих к ним районов Днепровско-Бугского лимана, т.к. основным источником этого биогенного вещества является речной сток и выпуски сточных вод городов Николаев и Херсон. Концентрация нитратов ниже г. Херсона, в устьях рукавов, больше, чем на устьевом участке реки, что может быть связано не только со стоками города, но и с процессами нитрификации в водоёмах и плавневых массивах дельты р. Днепр.

Существенную роль играет адвекция днепровских вод, зона влияния которых на лиман зависит от стока р. Днепр (разд. 5.4). В среднем содержание нитратов в морской части устьевого взморья в 3 – 4 раза меньше, чем в восточном районе Днепровского лимана и в 5 – 6 раз меньше, чем в северной части Бугского лимана. Таким образом, горизонтальный градиент концентрации нитратов вдоль оси Днепровского лимана в среднем около -2 мкг*N*/л на 1 км, а вдоль оси Бугского лимана – в 2 раза больше (-4 мкг*N*/л на 1 км).

Вертикальной стратификации содержания нитратов в среднем либо не отмечается (на большинстве станций), либо она слабо выражена (ст. 4, ст. 18, табл. 8.2), возможно, из-за смешения разнородных вод, сложных внутриводоёмных химических и биохимических процессов оборота соединений азота, их послойной разновременности и разнонаправленности, обмена с донными отложениями.

Для поверхностного слоя характерно разбавление нитратсодержащих речных вод лиманными и потребление нитратов гидробионтами, что способствует уменьшению их концентрации. У дна содержание фитопланктона меньше [22], концентрация нитратов может оставаться довольно высокой из-за их пониженного потребления. Кроме того, по данным работ [76, 83], в придонном слое дополнительным источником нитратов является их поступление из донных отложений. В результате, концентрация азота по вертикали становится более однородной, в связи с чем уменьшения содержания нитратов с глубиной, как утверждается в [67], может не наблюдаться (рис. 8.10).

В наиболее загрязнённой северной части Бугского лимана концентрация нитратов в поверхностном слое больше, чем у дна (табл. 8.2, рис. 8.10), что, возможно, связано с их дополнительным поступлением (кроме стока рек) из местных источников, замедленным вертикальным и горизонтальным обменом вод.

Формирующее воздействие динамических факторов на пространственное распределение соединений азота по сравнению с обобщённой схемой (рис. 8.10) усложняется при развитии сгонно-нагонных явлений, вызывающих перестройку течений, при штормах и значительных сбросах из каскада водохранилищ. По данным работ [22, 67, 83, 84, 114] распределение концентрации азота в акватории изменяется по сезонам и внутри суток (из-за нагрева, охлаждения, изменения концентрации растворенного кислорода, биотической составляющей экосистемы устья, динамики вод и др.).

Существенная роль адвекции азота с речной водой в распределении нитратов подтверждается не только уменьшением его концентрации вдоль оси лимана по направлению от НГД к морю, но и наличием тесной (характеризующейся коэффициентом корреляции, равным 0,86) связи между средней годовой концентрацией нитратов в восточном районе Днепровского лимана и соответствующей кон-

центрацией в рукавах и на устьевом участке р. Днепр. По крайней мере, влияние речного выноса ГЭБЦ может распространяться в пределах зоны распреснения (разд. 5.4).

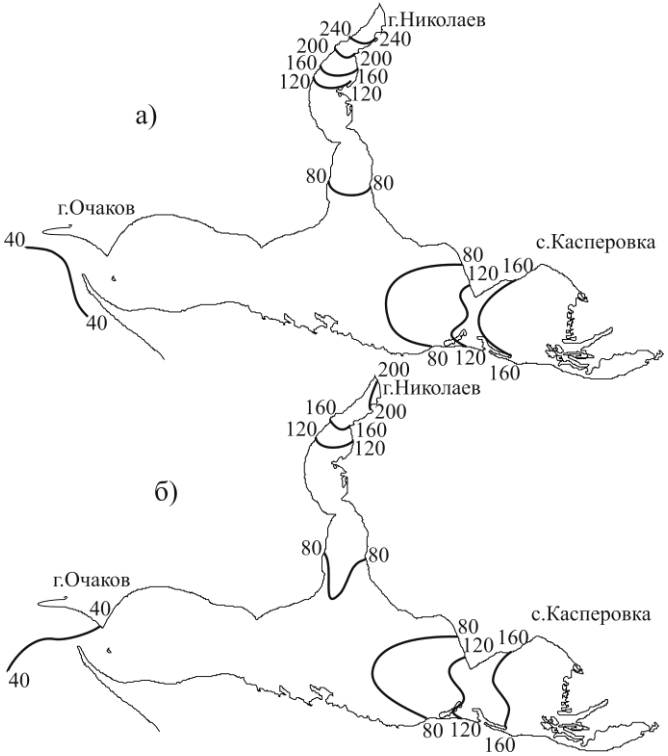


Рис. 8.10. Среднее многолетнее распределение концентрации нитратов (мкг*N*/л) в поверхностном (а) и придонном (б) слоях Днепровско-Бугского лимана

Зависимостей между средним годовым расходом или солёностью воды и концентрацией нитратов в лимане не получено.

В период подготовки водохранилищ на реках к приёму половодья в устье сбрасывается обогащённая за зиму азотом (особенно нитратами и азотом общим) вода и количество нитратов на устьевом взморье увеличивается, максимум их содержания в лимане отмечается в феврале – марте (рис. 8.11). Увеличению концентрации азота

на ст. 18 зимой и ранней весной способствует приток воды рек Юж. Буг и Ингул в период частых зимних паводков (гл. 2, 6), когда концентрация нитритов в воде этих рек достигает 200, нитратов 4000, аммонийного азота 1000 мкг*N*/л [10].

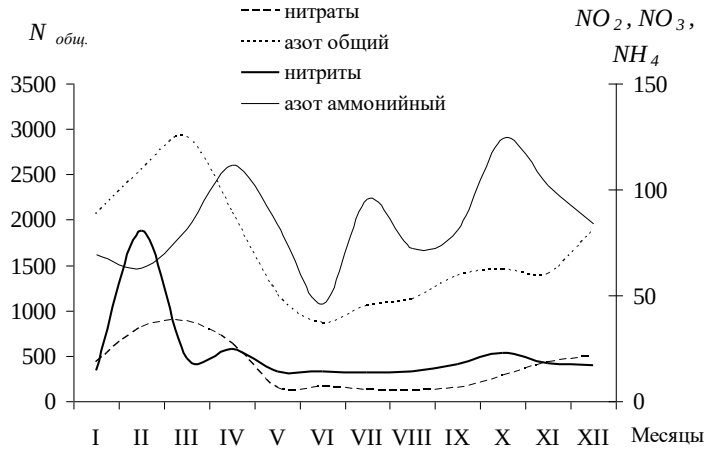


Рис. 8.11. Внутригодовая изменчивость концентрации соединений азота (мкг*N*/л) на станции 18 в поверхностном слое воды северной части Бугского лимана

В это же время обычно фиксируют максимальные концентрации соединений азота в Каховском и других водохранилищах днепровского каскада [11], где они накапливаются за счёт разложения органических веществ. Талые воды, поступая весной (в апреле – мае) в водохранилища и лиман, разбавляют обогащённые азотом водные массы водоёмов, чем способствуют уменьшению концентрации его соединений.

В период летне-осенней межени и в устьеобразующих реках, и в лимане концентрация азота значительно уменьшается из-за его потребления гидробионтами, только к концу вегетационного периода она несколько увеличивается. Особенно возрастает концентрация аммонийного азота, являющегося первичным продуктом минерализации азотсодержащих органических веществ (рис. 8.11). Кроме минерализации органических веществ, увеличению концентрации азо-

та осенью могут способствовать дожди, т.к. кроме прихода ГЭБЦ с осадками, происходит смыв с территорий большого количества веществ. Например, из ливневой канализации г.Николаева в Бугский лиман поступает в год нитратов в 5,6 раз больше, чем из централизованной канализации «Николаевгорводоканала» [23], что составляет около 0,5 % выноса р. Юж. Буг (разд. 8.4). В значительных количествах поступает со сточными водами азот аммонийный: сброс с очистных сооружений г. Николаева (в районе с. Галициново) составляет 448 т/год, с дождевыми водами из ливневой канализации города поступает в Бугский лиман 88 т/год [23], что в сумме равно 12,5 % от годового выноса р. Юж. Буг (разд. 8.4).

Совместный анализ средних месячных значений концентрации нитратов на ст. 18 и соответствующих им расходов воды рек Днепр и Юж. Буг показал, что связи между этими величинами (рис. 8.12) противоположны зависимостям концентрации фосфатов от стока рек (рис. 8.8).

Из рис. 8.12 видно, что на ст. 18 (в северной части Бугского лимана) концентрация нитратов постепенно возрастает с сентября по март, когда расходы воды рек Юж. Буг и Ингул максимальные (разд. 2.1) и выносят большое количество соединений азота. Уменьшение концентрации в мае – июне обусловлено сбросами из Днепровских водохранилищ, вода которых в это время содержит меньше соединений азота, чем в холодный период года.

Идентичная (рис. 8.11, 8.12) сезонная динамика содержания азота отмечается во всех районах Днепровско-Бугского лимана, как в поверхностном, так и в придонном слоях, исключая некоторые местные особенности, принципиально не противоречащие приводимым обобщениям.

Безусловно, выяснить все особенности поведения азота, как и других ГЭБЦ, в водной среде морского устья рек Днепр и Юж. Буг пока невозможно из-за недостаточной изученности изменчивости различных групп гидробионтов (пресноводных, лиманных и морских), в разной степени биогенофильных. Поэтому для более обоснованных выводов о динамике ГЭБЦ, кроме рассмотренного выше механизма воздействия абиотических факторов на содержание соединений азота в водной среде, необходимо учитывать в комплексе не менее существенные – биотические. Пресные воды рек являются

средой обитания пресноводных гидробионтов, устьевое взморье – солоноватоводных. Разная чувствительность организмов к изменению солёности воды, pH, ионного состава и температуры при смешении речных и морских вод, может приводить к их гибели [119]. Увеличение речного стока способствует распреснению устьевого взморья и гибели солоноватоводных гидробионтов, в результате чего происходит преобразование органических веществ, их аммонификация и концентрация азота увеличивается.

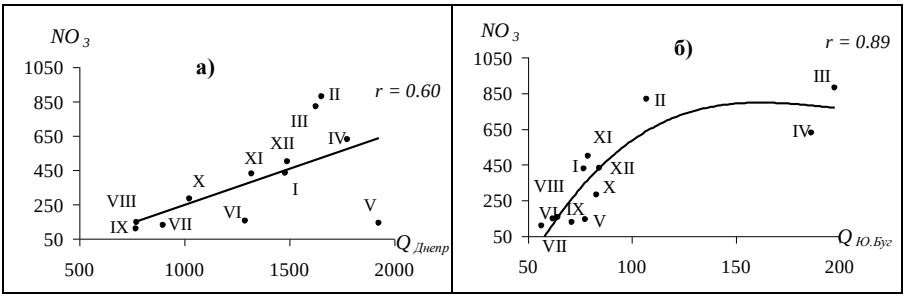


Рис. 8.12. Изменения средних месячных значений концентрации нитратов (NO_3, мкгN/л) на ст. 18 и расхода воды рек Днепр (а) и Юж. Буг (б)

Гистограммы распределения концентрации нитратов (по данным конкретных наблюдений) в поверхностном слое различных районов Днепровско-Бугского лимана показаны на рис. 8.13. Они наглядно характеризуют, какие концентрации наиболее вероятны в различных районах устьевого взморья. Крайне асимметричные гистограммы, со смещением центра распределения в сторону минимальных значений свидетельствуют о том, что большинство проб на анализ отбирались в одинаковых условиях, очевидно, в вегетационный период, когда содержание нитратов повсеместно минимальное (с мая по октябрь), в связи с их активным потреблением фитопланктоном и денитрофицирующими бактериями.

Однако, распределение концентрации нитратов, полученное за весь годовой цикл (с января по декабрь) на ст. 18, аналогично приведенному на рис. 8.13 и полученному за тёплый период года. Поэтому можно предположить, что гистограммы распределения, полученные за тёплый период года, являются характерными для всего годового периода.

Крайняя асимметрия распределения концентрации нитратов, очевидно, обусловлена воздействием одного доминирующего фактора. Идентичность гистограмм распределения рассматриваемого элемента в районе г. Нов. Каховка и на станциях в Днепровско-Бугском лимане свидетельствует в пользу гипотезы о роли сбросов из водохранилищ. Однако не исключена и аналогия процессов обмена азота в водохранилищах и лимане, что также может быть причиной этой идентичности.

Как и другие ГЭБЦ максимальные концентрации нитратов фиксируют в районе г. Николаева, абсолютный максимум достигал 2900 мкг*N*/л (15.02.1988 г.) и был в 3 раза меньше ПДК. Из минеральных форм азота нитраты наиболее интенсивно потребляются фитопланктоном, очевидно, ещё в водохранилищах, поэтому в низовья рек поступают воды, практически незагрязнённые нитратами. Только изредка они наблюдаются в больших количествах, поэтому гистограммы распределения нитратов практически для всего морского устья одинаковые, в отличие от концентрации фосфатов (рис. 8.9, 8.13). Различия могут быть связаны с неодинаковой растворимостью, миграционной способностью, потреблением микроорганизмами соединений фосфора и азота, а также другими особенностями химико-биологических процессов на устьевом взморье.

Анализ тенденций за период с 1976 г. по 2009 г. показал, что в восточном и центральном районах Днепровского лимана, в районах влияния стока р. Днепр, значимых изменений средней годовой концентрации соединений азота нет. Увеличение содержания нитритов в воде (0,15 мкг*N*/л в год) отмечается в районе Кинбурнского пролива (ст. 11). В северной части Бугского лимана, в районе г.Николаева, увеличивается концентрация общего азота (ст.18, 8,1 мкг*N*/л в год) и нитратов (ст. 18а, 4,8 мкг*N*/л в год), существенно уменьшается концентрация аммонийного азота (ст. 18 – ст. 18а, 4,5 – 10,5 мкг*N*/л в год) и нитритов (ст. 18а, 0,61 мкг*N*/л в год). Уменьшение во времени концентрации последних двух соединений в акватории Бугского лимана, возможно, связано с реконструкцией головных насосных станций и модернизацией очистных сооружений «Николаевгорводоканала», являющегося одним из основных источников этих ГЭБЦ

[23]. Однако имеющиеся пропуски в наблюдениях снижают качество оценок тенденций. Например, на ст. 4 (в районе с. Касперовка) значимых тенденций концентрации аммонийного азота до 1996 г. и в период с 1996 г. по 2009 г. не обнаружено. Но, средняя по глубине концентрация NH_4 за 1986 – 1995 гг. (130 мкг*N*/л) в три раза выше, чем за период 1996 – 2009 гг. (45 мкг*N*/л). Резкие изменения этого ингредиента отмечаются и на других станциях (обычно в районах городов Херсон, Очаков и Николаев).

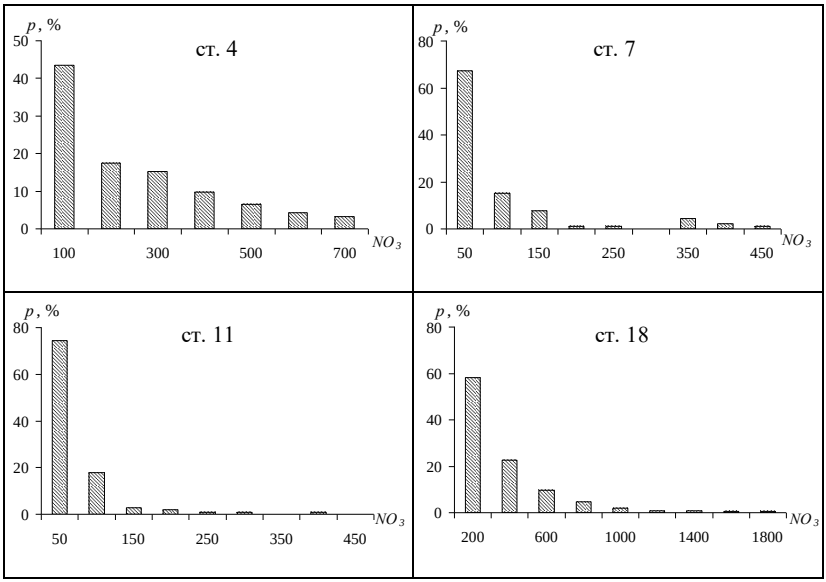


Рис. 8.13. Гистограммы распределения концентрации нитратов (NO_3, мкг*N*/л) в различных районах устьевого взморья

Общий азот обнаруживается во всех районах морского устья и во всех отобранных пробах. Повторяемость обнаружения нитратов в среднем составляет 95 – 99 %, наименьшая, 91 %, отмечается в центральной части Днепровского лимана. Значительно реже фиксируют содержание в воде азота аммонийного: чаще всего, в 75 % проб, он присутствует в воде северной части Бугского лимана, на границах Днепровского лимана частота его обнаружения составляет 51 – 56 %, и только в 39 % случаев аммонийный азот появляется в его цен-

тральном районе. По содержанию азота, согласно [114], лиман относится к мезотрофным и эвтрофным водоёмам. Трофность лимана по биомассе фитопланктона зависит от сезона [25].

Кремний. Концентрация кремния (метакремниевой кислоты) в восточном районе Днепровского лимана связана с концентрацией этого элемента в воде устьевого участка и устьевых рукавов р. Днепр, т.к. основным источником растворённого кремния в морском устье является речной сток. Поэтому из рис. 8.14 видно, как закономерно уменьшается концентрация этого элемента вдоль осей Днепровско-Бугского лимана по направлению к морю. Наибольшая концентрация кремния всегда наблюдалась в вершинах морского устья рек (табл. 8.2), абсолютный максимум отмечался в рук. Рвач 28.09.1995 г. и составил 8570 мкг/л.

В среднем горизонтальный градиент изменения содержания кремния составляет для Днепровского и Бугского лиманов 15 – 20 мкг/км.

Очевидно, этот элемент в меньшей степени потребляется гидробионтами, чем минеральный фосфор и азот. Как видно из рис. 8.14, концентрация кремния является хорошим индикатором процессов смешения на устьевом взморье: в поверхностном слое распространяются более пресные воды с высоким содержанием кремния, в придонном слое из открытой части устьевого взморья поступают солёные воды, обеднённые кремнием. Представленное распределение концентрации кремния (рис. 8.14) существенно отличается от сведений, приведенных в работе [22], полученных при обобщении материалов наблюдений за 1968 – 1985 гг.

Зависимостей средней годовой концентрации кремния от стока р. Днепр или солёности воды не получено.

Внутригодовые изменения концентрации кремния в воде морского устья показаны на примере ст. 18 в северной части Бугского лимана (рис. 8.7), они аналогичны сезонному ходу концентрации фосфора. В период половодья (в среднем в апреле – мае) концентрация кремния уменьшается из-за разбавления речных вод талыми, имеющими значительно меньшую концентрацию этого элемента. В межень, когда в реках преобладает подземное питание, концентрация кремния в воде увеличивается до максимальных величин (в ав-

густе – сентябре), так как в подземных водах его концентрация на несколько порядков больше, чем в поверхностных водах [114].

Совместный анализ средней месячной концентрации кремния и соответствующего стока рек Днепр и Юж. Буг (рис. 8.15) подтверждает вышесказанное: в межень вода лимана обогащается метакремниевой кислотой, в половодье – концентрация кремния уменьшается. Причём, роль стока р. Днепр – превалирующая.

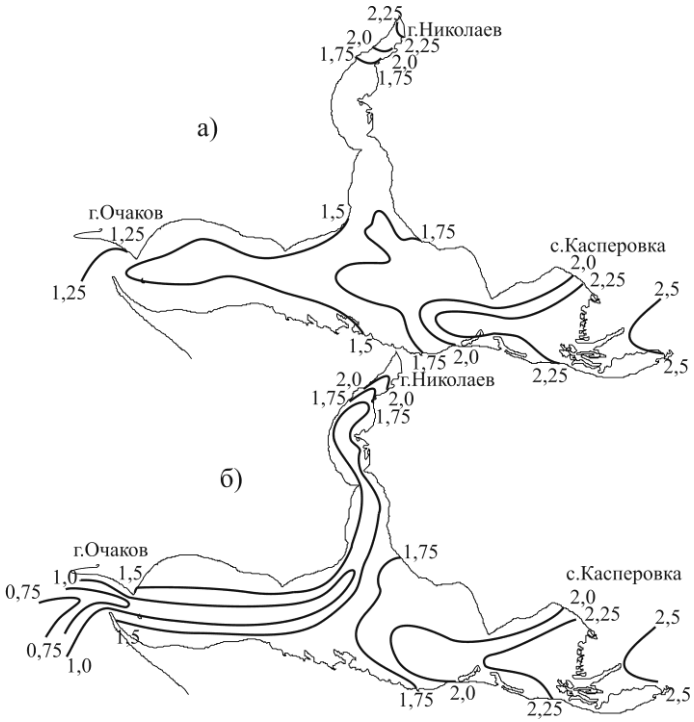


Рис. 8.14. Распределение кремния (мг/л) в поверхностном (а) и придонном (б) слоях Днепровско-Бугского лимана

Отсутствие кремния в воде морского устья крайне редкое явление, наблюдавшееся в Бугском лимане менее чем в 1 % случаев, в восточном районе Днепровского лимана – в 1 % случаев, в западном – около 4 % случаев. В поверхностном слое воды уменьшение концентрации кремния до нуля чаще всего бывает ранней весной, в

придонном слое – летом и осенью. Очевидно, отсутствие кремния в поверхностном слое вызвано весенним разбавлением талыми водами или осадками, в придонном слое – поступлением солёных вод из прилегающей части моря. По данным работы [22] в отдельных точках лимана отмечались случаи полного потребления кремния фитопланктоном.

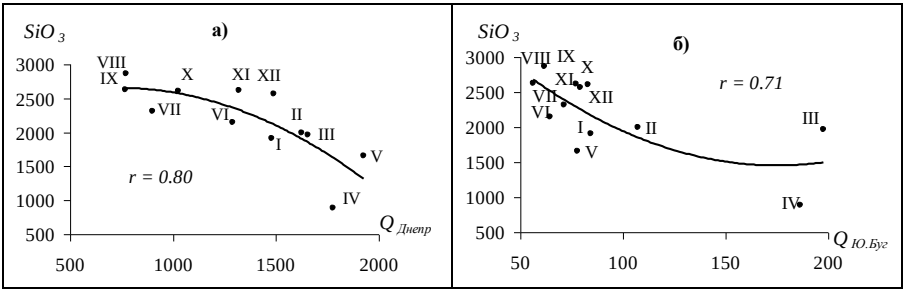


Рис. 8.15. Изменчивость средних месячных значений концентрации кремния (SiO_3, мкг/л) на ст.18 и расхода воды р. Днепр (а) и р. Юж. Буг (б)

Гистограммы распределения кремния на всех станциях устьевого взморья существенно отличаются от гистограмм распределения концентраций фосфора и азота (рис. 8.9, 8.13, 8.16).

В среднем концентрация кремния в различных районах лимана в диапазоне изменчивости от 500 до 4000 мкг/л практически равновероятна (наблюдается с повторяемостью около 10 %). Временная изменчивость концентрации кремния по сравнению с другими ГЭБЦ наименьшая. Её коэффициент вариации C_v составляет 0,5 – 0,6, что в среднем в 2 раза меньше C_v концентрации нитратов.

Многомодальность гистограмм распределения концентрации кремния характерна для большинства станций в Днепровско-Бугском лимане (рис. 8.16).

Средние значения концентрации кремния, приведенные в табл. 8.2), не являются наиболее вероятными (рис. 8.16), а, следовательно, и наиболее представительными параметрами распределения. Наоборот, частоты попадания значений в интервалы, расположенные по обе стороны от средних арифметических значений, больше, за исключением ст.18, находящейся в северной части Бугского лимана, в районе г. Николаева. Здесь наибольшую частоту (18 %) имеет сред-

нее значение аргумента. В зоне непосредственного влияния речного стока (рис. 8.14), в поверхностном слое воды Днепровского лимана, преобладающими являются концентрации, превышающие средние арифметические значения.

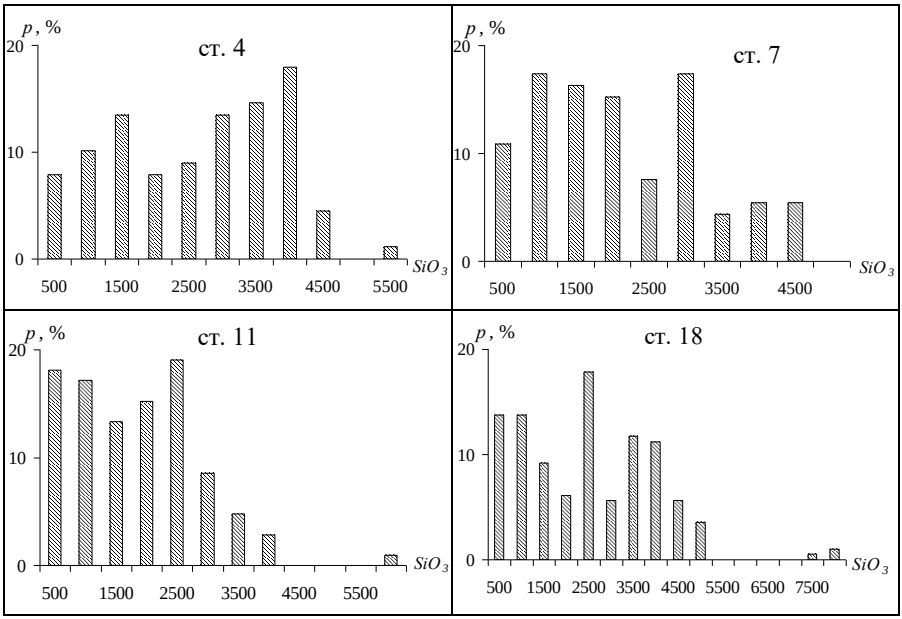


Рис. 8.16. Гистограммы распределения концентрации кремния (SiO_3, мкг/л) в различных районах устьевого взморья

Концентрация кремния в основном (рис. 8.1) за последний тридцатилетний период не имеет значимых тенденций, за исключением района Николаевского морского порта (ст. 18а). Здесь она ежегодно увеличивается в среднем на 27 мкг/л. Следует заметить, что именно в районе морского порта г. Николаева (ст. 18а) в основном и наблюдаются разнонаправленные тенденции концентрации рассмотренных ГЭБЦ, что обусловлено хозяйственной деятельностью.

Статистические характеристики изменчивости ГЭБЦ, рассчитанные в соответствии с [117], иллюстрируют особенности ре- жима биогенных веществ в различных районах устьевого взморья и представлены в табл. 8.3. Очевидно, что чаще всего превышает ПДК кон-

центрация фосфатов, а содержание нитратов и кремния – за весь период ни разу не превышало нормативы.

Таблица 8.3

Статистические характеристики концентрации ГЭБЦ в поверхностном слое воды Днепровско-Бугского лимана, мкг/л

Станция	Характеристика	Фосфаты	Фосфор общий	Азот аммоний.	Азот нитрит.	Азот нитрат.	Азот общий	Кремний
	ПДК	170	–	390	20	9100	–	10000
4	медиана	135	170	12	10	130	840	2650
	мода	160	170	0	5	10	840	3900
	СКО	78	205	123	7	181	555	1250
	C_v	0,6	1,0	2,5	0,7	1,0	0,6	0,5
	C_s	0,8	6,5	5,9	1,5	0,9	1,1	-0,2
частота (%)	обнаружения	96	99	69	97	99	100	98
	превышен. ПДК	28	–	1	9	0	–	0
7	медиана	89	125	0	5	31	800	1730
	мода	180	130	0	5	10	800	2400
	СКО	100	137	124	8	92	519	1167
	C_v	0,9	0,8	2,2	1,0	1,4	0,6	0,6
	C_s	3,3	2,4	2,5	2,4	2,3	1,9	0,4
частота (%)	обнаружения	94	99	39	82	91	100	98
	превышен. ПДК	17	–	4	6	0	–	0
11	медиана	58	106	6	5	28	710	1550
	мода	0	110	0	5	10	480	2250
	СКО	49	96	133	6	57	598	1051
	C_v	0,7	0,8	2,4	0,9	1,3	0,7	0,7
	C_s	0,9	4,6	4,4	2,2	3,6	2,1	0,7
частота (%)	обнаружения	93	98	51	79	95	100	98
	превышен. ПДК	3	–	3	2	0	–	0
18	медиана	190	257	40	15	160	1130	2240
	мода	140	290	0	5	10	1720	2100
	СКО	127	134	149	13	261	802	1509
	C_v	0,6	0,5	1,7	0,8	1,1	0,6	0,7
	C_s	1,0	0,9	4,3	2,6	2,2	1,3	0,6
частота (%)	обнаружения	99	100	75	96	99	100	99
	превышен. ПДК	53	–	3	30	0	–	0

Примечание: частота превышения ПДК в % рассчитана от общего числа проб

Средняя многолетняя самоочищающая способность Днепровско-Бугского лимана (*СС*) по отношению к ГЭБЦ, обусловленная воздей-

ствием различных факторов, как абиотических, так и биотических, может быть приближённо оценена по уравнению [114]

$$CC = \frac{C_{нач.} - C_{кон.}}{C_{нач.}} \cdot 100 \ , \qquad (8.1)$$

где $C_{нач.}$ и $C_{кон.}$ – концентрация ингредиента у НГД и в створе Кинбурнского пролива. Расчёты по уравнению (8.1) показали, что наибольшие изменения в лимане происходят с соединениями азота. Например, концентрация нитратов в поверхностном слое воды от вершины Днепровского лимана до его устья уменьшается на 76 %, а соединений фосфора уменьшается в среднем на 52 %. Менее всего изменений претерпевает в лимане кремний, его содержание в Кинбурнском проливе составляет 67 % от концентрации в вершине Днепровского лимана, т.е. он уменьшается в лимане на 33 %.

Изменение концентрации ГЭБЦ под действием факторов самоочищения (разбавление, седиментация, сорбция, преобразование, потребление и пр.) в Бугском лимане в среднем меньше на 4 – 12 %, чем в Днепровском, концентрация ГЭБЦ от его вершины (исключая районы сбросов сточных вод г. Николаева) к Сакенскому проливу (рис. 1.3) уменьшается следующим образом: нитратов – на 72 %, фосфатов – на 45 % и кремния – на 21 %. Однако, указанное уменьшение в Бугском лимане происходит на длине, в 2 раза меньше протяжённости Днепровского лимана (разд. 1.4), поэтому сравнивать абсолютные величины уменьшения концентрации ГЭБЦ в смежных лиманах не совсем показательно. Удельная, на каждый километр поверхностного слоя воды Днепровского и Бугского лиманов, самоочищающая способность от различных ГЭБЦ представлена в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Удельная самоочищающая способность лиманов от ГЭБЦ, мкг/л на км

Лиман	Фосфаты	Нитраты	Кремний
Днепровский	0,8	1,2	0,5
Бугский	1,5	2,4	0,7

Таким образом, согласно расчётам, Бугский лиман обладает не меньшим самоочищающим потенциалом (по отношению к ГЭБЦ), чем Днепровский.

8.3. Основные загрязняющие вещества

Загрязняющие вещества (ЗВ) попадают в морское устье рек Днепр и Юж. Буг в результате хозяйственной деятельности в бассейнах устьеобразующих рек или в самом устьевом регионе, а также возникают в водной среде в количествах, превышающих естественные предельные значения.

Главными их источниками являются: речной сток, сточные воды, атмосферные выпадения (пыль, сажа и пр.), грунтовые воды, донные отложениями и водный транспорт (постоянные источники загрязнения); смыв с берегов в период ливней, осадки на водную поверхность, дампинг, аварии, разливы (эпизодические источники загрязнения).

На рис. 8.1 показаны наиболее крупные централизованные сбросы сточных вод в морское устье рек Днепр и Юж. Буг. В настоящее время, несмотря на установленные всем субъектам хозяйствования лимиты на сброс загрязняющих веществ, эти нормы часто не соблюдаются. В основном все жидкие сбросы осуществляются в водные объекты.

Закрытие ряда предприятий промышленности и сельского хозяйства, хотя и способствовало, с одной стороны, очищению природной среды, с другой стороны, старение существующих канализационных систем, бесконтрольное хозяйствование на побережьях и в устье, несанкционированные сбросы, выбросы и свалки, увеличение количества частного автотранспорта негативно сказались на качестве воды этого устья рек. Как и в других водных объектах Украины в последние 20 лет отмечается уменьшение уровня загрязнённости вод отдельными веществами. Однако отсутствие систематических и оптимизированных наблюдений за качеством воды, сокращение комплекса наблюдений является препятствием для достоверной оценки значимости многолетних тенденций концентрации ЗВ.

Речной сток является основным постоянным источником комплекса загрязняющих веществ, их интегратором и транспортёром со всех бассейнов устьеобразующих рек. Содержание ЗВ в низовьях различных рек – одного порядка, долевое соотношение основных загрязняющих веществ в их комплексе – идентично (разд. 8.4). Чем больше река и больше в её бассейне степень хозяйственного освое-

ния (разд. 1.5), тем больше растворённых веществ она выносит (в том числе и с каждого км^2 площади бассейна) в морское устье рек Днепр и Юж. Буг (разд. 8.4).

Загрязняющие вещества из местных источников в основном обнаруживаются только тогда, когда имеют место их сбросы, разливы, аварии, смывы с территорий или они образуются при химических и биохимических процессах внутри водной среды. Транзитом с речным стоком или из атмосферы, при трансграничном воздушном переносе, они поступают из источников, зачастую расположенных на значительных расстояниях от морского устья.

Вклад в загрязнение морского устья рек вносит обмен с атмосферой. Из воздушной среды на поверхность устьевого взморья попадают соединения углерода и азота, сероводорода и хлора, тяжёлые металлы, ХОП, сернистый ангидрид, неорганическая пыль, сажа, сульфат натрия, спирты, радионуклиды и др. опасные загрязняющие вещества. Их источниками являются выбросы котельных, автотранспорта, промышленных предприятий. Загрязняют воздушную среду и воду морского устья не только крупные города (Николаев и Херсон), расположенные непосредственно в устьевом регионе, но и трансграничный перенос воздушных масс, сформированных над территориями с развитой промышленностью. Для различных структурных компонентов устья эта составляющая баланса загрязняющих веществ имеет разные масштабы. Так, если для устьевого взморья площадь контакта с атмосферой значительная и на поверхность воды ЗВ поступают непосредственно из атмосферы, то для устьевых участков и водотоков (у которых площадь контакта с атмосферой небольшая) основным источником поступления ЗВ является смыв с поверхности почвы в бассейнах рек в период стокообразующих дождей. В этом случае вклад атмосферных выпадений ЗВ может быть меньше роли склонового стока.

Таким образом, в речные системы ЗВ из атмосферных выпадений поступают вместе с веществами, загрязняющими почвы бассейна реки из неатмосферных источников. Последняя составляющая в балансе ЗВ морского устья обычно превышает поступление ингредиентов на поверхность воды с атмосферными выпадениями, так как площадь бассейна (площадь смыва) во много раз больше площади поверхности устьевого взморья, контактирующей с атмосферой.

Источниками ЗВ являются многочисленные свалки, расположенные в прибрежной полосе, количество которых увеличивается с каждым годом. В период выпадения осадков происходит смыв ЗВ с их территории, в результате чего в водные объекты попадают тяжёлые металлы, нефтепродукты, высокотоксичные и опасные загрязняющие вещества.

Сбросы с сельскохозяйственных угодий способствуют поступлению в воду морского устья ядохимикатов, концентрация которых иногда превышает ПДК в сотни раз, хотя они и не всегда обнаруживаются в пробах воды.

Большинство исследователей отмечают существенную роль процессов сорбции на взвеси, накопления гидробионтами и седиментации в перераспределении концентрации отдельных ЗВ между водной средой и донными отложениями в морском устье рек. При накоплении ЗВ в донных отложениях различных водных объектов возникает угроза вторичного загрязнения (поступления ЗВ из донных отложений в воду), которое имеет значительную величину при размыве, ветровом воздействии, дноуглубительных работах. Ежегодные дноуглубительные работы в канале с последующим дампингом грунта в лимане вносят существенный вклад в его загрязнение.

Загрязнению водной среды морского устья рек Днепр и Юж. Буг способствуют и специфические климатические условия (разд. 1.7): туманы, бризы, ливневые осадки, особенности местной атмосферной циркуляции, низкий меженный сток, преобладание северного и северо-восточного переноса воздушных масс, т.е. с континента, где имеются источники загрязнения воздушной среды.

Основными определяемыми загрязняющими веществами, сбрасываемыми в воду морского устья рек и реки, его образующие, являются: нефтяные углеводороды (НУ), сумма фенолов, анионные синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), хлорированные углеводороды группы ДДТ, ГХЦГ (ХОП) и др.

В рассматриваемом морском устье особенности загрязнения водной среды зависят от многих факторов: степени хозяйственной освоенности бассейнов рек и самих устьев, структуры хозяйствования, эффективности природоохранных мероприятий и др. Кроме того, достоверность оценки качества воды и выноса ЗВ с речным стоком зависит от системы наблюдений – места расположения створа,

где осуществляется отбор проб воды на загрязнённость, количества точек отбора в сечении потока, частоты наблюдений.

Расположение пунктов отбора проб вблизи крупных портов (г. Николаев, г. Херсон и г. Очаков) позволяет оценить интегральное качество воды, обусловленное как местными источниками загрязнения, так и транзитом ЗВ с реками. Например, в устье р. Ингул отмечалась наибольшая средняя концентрация НУ, СПАВ и ХОП. Однако достоверно определить, поступают эти загрязняющие вещества со стоком рек Ингул, Юж. Буг, из северной части Бугского лимана или со сточными водами г. Николаева, затруднительно, так как в этом районе происходит смешение речных, лиманных и сточных вод (рис. 8.1, ст. 18б).

Так как наблюдения за НУ, фенолами, СПАВ и ХОП наиболее длительные и полные (но, разной продолжительности), а другие вещества в последнее время определяются эпизодически или вообще не определяются, обобщались только данные по указанным ингредиентам за период с 1976 г. по 2009 г., для чего использовались, в основном, материалы наблюдений НЦГМ, Ках. ГМО, СО ГОИН (МО УкрНИГМИ), а также других организаций и ведомств.

Результаты обобщения этих материалов приведены в табл. 8.5, 8.6, дающих представление о средних, экстремальных значениях ингредиентов и других их статистических характеристиках в различных районах устьевого взморья. Анализ изменчивости концентрации в водотоках морского устья сделан в разд. 8.4.

Механизм поступления загрязняющих веществ в морское устье рек Днепр и Юж. Буг – общий. К относительно стабильному поступлению ЗВ со стоком рек и сточными водами населённых пунктов и сезонным сбросам сточных вод с сельхозугодий, в период дождей добавляется поступление ЗВ при их смыве с территории водосборов устьеобразующих рек и местного водосбора морского устья. Кроме того, приход ЗВ из атмосферы (выпадения) и из донных отложений также довольно стабильная составляющая баланса ЗВ. На этом фоне аварии, утечки, залповые сбросы и катастрофы иногда значительно увеличивает концентрацию токсичных веществ в воде.

Изменение концентрации ЗВ в воде устьевых водотоков зависит от комплекса гидрометеорологических факторов. При одном и том же объёме антропогенных поступлений ЗВ в речную воду (сбросов

Таблица 8.5

Характерная концентрация загрязняющих веществ в поверхностном (числитель) и придонном (знаменатель) слоях лимана

Станция	Характеристика	Нефтепродукты, мг/л	Фенолы, мкг/л	СПАВ*, мкг/л	Х О П, нг/л				
					ДДТ	ДДЭ	ДДД	α -ГХЦГ	γ -ГХЦГ
	ПДК	0,05	1,0	100	отсутствие				
4	сред.	0,30 0,29	2,6 2,4	79 82	6 1	3 1	1 0	1 0	7 3
	макс.	3,90 1,48	13,2 19,3	770 980	82 13	54 24	13 6	3 3	80 45
	мин.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
7	сред.	0,35 0,32	2,0 1,8	51 70	4 6	0 0	1 0	0 0	4 5
	макс.	8,60 9,85	21,0 17,3	360 960	400 80	4 4	94 3	1 1	61 77
	мин.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
11	сред.	0,35 0,33	1,6 1,2	48 38	1 2	1 2	0 0	0 0	3 3
	макс.	3,20 5,10	21,0 18,9	540 540	24 29	29 84	3 2	2 3	50 60
	мин.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
15	сред.	0,34 0,29	1,9 1,6	61 56	3 2	3 4	3 2	0 0	7 2
	макс.	2,18 1,91	12,0 17,0	780 470	575 52	38 95	70 41	1 2	105 31
	мин.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
18	сред.	0,32 0,34	2,0 2,0	37 34	1 1	1 0	0 0	0 0	1 9
	макс.	3,80 4,80	25,0 27,0	1000 420	13 15	24 9	8 15	1 3	24 120
	мин.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.

*Примечание: н.о. – ингредиент не обнаружен, т.к. его концентрация была ниже порога чувствительности метода; * – обобщение за 1976 – 2009 гг.; концентрация НУ определялась ИКС–методом, обобщение сделано за 1983 – 2009 гг.*

сточных вод), чем больше водоносность реки, тем больше степень разбавления количества ЗВ и меньше их концентрация в речной воде, а при малом водном стоке, то же количество поступающих ЗВ обусловливает бóльшую концентрацию исследуемых ингредиентов в воде, а, следовательно, и на устьевом взморье. Соответственно, чем выше уровень воды на устьевом взморье, тем больше разбавление поступающих в него ЗВ и меньше их концентрация. Обычно зимой, когда преобладает грунтовое питание, снежно-ледяной покров препятствует обмену загрязняющими веществами с атмосферой, концентрация ЗВ в воде морских устьев устанавливается на некотором стабильном уровне (при отсутствии аварийных сбросов).

При снего- и ледотаянии происходит разбавление воды рек более чистой талой водой (особенно, если почва ещё не оттаяла и на ней ледяная корка), поэтому с увеличением расхода воды в феврале – марте концентрация веществ может уменьшаться. Лёд и снег тоже накапливают ЗВ, но, как в более «короткоживущей» субстанции (по сравнению с почвой и водой), количество ЗВ во льду и в снеге, очевидно, меньше, чем в почвах, накопление ЗВ в которых происходит бóльшую часть года. Поступление ЗВ весной осуществляется и с атмосферными осадками, при этом они могут быть загрязнены, а могут быть относительно чистыми, например, в зависимости от содержания в них твёрдой фракции атмосферного переноса.

После исчезновения льда и снега основными источниками поступления ЗВ становятся смыв во время дождей с почвы и выпадение из атмосферы, а также приток с подземными водами. При смыве с территории бассейна преимущественно происходит увеличение ЗВ в воде рек, при атмосферных выпадениях – в воде устьевого взморья и других водоёмов.

В летне-осеннюю межень в большинстве случаев отмечается увеличение концентрации ЗВ с увеличением расхода воды, так как увеличение расхода обусловлено выпадением жидких осадков, в результате чего смывается загрязнённый слой почвы, о чём свидетельствует анализ совместного хода суммы осадков, расхода, мутности и концентрации отдельных веществ (например, радионуклидов [116]). Определённую роль в загрязнении устья в этот период играет направление переноса воздушной массы и степень её насыщенности ЗВ, обмен с донными отложениями.

Таблица 8.6

Статистические характеристики концентрации ЗВ в поверхностном слое воды Днепровско-Бугского лимана

Станция	Характеристика	НУ, мг/л	Фенолы, мкг/л	СПАВ, мкг/л	γ-ГХЦГ, нг/л
	ПДК	0,05	1,0	100	0
4	медиана	0,24	2,0	25	0
	мода	0	0	0	0
	СКО	0,28	3,2	148	3
	C_v	0,9	1,2	1,9	2,4
	C_s	2,3	1,4	3,2	3,3
частота, (%):	обнаружения	89	58	71	38
	превышения ПДК	87	58	18	38
7	медиана	0,24	0,6	25	0
	мода	0,18	0	0	0
	СКО	0,33	3,5	78	4
	C_v	0,9	1,7	1,5	2,0
	C_s	2,1	3,2	2,2	4,3
частота, (%):	обнаружения	95	51	66	46
	превышения ПДК	92	48	16	46
11	медиана	0,22	0	25	0
	мода	0	0	0	0
	СКО	0,42	3,3	90	4
	C_v	1,2	2,1	1,9	2,4
	C_s	3,3	3,7	3,3	4,7
частота, (%):	обнаружения	87	39	64	43
	превышения ПДК	83	36	13	43
18	медиана	0,23	0	25	0
	мода	0	0	0	0
	СКО	0,35	3,3	75	1
	C_v	1,1	1,6	2,2	3,6
	C_s	3,3	2,9	6,0	6,7
частота, (%):	обнаружения	89	51	59	31
	превышения ПДК	83	43	6	31

Примечание: частота превышения ПДК в % рассчитана от общего числа проб

Осенью и в начале зимы растёт сумма осадков (отмечается второй годовой максимум осадков), увеличивается смыв и поступление

ЗВ в воду рек. Поэтому зимой концентрация отдельных ЗВ в среднем может быть больше, чем летом.

Многофакторность, обусловливающая загрязнённость водной среды морского устья рек Днепр и Юж. Буг, способствует крайней неоднородности, «пятнистости» в распределении ЗВ в пространстве и эпизодичности их обнаружения во времени.

Общим для всех районов морского устья является существенная изменчивость всех рассматриваемых ЗВ (табл. 8.6), независимость средних годовых и средних месячных значений концентраций от водного стока, солёности и температуры.

Чаще всего в отобранных пробах воды обнаруживают НУ, в 2 – 3 раза реже – ХОП. Соответственно и C_v этих элементов отличается во столько же раз.

Из-за указанной многофакторности, в отличие от содержания ГЭБЦ (разд. 8.2), для концентрации ЗВ не характерен выраженный сезонный ход ингредиентов (рис. 8.17), вопреки мнению некоторых

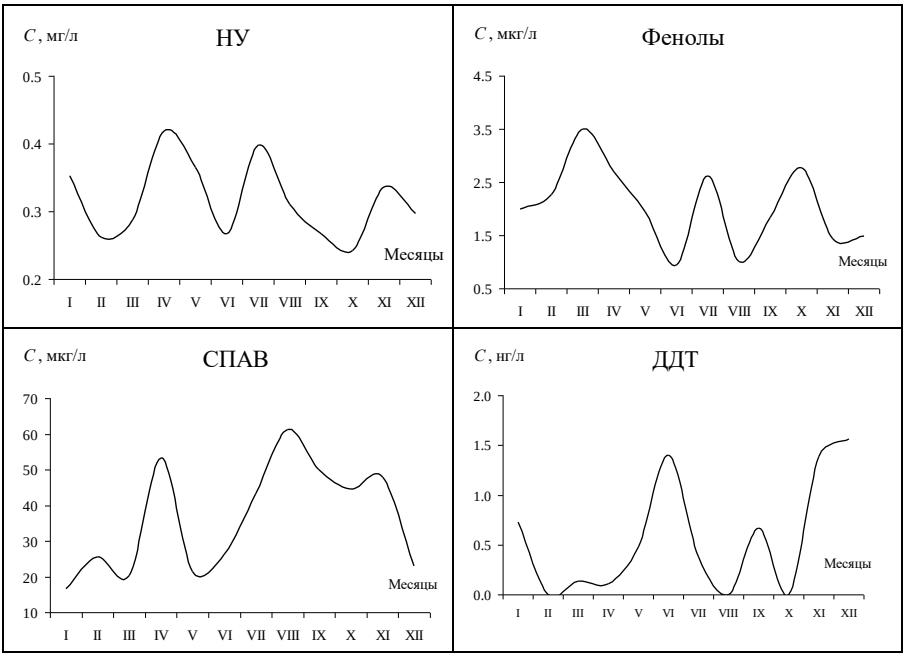


Рис. 8.17. Средняя месячная концентрация ЗВ в поверхностном слое ст. 18

авторов. Об этом свидетельствуют средние месячные величины содержания различных ЗВ, например, на ст. 18 (рис. 8.1), в северной части Бугского лимана (рис. 8.17), где ряды наблюдений за каждым элементом наиболее эквидистантные и продолжительные (по 500 – 1400 определений).

При анализе внутригодовых изменений ЗВ (для различных климатических периодов и за весь период наблюдений) установлено, что в любой месяц года может наблюдаться как максимальное, так и минимальное значение концентрации, что свидетельствует о случайности обнаружения различных ЗВ.

Общим для всех рассматриваемых ингредиентов также является крайняя асимметричность рядов распределения. Многолетние тенденции, если и отмечаются, то в основном носят локальный характер (исключая СПАВ).

В то же время, загрязняющие вещества, поступающие на устьевое взморье, по-разному распределяются в его акватории, приурочены к разным районам устья, имеют специфические особенности изменчивости, рассмотренные далее.

Нефтяные углеводороды. Эти распространённые опасные загрязняющие вещества попадают в морское устье со стоком рек и сточными водами городов, при осуществлении судоходства, в том числе и малотоннажного флота, реконструкции судоходного канала и складировании изъятого грунта в лимане. При этом дноуглубительные работы в лимане осуществляются около 180 лет, и насыщенные нефтепродуктами илистые донные отложения, безусловно, являются источником загрязнения воды нефтяными углеводородами. Нефтеперерабатывающие предприятия также являются источниками НУ, например, Херсонский НПЗ. Определённая часть НУ может поступать в воду взморья с пресноводным фитопланктоном, накопившим это ЗВ в реках и водохранилищах, который, попадая в солёную воду, отмирает и обогащает воду лимана НУ.

Результаты обобщения концентрации этого вида загрязняющих веществ за однородный период наблюдений (с 1983 г. по 2009 гг., когда сетевые подразделения Гидрометеослужбы Украины перешли на ИКС-метод для определения нефтепродуктов в воде) представлены в табл. 8.5.

Вода морского устья повсеместно загрязнена НУ, их средняя многолетняя концентрация во всех его районах превышает ПДК и изменяется в пределах 0,25 – 0,36 мг/л.

В разливах и пятнах концентрация НУ увеличивается на порядок и более, максимальные величины достигали 8 – 10 мг/л. Средняя плёночная загрязнённость поверхностного слоя воды – около 35 – 40 мг/м^2, площадь пятен, интенсивностью 250 – 1250 мг/м^2, в среднем составляла 2 – 3 % от площади обзора. Повторяемость обнаружения нефтяных пятен интенсивностью более 250 мг/м^2 в Днепровско-Бугском лимане равна 31 % [123].

Так как определения НУ выполнялись только в поверхностном и придонном слоях, достоверно оценить загрязнённость всей водной массы этим веществом затруднительно – у поверхности и у дна концентрация НУ обычно выше, чем в водной толще [114].

Несмотря на снижение уровня хозяйственной деятельности, содержание НУ в воде устья не имеет значимых тенденций, а в донных отложениях, в восточном районе Днепровского лимана, отмечается ежегодное увеличение концентрации НУ в среднем на 0,07 мг/1г с.о.

Пространственное распределение концентрации НУ в акватории закрытой части устьевого взморья и нижнего участка дельты р. Днепр представлено на рис. 8.18.

В воде рек Днепр (ниже Каховской ГЭС) и Юж. Буг (у с. Гурьевка) НУ содержатся в меньших количествах (0,10 – 0,25 мг/л), чем в поверхностном и придонном слоях Днепровско-Бугского лимана (рис. 8.18). Вероятно, в устьевых рукавах р. Днепр нефтяные углеводороды уже фракционированы и довольно однородно распределены в толще воды, в результате хорошего перемешивания, что подтверждают данные наблюдений. В районе г. Херсона содержание НУ несколько увеличивается, но в среднем оно меньше, чем в лимане.

Причин увеличения концентрации НУ в лимане (рис. 8.18) может быть несколько, т.к. зоны наибольшего нефтяного загрязнения приурочены к разным участкам взморья. Во-первых, это портовые акватории и выпуски сточных вод городов Николаев и Очаков, во-вторых, район вдоль судоходного канала. Кроме портовых акваторий высокая концентрация НУ ежегодно фиксируется в центральном районе Днепровского лимана. Вероятно, это связано с особенностями хозяйствования в этой части взморья (разд. 1.5), с нарушением

природоохранного законодательства, выражающимся в сбросе судами балластных и промывочных вод, складировании вдоль судоходного канала изъятого из него грунта, насыщенного нефтяными углеводородами. Активизация любительского рыболовства, браконьерства, рекреационных услуг и пр. могла способствовать увеличению количества малотоннажных транспортных средств, состояние которых не контролируется, хотя они являются дополнительным источником НУ из-за утечек горючих и смазочных средств.

Высокая средняя годовая концентрация НУ (0,30 мг/л) на мелководных станциях центрального района Днепровского лимана по всей глубине (4 – 5 м) свидетельствует о хорошем перемешивании воды на мелководье, которое должно было бы способствовать самоочищению, но этого не происходит, очевидно, из-за вторичного загрязнения от донных отложений и др. причин.

Кроме того, учитывая, что скорость течения в лимане меньше, чем в реках, а в период производства натурных наблюдений (в тёплое время года) преобладает (с повторяемостью 70 – 80 %) штиль и незначительное волнение (гл. 7), концентрация ЗВ (особенно НУ и СПАВ) в поверхностном слое лимана может быть несколько завышена из-за аккумуляции этих ЗВ в поверхностном микрослое воды, пятнах и плёнках. Это может приводить к завышению концентрации НУ у поверхности, а, следовательно, и средней по глубине. В более турбулизированном речном потоке процессы самоочищения протекают активнее, чем в лимане, загрязнённая поверхностная вода перемешивается и разбавляется менее загрязнёнными нижележащими водными массами, поэтому даже при одинаковом уровне загрязнённости речных и морских вод, средняя концентрация НУ в водотоках будет меньше, чем в лимане. Вероятно, это одна из причин, в комплексе с ранее рассмотренными, способствующих тому, что, в отличие от концентрации ГЭБЦ (разд. 8.2), концентрация НУ в лимане больше, чем на устьевых участках рек.

Особенности загрязнения Днепровско-Бугского лимана хорошо иллюстрирует рис. 8.18 в), из которого видно, что депонирование НУ в грунтах происходит вдоль той части судоходного канала, по трассе которого осуществляется наиболее интенсивное судоходство (г. Очаков – г. Николаев), где расположены крупные порты и осуще-

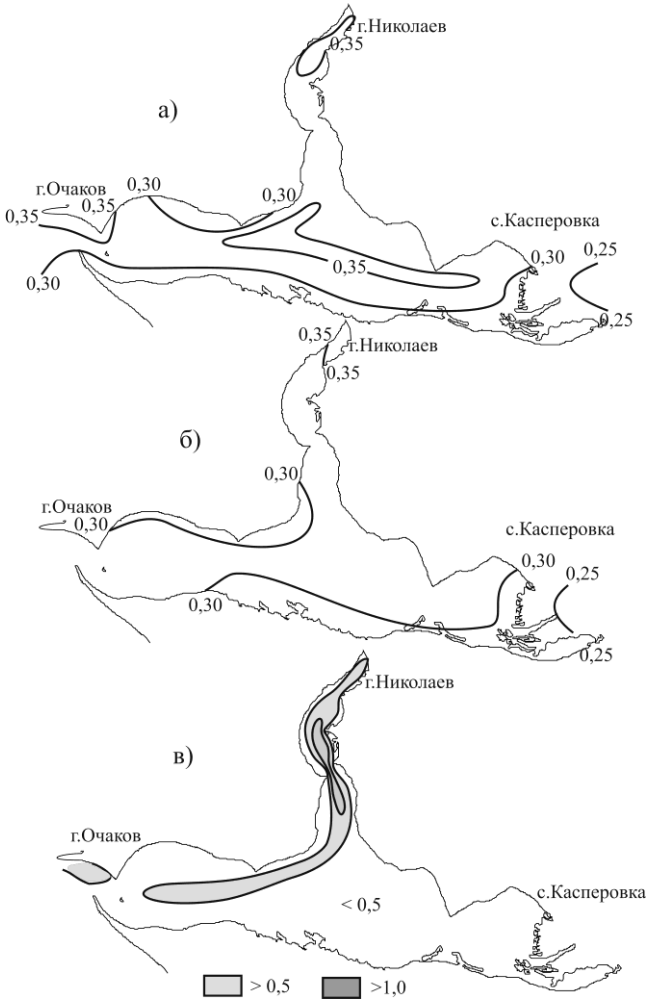


Рис. 8.18. Содержание нефтяных углеводородов (мг/л) в поверхностном (а), придонном (б) слоях морского устья и донных отложениях лимана (мг/г абс. сухого грунта) за период с 1983 г. по 2009 г.

ствляются сбросы сточных вод. Бóльшая скорость течения в восточном районе Днепровского лимана (разд. 2.3) способствует выносу НУ в его центральную и западную части, где скорость уменьшается,

а процессы эмульгирования и сорбции активизируются. Донные отложения в районе глубоководного выпуска сточных вод г. Николаева (с. Галициново) также существенно загрязнены.

Таким образом, если в водной среде, из-за её динамичности, ареалы распределения НУ не всегда выделяются, то донные отложения являются довольно надёжным индикатором нефтяного загрязнения морского устья рек Днепр и Юж. Буг. Фоновое загрязнение НУ донных отложений Днепровско-Бугского лимана, по оценкам Миронова О.Г., в слое от 0 до 40 см не превышает 1 мг/г абс. сухого грунта [8]. По данным Севриковой С.Д. [8] в районах дампинга в северо-восточной части Днепровского лимана среднее содержание нефтяных углеводородов составляло 0,6 – 0,9 мг/г, в его юго-восточной части 0,5 – 0,7 мг/г, а максимальные величины в этих районах Днепровского лимана соответственно достигали 1,9 – 4,4 и 1,3 – 3,2 мг/г абс. сухого грунта. В настоящее время среднее многолетнее содержание НУ в верхнем слое донных отложений в Бугском лимане (рис. 8.18в) превысило 1 мг/г и составляет 1,99 мг/г абс. сухого грунта. Вероятно, это загрязнение обусловлено влиянием на среду заглублённого выпуска сточных вод в районе с.Галициново, активизацией грузоперевозок и других видов хозяйственной деятельности. В районе морского порта г.Николаева в донных осадках концентрация НУ достигала 8,6 мг/г абс. сухого грунта [105]. Поэтому донные осадки в районах дампинга грунта в лимане и портов отнесены к классу грязных и очень грязных [8].

В связи с тем, что вода прилегающей к лиману открытой части устьевого взморья является довольно загрязнённой нефтяными углеводородами (средняя многолетняя концентрация равна 0,24 – 0,38 мг/л), существенного «очищающего» эффекта от её поступления в придонные слои лимана не наблюдается, хотя концентрация нефтяных углеводородов у дна повсеместно меньше, чем в поверхностном слое воды. Однако, в отдельные съёмки такой эффект очевиден. Способствуют уменьшению концентрации НУ и нефтеокисляющие микроорганизмы, которых в воде лимана, по данным Миронова О.Г. [8], содержится 10 – 15 экз./мл, а в донных отложениях – 5 – 10 экз./мл. Преобладающие в наиболее загрязнённых районах илы пелитовые и алеврито-пелитовые (рис. 3.4, гл. 3) могут накапливать НУ, т.к. биохимические процессы в них (по сравнению с песками)

замедлены, донные отложения могут быть источниками вторичного загрязнения воды [118].

Гистограммы распределения концентрации НУ в различных районах устьевого взморья крайне асимметричные, коэффициенты асимметрии положительные и значительные (табл. 8.6), причём, увеличиваются по направлению к открытой части устьевого взморья и к вершине Бугского лимана, т.е. вдоль судоходной трассы г. Очаков – г. Николаев. Положительная асимметрия свидетельствует о преобладании значений концентрации НУ меньше средних значений: действительно, в 62 – 67 % случаев на всех станциях превалируют концентрации, не превышающие средние величины. Эпизодические разливы нефтепродуктов, приводящие к существенным, иногда катастрофическим, но кратковременным максимумам (более 1 мг/л), имеют низкую повторяемость, но могут существенно влиять на статистические характеристики, если их включать в эти оценки. Так как оценки выборочных средних и СКО близки между собой (табл. 8.5, 8.6), можно предполагать, что концентрация НУ является показательно распределённой случайной величиной [117].

В отличие от ГЭБЦ (разд. 8.2) по отношению к НУ лиман не выполняет функцию очищения от этого ЗВ, самоочищающая способность устьевого взморья настолько снижена, что вдоль оси Бугского лимана концентрация НУ в среднем увеличивается на 6 %, а Днепровского – на 17 %. Следовательно, гидрологические и химико-биологические условия рассматриваемого устьевого взморья в настоящее время не способствуют самоочищению от нефтяных углеводородов, а напротив, увеличение их концентрации в лимане является индикатором неблагополучия экосистемы морского устья по этому загрязняющему веществу. Возможно, причиной этого является избыточное загрязнение водной среды и замедленные процессы биохимического распада нефтяных углеводородов.

Фенолы. Фенольные соединения, содержащиеся в воде морского устья рек Днепр и Юж. Буг, включают широкую группу моно- и полифенолов. Их содержание в водной среде обусловлено не только наличием антропогенных источников, но внутриводными биохимическими процессами преобразования различных веществ, например, распадом органических веществ, биодектрукцией нефтяных углеводородов и др. Источником фенолов в морском устье рек являются

промышленные предприятия, например, г. Херсона (нефтеперерабатывающий завод, хлопчато-бумажный комбинат, до начала XXI в. – целлюлозно-бумажный комбинат и др.).

Наблюдения за содержанием фенолов в воде неоднородны: на устьевых участках рек и в рукавах р. Днепр определялись монофенолы (летучие с паром фенолы), на устьевом взморье и в устье рукавов – полифенолы. Наблюдения в рамках ОГСНК велись не одновременно, в основном они систематизировались с 1986 г., поэтому обобщение режима фенолов выполнялось раздельно для устьевых водотоков (разд. 8.4) и водоёмов за период с 1986 г. по 2009 г.

Анализ многолетних натурных наблюдений свидетельствует об отсутствии физико-статистических зависимостей между средней годовой концентрацией фенолов на устьевом взморье и стоком рек, температурой воды, а также другими абиотическими параметрами, включая концентрацию растворённого кислорода, ГЭБЦ, НУ, СПАВ и pH.

В то же время, на ст. 18 (рис. 8.1) сезонная изменчивость концентрации фенолов идентична изменчивости концентрации азота аммонийного (рис. 8.11, 8.17). Отсутствие фенольных соединений в воде р. Юж. Буг в настоящее время (в последний раз фенолы фиксировались в районе с. Гурьевка в 1990 г.) свидетельствует в пользу гипотезы об общем генезисе загрязнения азотом аммонийным и фенолами – это выпуск сточных вод г. Николаева. Увеличению концентрации фенолов в этом районе морского устья может способствовать речной сток, являющийся носителем пресноводных растительных и животных организмов, которые, попадая в осолонённые воды лимана, отмирают, поэтому, из-за распада продуктов жизнедеятельности гидробионтов и трансформации органических веществ, содержание фенольных соединений (как и азотистых) в воде и донных отложениях может увеличиваться [114].

Синхронность сезонной изменчивости концентрации фенолов на ст. 18 и расхода воды рек Юж. Буг и Ингул (рис. 8.19) подтверждает это предположение. Коэффициенты корреляции зависимостей между этими величинами составляют 0,74 (с расходом р. Юж. Буг) и 0,67 (с расходом р. Ингул).

Формирующую роль речного стока в распределении средней многолетней концентрации фенолов в верхнем и придонном слоях устьевого взморья иллюстрирует рис. 8.20.

Аналогично распределению концентрации НУ (рис. 8.18) содержание фенолов в лимане увеличивается. Повышенная концентрация фенолов в прилегающих к устьевым рукавам р. Днепр и устьевым участкам рек Юж. Буг и Ингул районах лимана обусловлена, по-видимому, влиянием речного стока.

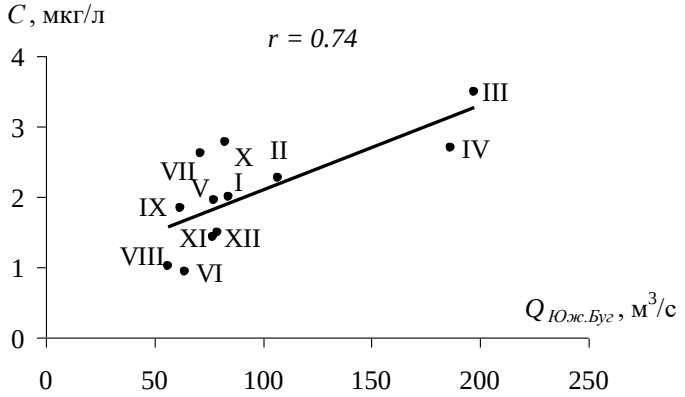


Рис. 8.19. Зависимость средней месячной концентрации фенолов на ст. 18 от среднего месячного расхода воды р. Юж. Буг

С одной стороны, сток выносит в лиман пресноводных гидробионтов и они здесь деградируют, с другой – при увеличении стока рек происходит распреснение прилегающих районов лимана, что приводит к гибели солоноватоводных организмов, распаду органических веществ и их трансформации. Поэтому концентрация фенолов и аммонийного азота в лимане с ростом стока возрастает (рис. 8.19, 8.20, разд. 8.2). Так как изменения солёности воды на устьевом взморье очень динамичны (до 5 ‰/час, разд. 5.3.1) и зависят от стока (разд. 5.4), именно в зоне его наибольшего влияния и наибольшей изменчивости солёности воды (рис. 5.11), в восточном и частично в центральном районах Днепровско-Бугского лимана и происходят наиболее интенсивные биохимические превращения органических веществ в минеральные.

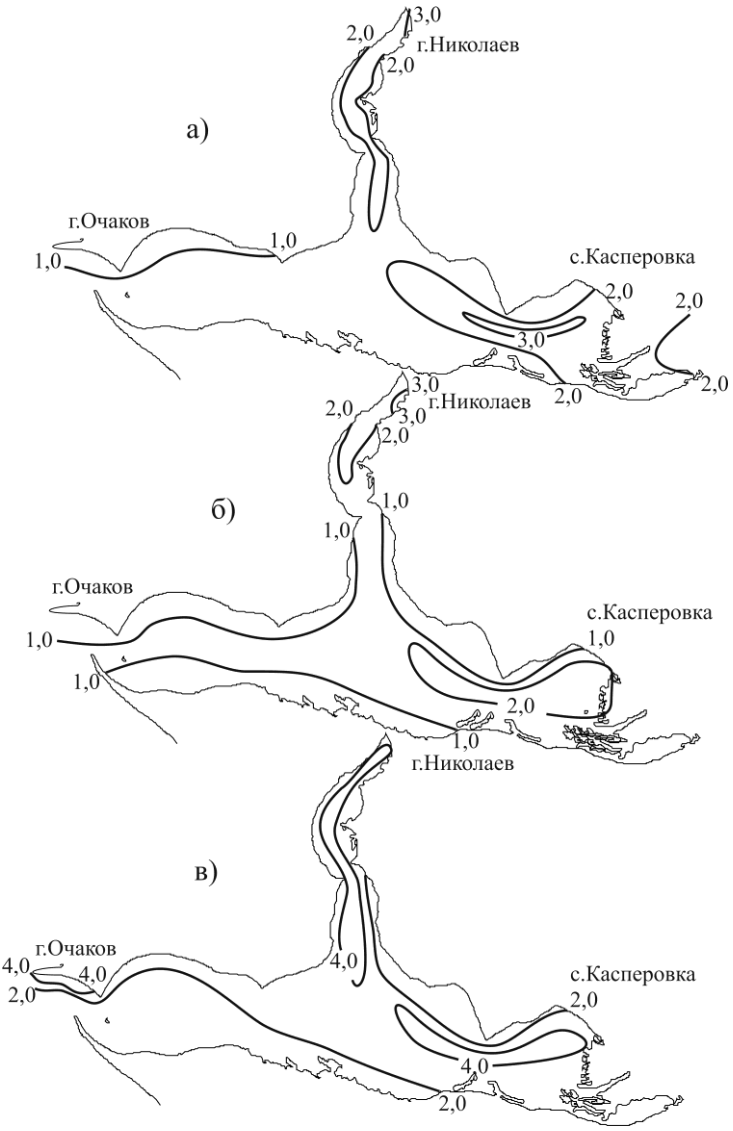


Рис. 8.20. Содержание фенолов (мкг/л) в поверхностном (а), придонном (б) слоях и донных отложениях (мг/г) морского устья рек Днепр и Юж. Буг (в)

Водная растительность, произрастающая вдоль прибрежных мелководий, а также хорошее перемешивание, обусловливающее взмучивание песчаных донных отложений, способствуют самоочищению прибрежных вод от фенолов [118, 120]. Поэтому их концентрация в мелководных районах устьевого взморья меньше, чем в глубоководных, несмотря на сравнительно меньшую проточность. Вдоль осей лиманов также происходит очищение от этих соединений – удельное (на каждый километр) уменьшение концентрации фенолов от НГД к Кинбурнскому проливу в поверхностном слое воды в среднем составляет 0,03 мкг/л, в придонном – 0,02 мкг/л; в Бугском лимане по направлению г. Николаев – мыс. Сакен концентрация фенолов в водной массе уменьшается на 0,05 мкг/л.

Средняя концентрация фенолов в воде 1 – 3 мкг/л, максимальная – 27,0 мкг/л (табл. 8.5). Изменчивость во времени этого загрязняющего вещества больше, чем НУ, а частота обнаружения в пробах меньше (табл. 8.6). С вероятностью 58 % они обнаруживаются в восточном районе Днепровского лимана и в 39 % случаев – в его западном районе, причём, в количествах, превышающих ПДК в 85 – 100 % случаев (от числа проб, содержащих фенолы).

Вертикальной стратификации концентрации фенолов, как и концентрации НУ, не отмечается (рис. 8.20), т.к. эти вещества распределены в водной массе довольно однородно. Причиной такой однородности могут быть внутриводоёмные биохимические процессы, потому что влияние физико-динамических факторов на изменение концентрации фенолов проявляется в меньшей степени [118].

Содержание фенолов в донных отложениях лимана аналогично пространственному распределению их концентрации в воде (рис. 8.20). Наибольшее фенольное загрязнение грунтов приурочено к судоходному каналу в восточном районе Днепровского лимана и Бугском лимане, в районе г. Очакова. На этих участках средняя концентрация фенолов достигает 3 – 4,5 мг/г абс. сухого грунта, на остальных – 1 – 2 мг/г абс. сухого грунта. Как уже указывалось, в глубоководном районе канала загрязняющие вещества накапливаются в бóльших количествах, чем на мелководьях, т.к. с глубиной затрудняется вертикальный обмен и самоочищающая способность воды уменьшается. К тому же дефицит кислорода (разд. 8.1) может замедлять биохимические процессы деструкции фенола. По данным Ми-

ронова О.Г. [8] фенолокисляющие микроорганизмы, способствующие очищению среды от фенола, в илистых песках и песках содержатся в концентрациях в 2 – 10 раз бóльших (100 – 1000 клеток/л), чем в илах (50 – 100 клеток/л). Поэтому вдоль побережья устьевого взморья донные отложения менее загрязнены фенолами, чем в глубоководной части лимана.

Гистограммы распределения концентрации фенолов в воде во всех районах морского устья рек Днепр и Юж. Буг характеризуются крайней асимметрией – 60 – 80 % значений не превышает 2 мкг/л.

Значимых тенденций концентрации фенолов на большинстве станций устьевого взморья не обнаружено, за исключением ст. 18, где она уменьшается на 0,08 мкг/л в год. Возможно, причиной уменьшения загрязнённости воды северной части Бугского лимана фенолами является сокращение производственного потенциала в регионе и природоохранные мероприятия, направленные на очистку стоков г.Николаева [23].

СПАВ. Менее токсичные, чем фенолы и НУ, синтетические поверхностно-активные вещества, также являются загрязняющими и попадают в морское устье со стоком рек, из местных источников сточных вод и при смыве с сельскохозяйственных территорий.

Спад промышленного и сельскохозяйственного производства (разд. 1.5) существенно отразился на поступлении СПАВ в морское устье рек. На всех станциях наблюдений (рис. 8.1) отмечаются значимые отрицательные тенденции, причём, уменьшение концентрации СПАВ происходит резко, в основном, начиная с конца 80-х годов (табл. 8.7, рис. 8.21).

Таблица 8.7.

Тенденции концентрации СПАВ на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг за период с 1976 г. по 2009 г.

Номер станции (рис. 8.1)	4	7	11	18	18а
Тренд, мкг/л в год	-6,13	-5,28	-4,47	-2,10	-4,40

Учитывая, что (по данным специалистов НЦГМ) методика определения СПАВ [124] не изменялась, причиной неоднородности рядов наблюдений является изменение уровня хозяйственной активности. Причём, указанные изменения произошли скачкообразно (рис.

8.21). Поэтому данные рядов наблюдений обобщены по периодам, когда экономические показатели были однородными, и в табл. 8.8 приводятся, для сравнения, данные за два разнородных периода – с 1976 г. по 1989 г. (с высоким уровнем промышленного и сельскохозяйственного развития) и с 1990 г. по 2009 г. (в современный период).

Как видно из табл. 8.8, если в первый период повсеместно в Днепровском лимане, кроме мелководных станций (очевидно, из-за процессов сорбции [122] песчано-илистыми отложениями), средняя многолетняя концентрация СПАВ превышала ПДК (100 мкг/л), то в последнее двадцатилетие концентрация этого ЗВ уменьшилась в 6 – 8 раз. Преимущественно уменьшилась и изменчивость концентрации СПАВ (C_v), за исключением западного района Днепровского лимана. В Бугском лимане концентрация СПАВ уменьшилась в среднем в 3,5 раз, по тем же причинам, а также, возможно, и из-за реконструкции очистных сооружений [23]. Таким образом, среднее многолетнее содержание СПАВ, даже в наиболее загрязнённых районах морского устья, не достигает ПДК, а в последние 15 – 20 лет – меньше предела обнаружения (< 25 мкг/л), но разовые концентрации этого вещества могут в 10 раз превышать ПДК (табл. 8.5, 8.8).

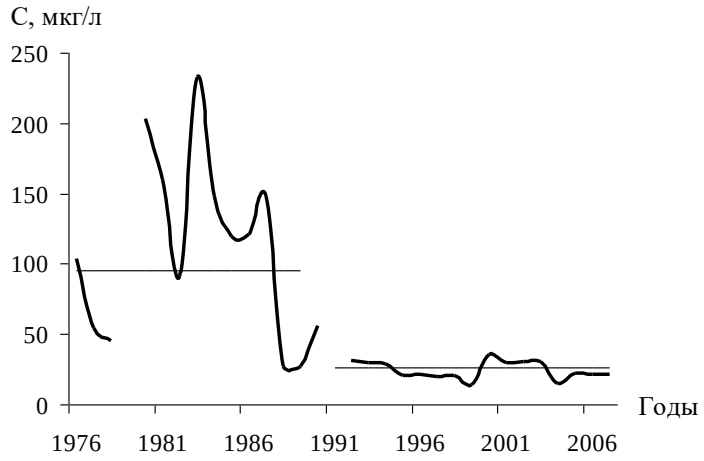


Рис. 8.21. Многолетняя изменчивость концентрации СПАВ (мкг/л) в районе г. Николаева (ст. 18б) в период с 1976 г. по 2009 г.

Наличие крупных источников СПАВ – промышленно-бытовых стоков городов Николаев, Херсон и Очаков, обусловливает поступление этих веществ на устьевое взморье, где они аккумулируются. Устойчивость низких концентраций (ниже 100 мкг/л) СПАВ в осолонённых и солёных водах отмечена Потипуном В.И. в работе [121]. По мнению автора, солёная вода содержит вещества, способные стабилизировать детергент на определённом уровне (в зависимости от начальной концентрации). Особенности современного (в 1990 – 2009 гг.) распределения СПАВ в акватории таковы, что различия между концентрацией ингредиента на станциях и горизонтах не превышают пределов чувствительности метода определения, составляют от него 0 – 20 %, стратификация не выражена или неодинаковая на ближайших станциях. Поэтому на рис. 8.22 показано распределение средней многолетней концентрации СПАВ, осреднённой по глубине. Очевидно, что рис. 8.22 лишь приближённо характеризует содержание СПАВ в водной толще акватории взморья.

Особенностью распределения этого ЗВ является увеличение его концентрации в центральном и восточном районах Днепровского лимана. На устьевом участке р. Юж. Буг концентрация СПАВ не превышает 10 мкг/л, в водотоках р. Днепр она уменьшается, от г. Херсона к устьям рукавов, с 25 мкг/л до 22 мкг/л, на участке с. Касперовка – с. Станислав – с. Лупарево увеличивается до 25 – 30 мкг/л, а в западном районе, подверженном влиянию морских вод, концентрация СПАВ в среднем уменьшается до 15 – 10 мкг/л (рис. 8.22).

Таблица 8.8

Основные статистические характеристики концентрации СПАВ в морском устье рек Днепр и Юж. Буг (мкг/л)

Номер станции	4	7	11	18
период с 1976 г. по 1989 г.				
средняя	153	111	105	67
C_v	1,3	1,5	0,8	2,0
период с 1990 по 2009 г.				
средняя	23	19	13	19
C_v	1,1	1,0	1,2	1,1

Влияние различных абиотических характеристик на концентрацию СПАВ изучено недостаточно. Короткие неоднородные периоды наблюдений (табл. 8.8) не дают возможности достоверно оценить и проанализировать возможные связи между ингредиентами. Однако, особенности распределения концентрации СПАВ в Днепровско-Бугском лимане (рис. 8.22) позволяют предполагать, что солёность воды играет в этом определённую роль. Именно в зоне смешения пресных и солёных вод (зоне преобразования ионного состава, рис. 5.11), в диапазоне солёности 2 – 4 ‰, отмечается наибольшее содержание СПАВ, поэтому эту часть устьевого взморья можно назвать зоной их накопления. Здесь же расположена область пересыщения растворённым кислородом (рис. 8.2), значительного загрязнения фенолами (рис. 8.20) и нефтяными углеводородами (рис. 8.18). Возможно, эта часть устьевого взморья подвергается загрязнению при работе глинозёмного завода и порта, вторичному загрязнению, чему могут способствовать дноуглубительные работы в канале с последующим складированием изъятого, загрязнённого грунта. Схожесть внутригодовой изменчивости СПАВ и НУ (рис. 8.17) свидетельствует о возможной общности их источников.

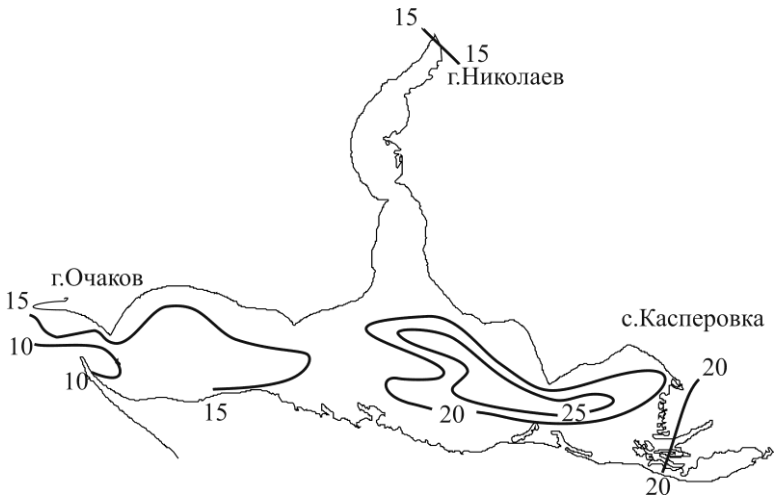


Рис. 8.22. Среднее содержание СПАВ (мкг/л) в воде устьевого взморья рек Днепр и Юж. Буг за период с 1990 г. по 2009 г.

Повторяемость обнаружения СПАВ в воде в среднем составляет 60 – 70 % (табл.8.6).

Гистограммы распределения концентрации СПАВ крайне асимметричны и свидетельствуют о том, что наиболее часто, в 70 – 95 % случаев содержание СПАВ не превышает 0,5 ПДК (50 мкг/л) на всех станциях устьевого взморья, а в районе г.Николаева – в 95 % случаев концентрация СПАВ меньше ПДК (100 мкг/л). Однако здесь фиксировались разовые концентрации СПАВ, в 10 раз превышавшие ПДК (1000 мкг/л), а на ст. 18б (рис. 8.1), в поверхностном слое воды, концентрация СПАВ достигала 1800 мкг/л (23.07.1980 г.).

Как видно из рис. 8.22, вдоль оси Бугского лимана содержание ингредиента практически не изменяется, даже несколько возрастает по направлению к Сакенскому проливу, в среднем на 0,2 мкг/л на километр длины, а вдоль оси Днепровского лимана происходит естественное уменьшение концентрации СПАВ на ту же величину. Очищающее влияние морских вод на Днепровский лиман распространяется на всю его западную часть.

Хлорированные углеводороды. Наиболее токсичными загрязняющими веществами антропогенного происхождения, отсутствие которых предусмотрено нормативами [125], являются хлорированные углеводороды. К ним относятся: ДДТ, ДДЭ, ДДД, α-ГХЦГ, γ-ГХЦГ, гептахлор (ГПХ), ПХБ и др. опасные ядохимикаты, называемые также хлорорганическими пестицидами или ХОП, которые в основном выносят устьеобразующие реки. Также они попадают в водную среду устья при смыве с берегов и при их обрушении, эрозионном выносе, с атмосферными выпадениями, грунтовыми и сточными водами. Обычно поступление ХОП в речную воду и морское устье рек происходит во время весенней и осенней обработки сельскохозяйственных культур, что отражается на сезонном ходе ингредиентов (рис. 8.17).

Поступая с водосбора и со сточными водами, сбрасываемыми в морское устье, хлорированные углеводороды негативно влияют на гидробионты, накапливаясь в них и снижая рыбопродуктивность. Фосфорорганические пестициды, широко использующиеся в регионе, в водной среде морского устья не определяются, так как они лучше растворяются и менее устойчивы, чем ХОП. В настоящее вре-

мя содержание ХОП в воде стабилизировалось, значимых тенденций не отмечается, хотя оценить их можно только приблизительно из-за редкой повторяемости обнаружения этого типа ЗВ. В отличие от НУ, фенолов и СПАВ, ХОП обнаруживаются в 5 – 15 % проб (группа ДДТ) и в 30 – 45 % проб (группа ГХЦГ).

С 1983 г. Николаевский ЦГМ выполняет определения ДДТ, ДДЭ, ДДД, α-ГХЦГ, γ-ГХЦГ. Из всех ХОП, поступающих в морское устье рек, преобладают изомеры ГХЦГ, они чаще обнаруживаются в пробах воды, статистический анализ их рядов более обоснован, чем других, поэтому поведение хлорорганических углеводородов рассмотрено на примере γ-ГХЦГ, сведения по другим ЗВ этой группы приведены в табл. 8.5.

В среднем содержание ХОП на устьевом взморье рек составляет от 0 (менее 0,5 нг/л) до 7 нг/л (табл. 8.5), но разовые максимальные концентрации бывают огромными. Например, на устьевом участке р. Днепр 29.04.1986 г. концентрация ДДЭ достигала 1040 нг/л. В Сакенском проливе, чаще, чем где-либо, отмечались максимальные концентрации ХОП. Так, 20.10.1983 г. концентрация ДДТ здесь была равна 600 нг/л, ДДД – 70 нг/л (07.07.1983 г.). Максимальное содержание α-ГХЦГ было зафиксировано в районе с.Станислав и составляло 95 нг/л (07.07.1983 г.), у морского порта г.Николаева концентрация γ-ГХЦГ достигала 120 нг/л (14.06.1990 г.), а по данным [126] – 270 нг/л.

Пространственное распределение концентрации γ-ГХЦГ представлено на рис. 8.23.

Так как наибольшая концентрация γ-ГХЦГ приурочена к НГД р. Днепр, очевидно, основная их масса поступает с речным стоком. Отмечается также локальное повышение концентрации этого токсиканта в районе г. Очакова (рис.8.23). Вертикальной стратификации концентрации ХОП не наблюдается.

Если в структуре загрязнения судоходных участков преобладают НУ и фенолы, то в устьевых водоёмах в дельте р. Днепр обнаруживаются ХОП, ГПХ и ПХБ [127]. Так, по данным натурных исследований в 1995 г., в донных отложениях озёр Белого и Красниковского, а также Кардашинского лимана в верхнем десятисантиметровом слое обнаружены пестициды α- и γ-ГХЦГ, гептахлор (ГПХ), ДДЭ, ДДД и полихлорбифенилы (ПХБ). Гептахлор – очень опасный ядо-

химикат, а также метаболиты ДДТ и изомеры гексахлорциклогексана аккумулируются в донных отложениях озёр в бóльшей степени, чем водотоков, так как значительное течение способствует их выносу. По данным Симова В.Г. и Клименко Н.П. [127] в более глубоких слоях донных отложений обнаруживаются метаболиты ДДТ, а в поверхностных – γ-ГХЦГ, что связано с запретом применения ДДТ с 1970 г.

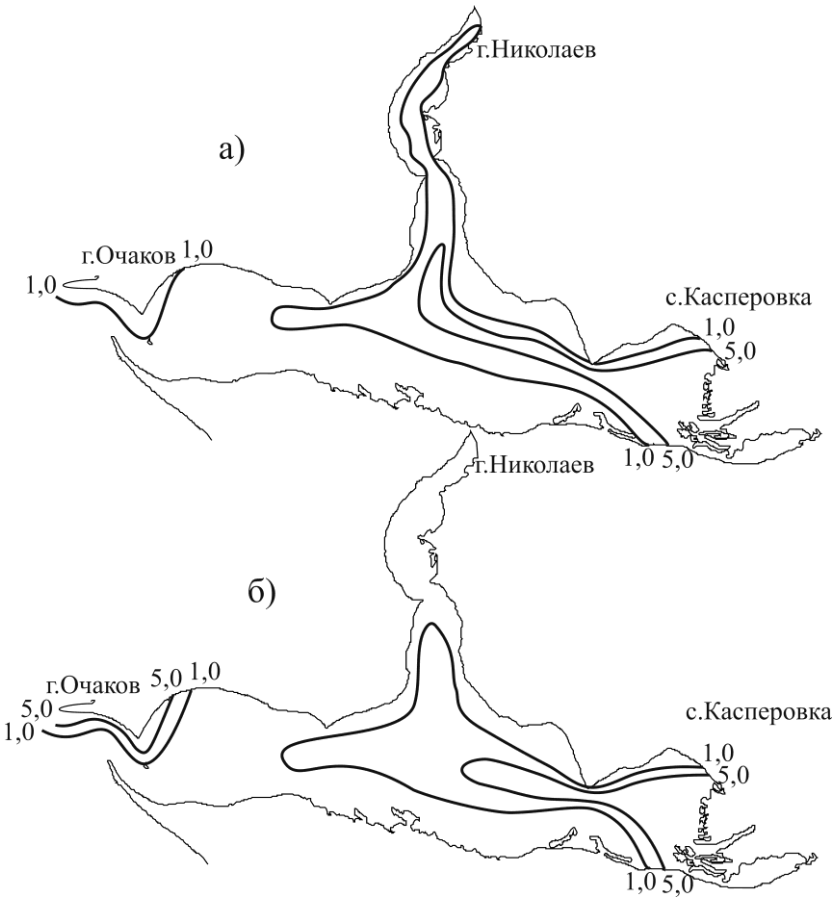


Рис. 8.23. Содержание γ-ГХЦГ (нг/л) в поверхностном (а), придонном (б) слоях устьевого взморья рек Днепр и Юж. Буг

Наиболее вероятная (80 – 95 %) концентрация γ-ГХЦГ на большинстве станций устьевого взморья попадает в интервал от 0 до 2 нг/л (рис. 8.24).

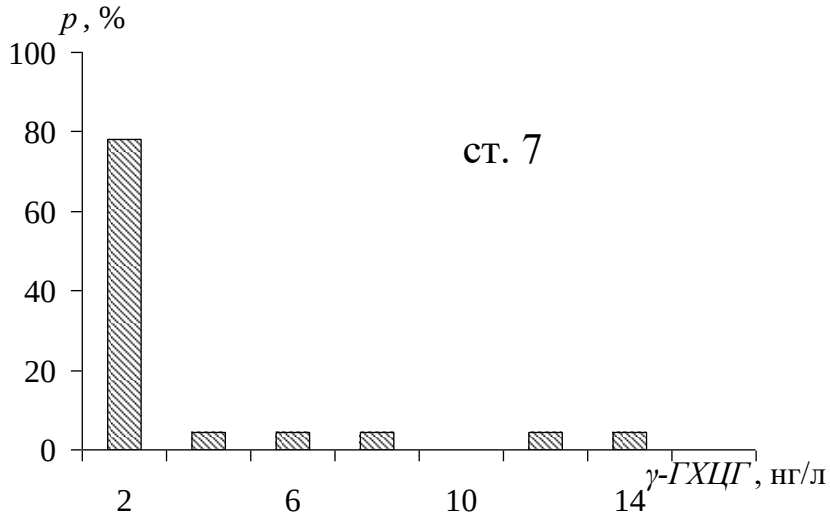


Рис. 8.24. Гистограмма распределения концентрации γ-ГХЦГ на станции 7

Анализ распределения концентрации основных загрязняющих веществ (рис. 8.18, 8.20, 8.22, 8.23) показал, что накопление токсикантов (кроме районов расположения источников сточных вод) характерно для зоны влияния стока р. Днепр, особенно для области преобразования ионного состава воды (разд. 5.3).

Отсутствие выраженной вертикальной стратификации концентрации ЗВ связано с одинаковой степенью загрязнённости как поверхностных, так и придонных вод (последние могут пополняться ЗВ из донных отложений или при их поступлении из загрязнённых районов открытой части устьевого взморья, а также из глубоководных выпусков сточных вод). В настоящее время уровень загрязнённости воды всеми рассмотренными загрязняющими веществами стабилизировался.

8.4. Сток биогенных и загрязняющих веществ

Одним из основных факторов гидрохимического режима морского устья рек Днепр и Юж. Буг, основной составляющей баланса веществ – является поступление растворённых веществ в вершины устья, распределение стока в устьевых рукавах р. Днепр и его транзит на устьевое взморье. Масштабы влияния на взморье стока растворённых веществ, выносимых реками в Днепровско-Бугский лиман, пропорциональны их водному стоку, среднее годовое значение которого в 13,6 раз больше среднего годового объёма воды в лимане (разд. 1, разд. 2). Так как наиболее изучен режим ГЭБЦ и ЗВ рассчитан сток этих ингредиентов.

Сток и модуль веществ рассчитывался приближённо по традиционным формулам [128, 130], средняя концентрация в расчётных створах определялась как средняя арифметическая с погрешностью расчёта 10 – 50 % [128].

Одной из основных составляющих стока растворённых веществ является сток воды. Однако увеличение водоносности рек не всегда вызывает увеличение стока растворённых веществ. Если увеличение стока воды вызвано снеготаянием, происходит разбавление речной воды талыми водами, которые могут быть более чистыми, чем речные. При выпадении жидких осадков на промерзшую почву увеличению стока воды может также соответствовать уменьшение стока веществ. В конце снеготаяния или при выпадении осадков на незамерзшую, свободную от снежного покрова почву происходит смыв веществ с поверхности бассейна. В этом случае, при увеличении стока воды происходит увеличение концентрации растворённых в ней веществ, сток их увеличивается. При сбросах из каскада днепровских водохранилищ сток веществ может как увеличиваться, так и уменьшаться, в зависимости от того, сбрасывается загрязнённая вода или более чистая. Антропогенное влияние на сток химических веществ оказывается постоянно или эпизодически, стабилизируется или бывает случайным, например, при авариях.

Концентрация ГЭБЦ и ЗВ в устьевых водотоках и в Кинбурнском проливе определялась по разным методикам [46]. Содержание веществ, поступающих в вершины морского устья рек, в водотоках и водоёмах изменяется под действием различных факторов, поэтому

значения стока веществ у нижней границы дельты р.Днепр и устьевых участков рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец не всегда совпадает с его значениями в вершинах морского устья. В связи с этим, сток ГЭБЦ и ЗВ на устьевое взморье рассчитывался для створов у г. Николаев и с. Касперовка (рис. 8.1). Сток веществ у нижней границы дельты р. Днепр характеризует суммарный сток рукавов р. Днепр и р. Ингулец в лиман.

Выбор створов и метода расчёта продиктован недостатком наблюдений, не позволяющим получить обоснованные сезонные значения стока растворённых веществ, поэтому осреднение выполнялось для годового интервала.

При расчёте выноса веществ р.Днепр в лиман расход воды принимался по створу у Каховской ГЭС, а концентрация веществ – у НГД. Учитывая, что бóльшую часть года она однородно распределена в устьях рукавов, концентрация у НГД рассчитывалась как средняя арифметическая.

Сток веществ реками Юж. Буг и Ингул определялся по стоку воды в замыкающих створах этих рек (разд. 2.1) и концентрации на ст. 18 и 18б (рис. 8.1). Для приближённого расчёта стока веществ р. Ингулец использованы данные эпизодических гидрохимических наблюдений в устье этой реки и сток воды в створе у с. Могиловка (табл. 2.1).

Поступление ГЭБЦ и ЗВ в открытую часть устьевого взморья рассчитано по данным о водообмене через Кинбурнский пролив (разд. 2.4) и наблюдениям за концентрацией веществ в его поперечном сечении.

При расчёте средней арифметической концентрации веществ за период учитывались случаи, когда в пробе воды ингредиент не обнаруживался, т.е. концентрация вещества равнялась нулю. Поэтому получение среднего арифметического значения концентрации веществ путём осреднения всех значений, включая нулевые, с последующим расчётом стока веществ не является точным, так как сток различных веществ отмечается только тогда, когда они присутствуют в водной среде, а при их отсутствии сток был равен нулю.

Закон распределения гидрохимических элементов, в отличие от гидрометеорологических параметров, в рассматриваемых створах далёк от нормального и имеет выраженную асимметрию в сторону малых величин (разд. 8.2, 8.3, [7, 129]). Следовательно, обычные

статистические методы, разработанные для нормально распределённых величин (например, для расчёта средней арифметической концентрации и других статистических характеристик), не всегда дают достоверные результаты. К тому же, в морском устье рек Днепр и Юж. Буг в настоящее время выполняется по 2 – 3 съёмки в год. Средняя концентрация вещества, полученная при осреднении нескольких значений за год при условии, что одно из них на порядок больше остальных, является завышенной, поэтому сток веществ в этом случае также будет завышен. Поэтому средняя годовая концентрация вещества обычно является приближённой, а получить достоверный временной ход выноса, как годовой, так и за более короткие периоды, пока не представляется возможным.

Не улучшает положения и использование метода расчёта ионного стока [130], адаптированного к стоку загрязняющих веществ [131], так как линейная интерполяция между несколькими измерениями концентрации ЗВ, предлагаемая в [131], не обоснована анализом натурных данных. Существенная изменчивость концентрации ГЭБЦ и ЗВ, когда стандартное отклонение величин иногда в несколько раз больше средних значений, делает расчёт по методике [131] искусственным, не отражающим реальности.

Для расчёта стока ГЭБЦ и ЗВ в произвольном створе устья с любой дискретностью, независимо от закона распределения исследуемой концентрации и степени её зависимости от стока воды и других природных и антропогенных факторов, разработана методика, в основу которой положены детальные многолетние натурные наблюдения Гидрометеослужбы Украины в морском устье рек Днепр и Юж. Буг [129]. Используя срочные наблюдения за концентрацией растворённых веществ и данные о расходе воды, рассчитывался суточный расход веществ (R_{pi}) и он связывался со среднесуточным расходом воды (Q_i) с учётом «времени добегания» от Каховской ГЭС до расчётного створа. По зависимостям $R_{pi} = f(Q_i)$, имеющим высокие коэффициенты корреляции, можно рассчитывать сток растворённых веществ любой дискретности.

Условия формирования стока веществ могут отличаться не только для устьеобразующих рек, но и для одного и того же створа (например, у НГД р. Днепр) в различные фазы водного режима. В отдельных устьевых водотоках связь $R_{pi} = f(Q_i)$ неоднозначна и может иметь две ветви, две зависимости: на одну кривую ложатся зна-

чения выноса, сформированного половодьем и дождевыми паводками, на другую – вынос веществ в период ледовых явлений и межени. В створах, расположенных вблизи промышленных предприятий, осуществляющих сбросы сточных вод, зависимость выноса веществ от стока (расхода) воды также бывает неоднозначной: при определённых условиях происходит разбавление сточных вод, и с увеличением расхода воды в водотоке вынос ЗВ может уменьшаться. Если расход воды уменьшается до нуля (например, при нагоне наблюдается обратный поток), сток веществ в лиман равен нулю.

Расхождение результатов расчёта по зависимостям $R_{pi} = f(Q_i)$ с традиционным методом расчёта стока веществ [128] существенны – среднее расхождение составляет 30 %, максимальное 85 %.

В связи с тем, что целью расчёта стока ГЭБЦ и ЗВ в настоящем разделе является его ориентировочная балансовая оценка в годовом интервале, расчёт выноса ГЭБЦ и ЗВ на устьевое взморье выполнялся по средним многолетним данным за период с 1976 г. по 2009 г. для ГЭБЦ и с 1983 г. по 2009 г. для ЗВ. Эта оценка, выполненная традиционным методом [130], позволяет сравнить полученные величины с литературными данными.

8.4.1. Сток биогенных веществ

Анализ изменчивости концентрации соединений фосфора, азота и кремния в устьевых рукавах р. Днепр и в других расчётных створах (рис. 8.1) показал, что ГЭБЦ довольно однородно распределены в водных сечениях, их концентрации в разных рукавах р. Днепр близки. Особенно это характерно для соединений азота (нитритов, нитратов, общего азота) и кремния.

Результаты определения концентрации ГЭБЦ в расчётных створах (рис. 8.1) представлены в табл. 8.9.

Изменчивость концентрации ГЭБЦ вдоль устьевого участка р. Юж. Буг для всех ингредиентов незначительная (в пределах ± 0 – 10 %), за исключением концентрации нитратов, которая вниз по течению, между створами с. Сливино – г. Николаев, в среднем увеличивается в 2 раза, и кремния, содержание которого увеличивается в 3 раза на этом коротком отрезке реки, равном около 12 км. Очевидно, в расчётном створе (ст. 18) может сказываться вынос растворённых веществ р. Ингул и стоками г. Николаева.

От вершины устья р. Днепр до НГД в неизменном количестве поступают только нитраты и кремний, содержание остальных ГЭБЦ существенно изменяется. Влияние на концентрацию биогенных веществ оказывают сток р. Ингулец, сточные воды г. Херсона, а также водоёмы, плавни и устьевые водотоки р. Днепр, богатые различными гидробионтами. Изменения концентрации ГЭБЦ разнонаправлены – содержание соединений фосфора увеличивается, а азота аммонийного и нитритного уменьшается по направлению к устьям рукавов. Поэтому оценка стока ГЭБЦ выполнялась по створу в устьях рукавов р. Днепр. В связи с отсутствием значимых тенденций концентрации ГЭБЦ и стока воды (разд. 2.1, 8.2) средняя концентрация и сток веществ в расчётных створах определялись за период с 1976 г. по 2009 г. Несмотря на то, что концентрация нитратов заметно уменьшается с 1996 г., тенденции пока незначимые.

Таблица 8.9

Средняя концентрация ГЭБЦ в расчётных створах, мкг/л

Створ	Биогенное вещество						
	Фосфаты	Фосфор общий	Азот аммоний.	Азот нитрит.	Азот нитрат.	Азот общий	Кремний
ПДК	170	–	390	20	9100	–	10000
Днепр	133	198	58	12	176	1023	2448
Юж. Буг	209	266	126	17	301	1495	2208
Ингул	200	265	145	20	293	1544	2645
Ингулец*	90	171	208	17	215	1260	2621

*Примечание: * – приближённая оценка из-за недостатка данных.*

В воде рек Юж. Буг и Ингул концентрация соединений фосфора и азота больше, чем в других реках, среднее содержание фосфатов превышает ПДК (табл. 8.9). Концентрация азота аммонийного в среднем в воде различных рек имеет близкие значения, кроме р. Днепр, где его концентрация меньше в 2 раза и более. В р. Ингулец преобладает аммонийный азот, высока концентрация кремния, нитратов и др., т.к. водоток сильно загрязняется сбросами шахтных вод, ПУВКХ г. Кривой Рог и г. Александрия (рис. 8.25). Эта река при аварийных сбросах, особенно в межень, превращается в коллек-

тор сточных вод, а концентрация ГЭБЦ возрастает на порядок и более (рис. 8.26). Тем не менее, в районе с. Садовое концентрация ингредиентов бывает такой же, как и на прилегающем участке р. Днепр. Что является причиной этого – самоочищающая способность р. Ингулец или поступление в неё днепровских вод, с последующим их возвратом в р. Днепр (разд. 1.4), точно не установлено. Поэтому сток ГЭБЦ в устье р. Ингулец оценен приближённо по немногочисленным наблюдениям в устьевой части этой реки [106].

Результаты расчёта стока ГЭБЦ приведены в табл. 8.10.

Как видно из табл. 8.10, сток ГЭБЦ р. Днепр составляет 84 – 93 % от суммарного выноса ГЭБЦ реками, образующими рассматриваемое морское устье. При этом сток ГЭБЦ стабилизировался, т.к. его составляющие (сток воды и концентрация) не имеют значимых тенденций.

Отсутствие значимых тенденций стока ГЭБЦ, вероятно, связано с тем, что физико-химические и биохимические процессы, протекающие в водохранилищах и нижерасположенной части морского устья рек Днепр и Юж. Буг, приобрели установившийся характер в результате стабилизации работы каскада водохранилищ (с середины 80-х годов) и воздействия на режим ГЭБЦ различных, иногда противоположно влияющих, факторов (разд. 8.2).



Рис. 8.25. Выпуск сточных вод в р. Ингулец [132]

Динамика многолетних изменений концентрации и выноса ГЭБЦ р. Днепр до 70-х годов XX века была обусловлена, очевидно, тем, что в период строительства водохранилищ и их наполнения происходило затопление значительных площадей земель и растительности, увеличивался периметр береговой черты, а, следовательно, и зона обрушения; смыв и сбросы сточных вод охватывали бóльшую территорию и происходили не в речные русла, а в менее проточные водоёмы, что способствовало увеличению содержания фосфорных и азотистых соединений в воде. Водохранилища стали

благоприятной средой для накопления органических веществ, сформировались биоценозы, которых не было в реке, начались процессы эвтрофирования, «цветения» воды. Заиливание ложа водохранилищ способствовало вторичному загрязнению водных масс [133].

Увеличение стока воды р. Днепр в осенне-зимний период в 2 – 3 раза (из-за его искусственного внутригодового перераспределения) и поступление осенью и зимой воды с относительно высокой концентрацией ГЭБЦ обусловило увеличение в этот период выноса биогенных веществ в нижние бьефы водохранилищ, Днепровско-Бугский лиман и море. В последние годы в районах крупных городов в бассейнах устьеобразующих рек несколько уменьшаются сбросы сточных вод, концентрация азота нитратного (в рук. Рвач) и аммонийного (в воде прилегающей к дельте части лимана). С одной стороны, спад экономического развития и уменьшение объёмов сельскохозяйственного производства (разд. 1.5) способствовали уменьшению смыва и сброса ГЭБЦ в бассейнах рек Днепр и Юж. Буг. С другой стороны, старение существующих коммуникаций, технического оборудования, несанкционированные сбросы, отсутствие или аварийное состояние очистных сооружений и другие негативные факторы приводят к увеличению количества поступающих в речную воду ГЭБЦ, а, следовательно, и их стока.

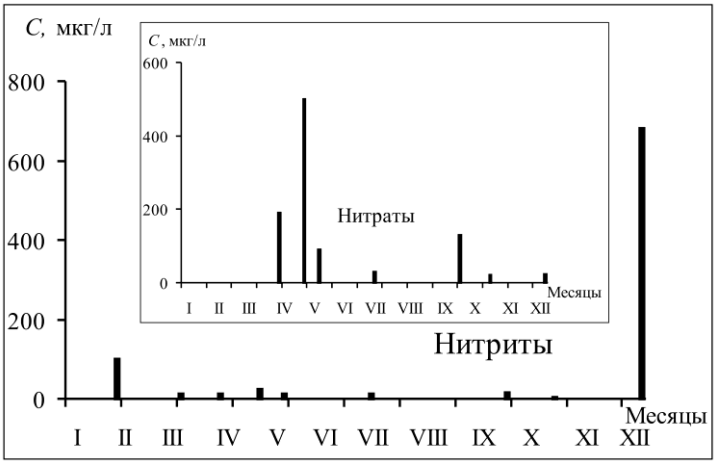


Рис. 8.26. Фрагмент изменчивости концентрации нитритов и нитратов в устье р. Ингулец в 1990 г.

Изменчивость выноса ГЭБЦ зависит не только от водоносности реки, но и содержания веществ в воде, что подтверждают зависимости стока ГЭБЦ от их концентрации и стока воды. Например, концентрация фосфатов при увеличении стока воды р. Днепр уменьшается (рис. 8.6, 8.8), а нитратов, нитритов и других соединений азота – увеличивается (рис. 8.12). Поэтому прямо пропорциональная зависимость между стоком ГЭБЦ и стоком воды имеет разную тесноту связи: для фосфатов коэффициент корреляции указанной зависимости равен 0,56, а для нитритов – 0,69 (рис. 8.27).

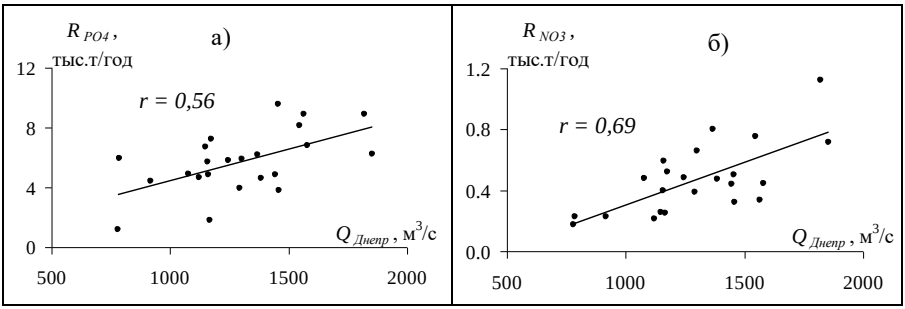


Рис. 8.27. Зависимости стока фосфатов (а) и нитритов (б) от среднего годового расхода воды р. Днепр у Каховской ГЭС

Зависимость стока ГЭБЦ от их концентрации более тесная, чем от стока воды, коэффициенты корреляции составляют 0,73 – 0,96. *СКО* концентрации ГЭБЦ равно 50 – 220 % от средней за многолетний период величины, в то время как сток р. Днепр имеет *СКО*, равное 26 % (табл. 2.1). Поэтому роль концентрации в стоке ГЭБЦ существенна, и рассчитывать вынос растворённых веществ по стоку воды можно только весьма ориентировочно, так как точность таких расчётов невысока.

В устьевых рукавах р. Днепр увеличение стока ГЭБЦ происходит, как при увеличении концентрации, так и при увеличении водоносности реки, зависимости для всех рассмотренных биогенных веществ аналогичны представленным на рис. 8.27.

Для оценки составляющих баланса ГЭБЦ, кроме стока, рассчитан обмен биогенными веществами между закрытой и открытой частями устьевого взморья через Кинбурнский пролив. Результаты расчёта

представлены в табл. 8.10. Очевидно, что для ГЭБЦ вынос через Кинбурнский пролив меньше их количества, поступающего в Днепровско-Бугский лиман. Наибольшим изменениям в Днепровско-Бугском лимане подвергаются фосфаты и нитраты (разд. 8.2), здесь их количество уменьшается на 50 – 70 % от общего поступления с речным стоком и обратным потоком. Вынос остальных ГЭБЦ уменьшается на 15 – 45 %. Аммонийный и общий азот практически транзитом поступают из лимана в прилегающую открытую часть устьевого взморья, их количество в лимане уменьшается всего на 15 – 20 %.

Таблица 8.10

Сток ГЭБЦ в расчётных створах, тыс. т/год

Створ		Биогенное вещество						
		Фосфаты	Фосфор общий	Азот аммоний.	Азот нитрит.	Азот нитрат.	Азот общий	Кремний
НГД р.Днепр		5,63	8,38	2,45	0,50	7,44	43,3	104
НГУУР Юж. Буг		0,63	0,80	0,38	0,05	0,91	4,50	6,65
НГУУР Ингул		0,05	0,07	0,04	0,01	0,07	0,39	0,66
НГУУР Ингулец		0,02	0,04	0,05	0,01	0,05	0,30	0,63
Всего*		6,30	9,24	2,87	0,56	8,42	48,2	111
Кинбурнский пролив	П	3,52	6,21	3,07	0,36	2,58	47,6	78,6
	О	0,81	1,43	0,71	0,08	0,59	11,0	18,1
	Р	2,71	4,78	2,36	0,28	1,99	36,6	60,5

*Примечание: * – сток ГЭБЦ р. Ингулец не включен в суммарный речной сток, т.к. учитывается в створе у НГД р. Днепр; П, О, Р – прямой, обратный и результирующий перенос ГЭБЦ через Кинбурнский пролив.*

Модуль стока ГЭБЦ устьеобразующих рек представлен в табл. 8.11.Наибольший модуль характерен для р. Днепр, наименьший – для р. Ингулец. Структура стока биогенных веществ показана на рис. 8.28. В стоке ГЭБЦ всех рек преобладает кремний и общий азот. Долевой состав выноса отдельных ингредиентов реками Юж. Буг и Ингул идентичен, структура выноса ГЭБЦ реками Днепр и р. Ингулец также имеет общие черты (рис. 8.28). Одинаковый характер имеет структура выноса ГЭБЦ прямым, обратным и результирующим потоками через Кинбурнский пролив.

Анализ концентрации и стока ГЭБЦ в расчётных створах морского устья показал, что в Днепровско-Бугском лимане происходят

не только значительные изменения концентрации, но и изменяется структура их выноса в открытую часть взморья. Все ГЭБЦ, исключая аммонийный азот аккумулируются в лимане. В структуре выноса увеличивается доля азота общего и уменьшается – нитритов и соединений фосфора. Это обусловлено поступлением и смешением речных и морских вод, с разным содержанием рассматриваемых ингредиентов, разбавлением обогащённых биогенными веществами речных вод лиманными, внутриводоёмными химическими и биологическими процессами.

Таблица 8.11

Модуль стока ГЭБЦ в расчётных створах, тыс.т/км^2·год

Створ	Биогенное вещество						
	Фосфаты	Фосфор общий	Азот аммоний.	Азот нитрит.	Азот нитрат.	Азот общий	Кремний
Днепр	0,011	0,017	0,005	0,001	0,015	0,086	0,205
Юж. Буг	0,010	0,013	0,006	0,001	0,014	0,071	0,104
Ингул	0,005	0,007	0,004	0,001	0,007	0,039	0,067
Ингулец	0,002	0,003	0,004	0,001	0,004	0,022	0,046

Степень влияния речного выноса ГЭБЦ на устьевое взморье и прилегающую часть моря значительна – концентрация биогенных веществ у нижней границы дельты р. Днепр и устьевого участка рек Юж. Буг и Ингул превышает фоновую концентрацию в воде северо-западной части моря: нитритов в 2 – 3 раза, нитратов в 12 – 20, аммонийного азота в 2 – 5, фосфатов в 7 – 10, фосфора общего в 8 – 11 раз. В створе Кинбурнского пролива концентрация ГЭБЦ превышает их среднюю концентрацию в поверхностном слое северо-западной части моря в 2 – 5 раз [126].

Устьевое взморье рек Днепр и Юж. Буг уменьшает различие между концентрацией ГЭБЦ в речных и морских водах. Высокая биопродуктивность Днепровско-Бугского лимана, интенсивный водообмен с морем обусловливают существенные масштабы изменений концентрации ГЭБЦ. Как показывают расчёты, в Днепровско-Бугском лимане происходит аккумуляция и деструкция биогенных веществ. Так как наиболее существенная их убыль в Днепровско-

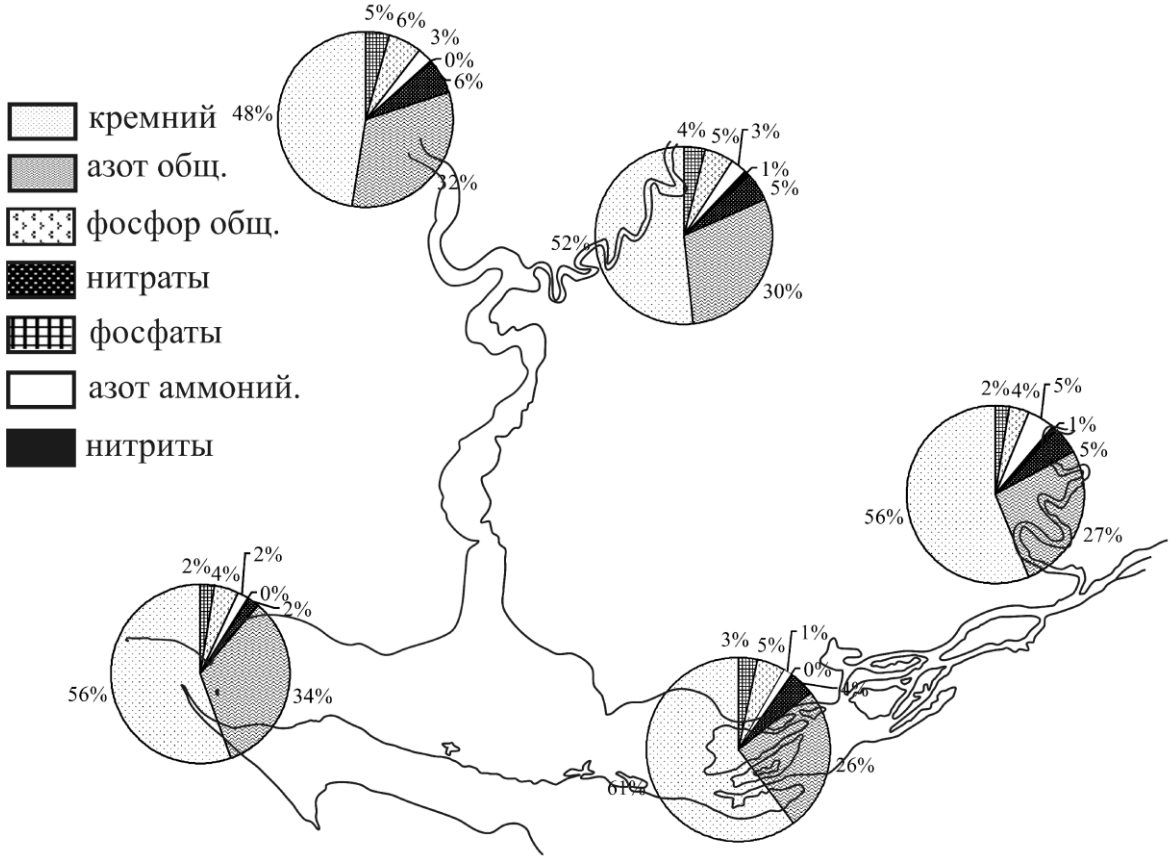


Рис. 8.28. Структура среднего многолетнего выноса ГЭБЦ (%)

Бугском лимане касается фосфатов и нитратов, можно предположить, что основную роль в этом играет биотическая составляющая экосистемы морского устья, потому что именно эти ГЭБЦ в бóльшей степени потребляются фитопланктоном и бактериями. В связи с этим при расчёте стока ГЭБЦ в открытое устьевое взморье необходимо учитывать обмен веществами через Кинбурнский пролив, иначе значение стока растворённых веществ в море будет завышенным в среднем на 45 – 57 % (кремний, фосфаты, фосфор общий и нитриты) – 76 % (нитраты). Только сток аммонийного и общего азота через Кинбурнский пролив близок к суммарному поступлению этих веществ в лиман с речными водами, превышая их на 18 – 24 % (табл. 8.10).

Степень влияния стока азота, фосфора и кремния на лиман и открытую часть устьевого взморья характеризует удельная нагрузка стока веществ на 1 м^3 поверхностного слоя воды. Результаты расчёта представлены на рис. 8.29.

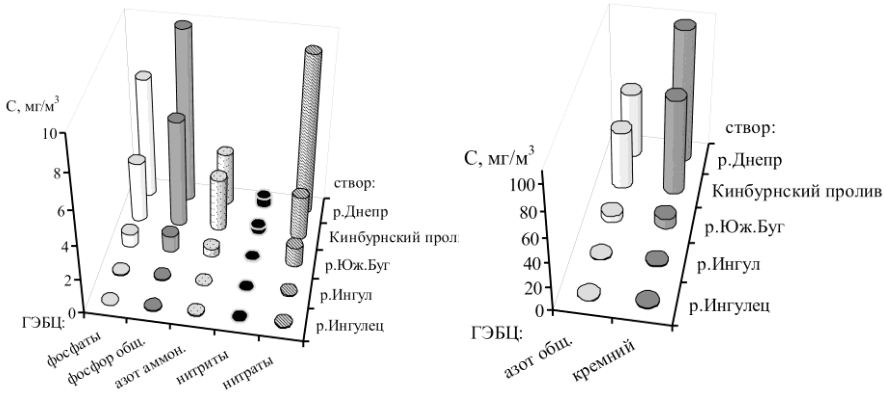


Рис. 8.29. Удельная нагрузка годового стока ГЭБЦ (С, мг/м^3) на 1 м^3 поверхностного слоя воды устьевого взморья

Из рис. 8.29 видно, что наибольшее влияние на закрытую часть устьевого взморья оказывает сток ГЭБЦ рек Днепр и Юж. Буг, в меньшей степени влияет сток малых рек.

Масштабы влияния рек на устьевое взморье пропорциональны соотношениям среднего многолетнего стока (табл. 2.1) и объёма лимана (3,28 км^3), площади водосбора рек (гл. 1) и площади лимана (800 км^2). Например, площади водосборов рек Днепр и Юж. Буг больше площади лимана в 630 и 80 раз соответственно, а рек Ингул и Ингулец – в 12 – 17 раз. Сток реки Днепр превосходит объём Днепровско-Бугского лимана в 13 раз, годовой сток р. Юж. Буг близок к объёму лимана, а сток малых рек за год составляет 1/10 часть лимана.

На рис. 8.29 показано также удельное влияние прямого потока ГЭБЦ через Кинбурнский пролив на прилегающую открытую часть устьевого взморья. Видно, что вынос биогенных веществ через пролив влияет на каждый м^3 поверхностного слоя воды открытой части устьевого взморья несколько меньше, чем сток ГЭБЦ р. Днепр, но больше, чем другие реки на Днепровско-Бугский лиман.

8.4.2 Сток загрязняющих веществ

Одним из основных источников загрязнения морского устья рек Днепр и Юж. Буг и основной составляющей баланса ЗВ является их сток с речными водами на устьевое взморье. Преобразование ЗВ в морском устье начинается на устьевом участке р. Юж. Буг и в устьевых рукавах р. Днепр. Нельзя исключать и влияние на загрязнение водной среды этих рек стоков крупных городов – Николаева и Херсона, расположенных близко к расчётным створам (рис. 8.1).

Анализ пространственной изменчивости различных загрязняющих веществ в устьевых водотоках не всегда позволяет однозначно судить о том, уменьшается или увеличивается концентрация отдельных веществ от вершины устья к устьевому взморью. Это связано с тем, что одни пункты отбора проб расположены вблизи городов, сбросов сточных вод и портов, другие – в относительно незагрязнённых районах. Такое сравнение приводит к некорректным выводам о значительном очищающем влиянии водотоков и водоёмов, расположенных в дельте, что не всегда соответствует действительности. Например, средняя многолетняя концентрация НУ у НГД больше, чем в районе с.Садовое на 40 %, фенолов – на 6 %, ДДЭ – на 63 %. Концентрация других загрязняющих веществ в среднем меньше на 33 – 89 %. В вершине устьевой области р. Днепр источ-

ников загрязнения НУ значительно меньше, чем в устьевых рукавах, расположенных в нескольких километрах от г. Херсона.

В связи с такой большой изменчивостью концентрации ингредиентов вдоль потока сток ЗВ в лиман рассчитывался в тех же створах, что и сток ГЭБЦ (подразд. 8.4.1). Результаты обобщения концентрации ЗВ в расчётных створах представлены в табл. 8.12.

За исключением СПАВ, концентрация которых резко уменьшилась в конце 80-х годов (разд. 8.3), среднее многолетнее содержание всех рассматриваемых загрязняющих веществ в речной воде превышает ПДК (табл. 8.12). Статистические характеристики, повторяемость обнаружения и превышения ПДК аналогичны, представленным в табл. 8.6. Медиана и мода меньше среднего значения, ряды концентрации ЗВ имеют крайне асимметричные распределения величин [129]. Коэффициент вариации концентрации НУ, фенолов и СПАВ в среднем составляет 0,8 – 2,3, C_v ХОП – 2,4 – 5,7.

Таблица 8.12

Средняя концентрация ЗВ в расчётных створах

Створ	Загрязняющее вещество							
	НУ, мг/л	Фенолы, мкг/л	СПАВ, мкг/л	ДДТ, нг/л	ДДЭ, нг/л	ДДД, нг/л	α-ГХЦГ, нг/л	γ-ГХЦГ, нг/л
ПДК	0,05	1,0	100	0	0	0	0	0
НГД р. Днепр	0,30	2,0	22	3	5	1	1	8
НГУУР Юж. Буг	0,33	2,1	19	1	0	0	0	3
НГУУР Ингул	0,33	2,5	26	3	1	0	0	4
НГУУР Ингулец*	0,22	1,9	26	7	3	0	6	5

*Примечание: * – приближённая оценка из-за недостатка данных.*

Устьевые участки рек Днепр (включая устьевые рукава), Юж. Буг и Ингул загрязнены нефтяными углеводородами, р. Ингулец – в меньшей степени.

Фенолы содержатся в низовьях рек в концентрациях, превышающих ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения. Однако содержание фенолов редко превышает фоновое и соответствует незагрязнённым и слабозагрязнённым речным водам, т.к. их концентрация в основном меньше 20 мкг/л [114]. Наибольшее фенольное загрязнение характерно для р. Ингул. Все низовья рек прак-

тически не загрязнены СПАВ, их среднее содержание в 4 – 5 раз меньше ПДК.

В воде устьеобразующих рек почти постоянно присутствуют НУ (повторяемость обнаружения 70 – 90 %), СПАВ и фенолы (70 – 80 %), металлы (50 – 90 %), обнаруживаются пестициды (10 – 15 %) и другие вещества.

Так как водная масса в водотоках обычно хорошо перемешивается и распределение концентрации ЗВ по глубине довольно однородное, для получения статистических характеристик значения концентрации осреднялись в поперечном сечении потока.

Исследование тенденций загрязнённости воды рек за период с 1983 г. по 2009 г. (также как и за период с 1976 г. по 2006 г. [7]) показало, что для большинства из них характерно отсутствие значимых тенденций концентрации НУ. Уменьшение концентрации НУ в среднем на 0,01 мг/л в год обнаружено только в воде р. Ингул (рис. 8.30). В то же время, в последние 15 лет концентрация ЗВ значительно уменьшается. Например, среднее годовое содержание НУ в расчётных створах рассматриваемых рек уменьшается на 0,03 мг/л у НГД р. Днепр и на 0,02 мг/л у НГУУ рек Юж. Буг, Ингул и Ингулец. Это объясняется уменьшением сбросов сточных вод, содержащих НУ, сокращением грузоперевозок и повышением эффективности природоохранных мероприятий. Однако точно оценить тенденции по коротким рядам (15 лет) пока не представляется возможным, т.к. имеются пропуски в наблюдениях, например, в 1991 г., 2002 г. и 2003 г. Изменчивость средней годовой концентрации нефтяных углеводородов в некоторых створах водотоков с 1983 г. по 2009 г. показана на рис. 8.30.

Средняя годовая концентрация загрязняющих веществ практически не зависит от стока воды, но от неё существенно зависит сток ЗВ, т.к., в отличие от его водной составляющей, концентрация веществ существенно изменяется от года к году. Коэффициенты корреляции между стоком ЗВ и их концентрацией составляют для р. Днепр 0,87, для р. Юж. Буг – 0,83. Связи между стоком веществ и воды аналогичны приведенным на рис. 8.27, но имеют более низкие коэффициенты корреляции.

Сток веществ рассчитывался за весь имеющийся период с учётом однородности рядов и представлен в табл. 8.13.

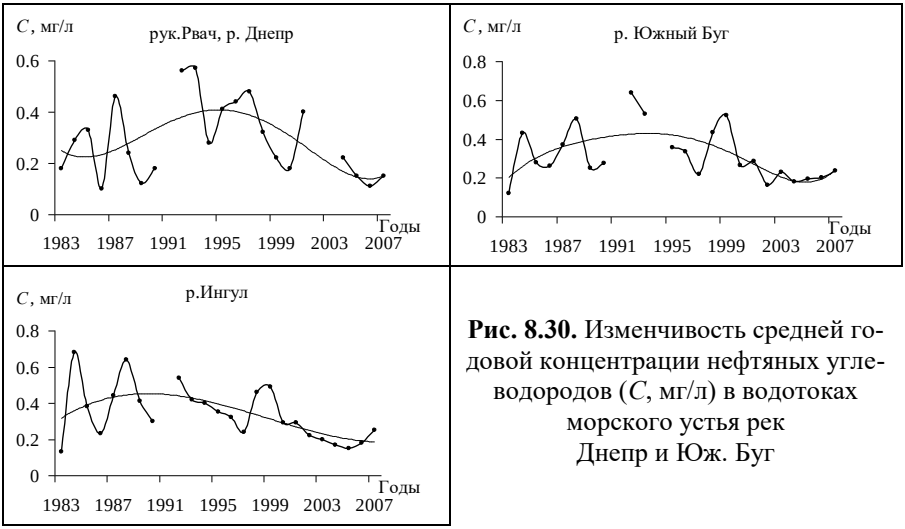


Рис. 8.30. Изменчивость средней годовой концентрации нефтяных углеводородов (*C*, мг/л) в водотоках морского устья рек Днепр и Юж. Буг

Полученные результаты согласуются с данными работ [7, 8, 126], в которых обобщены материалы наблюдений за разные периоды, но не совпадают с материалами обобщений за 1996 г. – 2006 г., представленными в работе [134].

Многолетние изменения стока ЗВ значимых тенденций не имеют, что подтверждает оценка значимости трендов по критерию Фишера и рис. 8.31, где показаны многолетние изменения концентрации НУ. Сток загрязняющих веществ р. Днепр составляет основную долю выноса ЗВ в лиман – 88 – 99 %.

Нулевые значения стока ХОП (табл. 8.13) означают, что его величина составляла менее 1 кг в год.

Так как содержание НУ увеличивается от НГД к Кинбурнскому проливу (разд. 8.3) и прямой поток превышает сток рек (разд. 2.4), результирующая выноса этого ингредиента в открытую часть устьевого взморья в среднем превышает его поступление с речным стоком в лиман на 14 %.

Для расчёта стока НУ различной дискретности использовался способ, предложенный в работе [129]. Средний за сутки сток нефтяных углеводородов (НУ) р. Днепр в Днепровско-Бугский лиман по-

лучен по зависимости, имеющей коэффициент корреляции 0,94 ± 0,02

$$R_{pi} = 0{,}0372Q_i - 1{,}865, \qquad (8.2)$$

где R_{pi} – суточный сток (т/сут) НУ у нижней границы дельты р. Днепр; Q_i – среднесуточный расход воды р. Днепр в створе Каховской ГЭС ($м^3/с$), соответствующий (с учётом «времени добегания») срокам определения концентрации в устьях рукавов р. Днепр.

Таблица 8.13

Сток загрязняющих веществ в расчётных створах, т/год

Створ		Загрязняющее вещество							
		НУ	Фенолы	СПАВ	ДДТ	ДДЭ	ДДД	α-ГХЦГ	γ-ГХЦГ
р. Днепр		12690	84,6	935	0,13	0,20	0,02	0,02	0,33
р. Юж. Буг		993	6,32	56	0,002	0,001	0,001	0	0,010
р. Ингул		82,5	0,62	6,4	0,001	0	0	0	0,001
р. Ингулец		52,8	0,46	6,2	0,002	0,001	0	0,001	0,001
Всего*		13766	92	998	0,13	0,20	0,02	0,02	0,34
Кинбурнский пролив	П	20406	82,3	813	0,05	0,20	0,02	0,01	0,10
	О	4704	19,0	187	0,01	0,05	0,01	0,001	0,02
	Р	15703	63,3	625	0,04	0,15	0,02	0,005	0,07

*Примечание: * – сток ЗВ р. Ингулец не включен в суммарный речной сток, т.к. учитывается в створе у НГД р.Днепр; П, О, Р – прямой, обратный и результирующий перенос ЗВ через Кинбурнский пролив.*

Среднее отклонение, рассчитанных по зависимости (8.2) значений суточного стока НУ р. Днепр от измеренных, составляет 0,5 т/сут или 2 % от среднесуточной величины. Чем больше расход воды, тем меньше различие между измеренными и рассчитанными величинами стока веществ. При малых расходах воды, когда в устьевые водотоки может поступать вода из лимана, теснота связи (8.2) между стоком НУ и расходом воды уменьшается из-за менее точного определения концентрации НУ. Обеспеченность методики – 94 %.

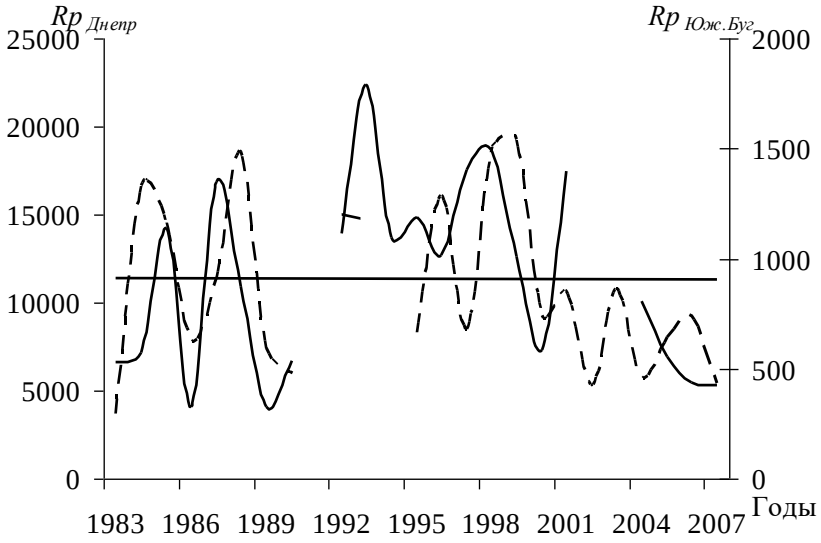


Рис. 8.31. Изменчивость среднего за год стока нефтяных углеводородов реками Днепр (——) и Южный Буг (- - - -)

Аналогичная зависимость применима и для расчёта суточного стока НУ р. Юж. Буг (R_{pi}) в Днепровско-Бугский лиман [129] по среднему суточному расходу воды этой реки у пгт Александровка (Q_i). Она имеет коэффициент корреляции 0,87 ± 0,02, обеспеченность 89 % и вид

$$R_{pi} = 13{,}0 \cdot 10^{-7} \, (Q_i + 136)^{12{,}6} \cdot \exp\,[-0{,}038(Q_i + 136)]. \qquad (8.3)$$

При получении зависимостей (8.2) и (8.3) учитывалось время добегания от гидрометрических створов, где измерялся расход воды (Каховская ГЭС, пгт Александровка), до створов на границах раздела река – лиман, в которых отбирались пробы воды для определения концентрации веществ (рис.8.1). Среднее время добегания от вершины устьевой области р. Днепр до нижней границы дельты составляло 1 сутки, от вершины устьевой области р. Юж. Буг до нижней границы устьевого участка реки – около 9 суток.

Применение зависимостей (8.2), (8.3) допустимо при отсутствии значимых тенденций в изменениях концентрации НУ, в диапазоне значений составляющих, приведенном в табл. 2.1, 8.5.

Зависимости (8.2), (8.3) использовались для анализа внутригодовой изменчивости стока веществ (например, нефтяных углеводородов). Ежемесячный сток НУ рек Днепр и Юж. Буг в Днепровско-Бугский лиман, осреднённый за многолетний период, представлен на рис. 8.32.

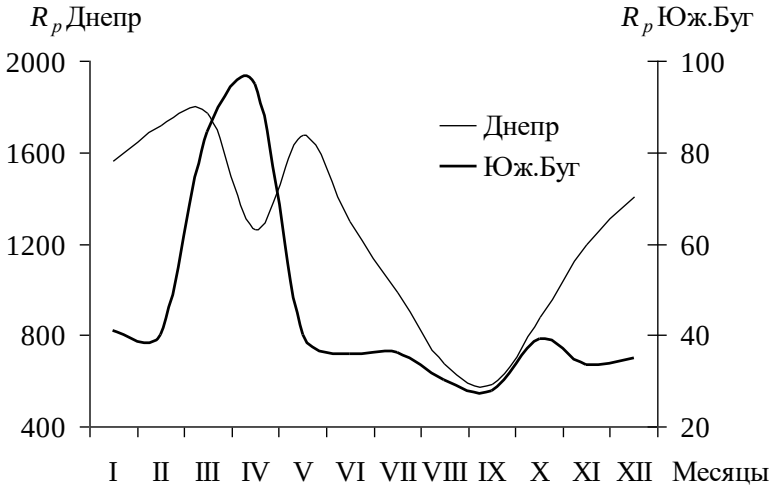


Рис. 8.32. Ежемесячный сток НУ (R_p , т/мес) в лиман

Несмотря на то, что в последние 15 лет наметилось уменьшение концентрации ЗВ, и сток их в лиман с 1996 г. уменьшается, характер внутригодового хода стока ЗВ (рис. 8.32) аналогичен сезонным изменениям стока рек (рис. 2.2), т.е. очевидна зависимость выноса ЗВ от стока воды рек.

Следовательно, чем меньше масштаб осреднения составляющих стока ЗВ, тем больше его величина зависит от водоносности рек.

Для сравнения стока загрязняющих веществ в лиман различными реками рассчитан удельный сток или модуль стока ЗВ (табл. 8.14). Его величина пропорциональна площадям водосбора и стоку растворённых веществ.

Из табл. 8.14 и рис. 8.33 видно, что наибольший вклад в сток ЗВ вносят НУ и СПАВ. Нефтяные углеводороды преобладают в выносе всех рек. Причём, их доля в суммарном стоке ЗВ в створе Кинбурнского пролива больше, чем на границах река – лиман, из-за повышенной загрязнённости воды лимана этими токсичными веществами (разд. 8.3).

Таблица 8.14

Модуль стока ЗВ в расчётных створах, т/км^2·год

Створ	Загрязняющее вещество							
	НУ	Фенолы	СПАВ	ДДТ	ДДЭ	ДДД	α-ГХЦГ	γ-ГХЦГ
р. Днепр	0,025	0,0002	0,002	0	0	0	0	0
р. Юж. Буг	0,016	0,0001	0,001	0	0	0	0	0
р. Ингул	0,008	0,0001	0,001	0	0	0	0	0
р. Ингулец	0,004	0,00003	0,001	0	0	0	0	0

Нулевые значения модуля стока ХОП в табл. 8.14 свидетельствуют о том, что указанных пестицидов с каждого км^2 площади бассейна смывается менее 1 г, а иногда и 1 мг в год.

Исследования [126, 123] свидетельствуют о значительной загрязнённости речных вод НУ не только в растворённой и эмульгированной форме, но и в виде нефтяных плёнок, которые увеличивают содержание НУ в пробах, отбираемых в поверхностном слое воды. Предполагаемое наличие нефтегазоносных площадей (разд.1.2), повышенный уровень загрязнённости воды НУ в современный период, а также намечающаяся разработка нефтяных месторождений на шельфе, транспортировка нефти в Европу морским путём делают актуальным вопрос об эффективном и оперативном контроле загрязнённости воды, который возможен только с применением спутниковых наблюдений, что позволит проводить мониторинг нефтяного загрязнения на современном уровне и уточнить составляющие баланса нефтепродуктов на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг и в Чёрном море.

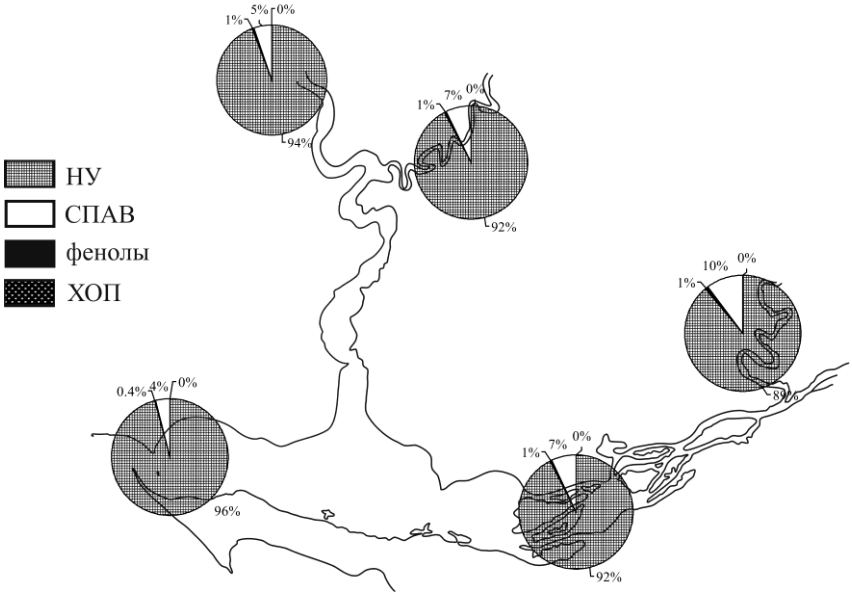


Рис. 8.33. Структура выноса загрязняющих веществ

Комплекс ранее рассмотренных причин (разд. 8.3), способствует тому, что, в отличие от стока ГЭБЦ (рис. 8.29), вынос НУ оказывает бóльшее влияние на открытую часть устьевого взморья, чем на лиман (рис. 8.34). Для остальных ЗВ наибольшее влияние на Днепровско-Бугский лиман оказывает сток фенолов, СПАВ и ХОП р. Днепр, поступление всех ЗВ через Кинбурнский пролив, вынос их реками Юж. Буг, Ингул и Ингулец. Поступление НУ в лиман с обратным потоком через Кинбурнский пролив превышает суммарный вынос НУ реками Юж. Буг, Ингул и Ингулец в 4 раза и меньше стока нефтяных углеводородов р. Днепр в 2,7 раз (табл. 8.13, рис. 8.34).

Таким образом, сток НУ и ГЭБЦ устьеобразующими реками играет существенную роль в формировании гидрохимического режима Днепровско-Бугского лимана и прилегающей открытой части устьевого взморья. Для более достоверной оценки стока растворённых веществ на устьевое взморье необходимо учитывать не только их поступление в Днепровско-Бугский лиман, но и сток через Кинбурнский пролив.

Недоучёт трансформации растворённых веществ в Днепровско-Бугском лимане при оценках приходной части баланса ГЭБЦ и ЗВ в северо-западную часть Чёрного моря может приводить к существенным ошибкам (табл. 8.15).

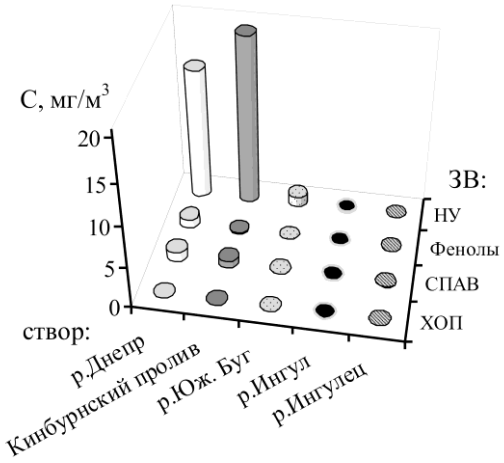


Рис. 8.34. Удельная нагрузка годового стока ЗВ (С, мг/м^3) на 1 м^3 поверхностного слоя воды устьевого взморья

Данные таблицы 8.15 показывают насколько отличается приход веществ в морской район устьевого взморья (рис. 1.3), рассчитанный в створе Кинбурнского пролива (результирующая составляющая баланса), от этой же характеристики, но рассчитанной как суммарный сток рек у нижних границ устьевых участков рек Юж. Буг, Ингул и у НГД р. Днепр (включая сток р. Ингулец).

Таблица 8.15

Средние ошибки при расчёте приходной составляющей баланса веществ открытой части устьевого взморья рек Днепр и Юж. Буг, %

Растворённые вещества										
фосфаты	фосфор общ.	азот аммон.	азот нитрит.	азот нитрат.	азот общий	кремний	НУ	фенолы	СПАВ	ХОП
133	93	22	102	324	31	83	-12	45	60	154

Из табл. 8.15 видно, что при игнорировании обмена веществами через Кинбурнский пролив балансовая составляющая будет завышена 22 – 324 % (кроме НУ, вынос которых будет занижен на 12 %).

ГЛАВА 9
УСТЬЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Впадение рек Днепр и Юж. Буг в Днепровско-Бугский лиман сопровождается комплексом сложных гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических процессов, обусловленных взаимодействием вод различного генезиса (речных, лиманных, морских, озёрных и плавневых) в многоструктурном морском устье лиманно-дельтового типа (разд. 1.1). Кроме того, на устьевые участки рек поступают воды р. Ингул и р. Ингулец, а на открытое устьевое взморье – вода из Березанского лимана. В водную среду морского устья также сбрасываются сточные воды. До настоящего времени процессы формирования режима морского устья рек Днепр и Юж. Буг остаются наименее изученными, ввиду их сложности и многофакторности. И если общие сведения об устьевых процессах довольно широко представлены в литературе [7], то целенаправленные и глубокие исследования специфических процессов, присущих морскому устью рек Днепр и Юж. Буг, ограничены, в основном они проводились Лабораторией устьев рек МО УкрНИГМИ в 70 – 80-е годы прошлого века и заключались в натурных наблюдениях за проникновением осолонённых вод в водотоки устья и обменными процессами через Кинбурнский и Сакенский проливы, а также изучением тепловых и ледовых процессов в морском устье рек [80, 139, 144].

Факторы, обусловливающие устьевые процессы, подразделяются на климатические, речные, морские, рельефные и антропогенные, их взаимосвязь обеспечивает комплексность и разнообразие этих процессов. Это усложняет анализ, затрудняет применение методов гидродинамических расчётов, разработанных для водных объектов с более однородным распределением гидрофизических характеристик в пространстве и во времени. Несмотря на это разнообразие, основным фактором в развитии всех устьевых процессов является сток р. Днепр и, в меньшей степени, рек Юж. Буг, Ингул, Ингулец, Березань и Сосик. Главенствующая роль речного стока во многих устьевых процессах позволяет использовать его в качестве основного предиктора при анализе отдельных сторон режимоформирующих устьевых процессов [7].

Действие речных факторов – стока воды, тепла, наносов и рас-

творённых веществ, уровня воды в реке, ледовых явлений, биологических пресноводных компонентов – зависит от величины речного стока и его транспортирующей способности. Речной сток является одним из основных устьеобразующих факторов, от его величины зависит степень влияния реки на устьевое взморье, тип смешения и стратификации вод, дельтообразование, перераспределение стока воды в устьевых рукавах, обменные, тепловые, ледовые, гидрохимические и гидробиологические процессы. Влияние на морское устье морских и антропогенных факторов также связано с речным стоком. Климат и рельеф являются «фоновой» основой, на которой развиваются те или иные процессы.

В рамках данного раздела основное внимание уделено отдельным аспектам наиболее изученных процессов: взаимодействия и смешения вод, проникновения солёных вод в водотоки, перераспределения стока в устьевых рукавах р. Днепр, а также морфологическим и обменным процессам. Тепловые и ледовые процессы рассмотрены подробно в работе [80]. Основной акцент сделан на роли стока устьеобразующих рек и подходах к количественным оценкам отдельных составляющих этих процессов.

9.1. Взаимодействие и смешение вод

На устьевом взморье взаимодействие, смешение, перемешивание разнородных водных масс, обусловливающие распределение воды, тепла и веществ, можно представить в виде однонаправленного движения, т.е. адвекции и трёхмерного процесса рассеивания, который обусловлен компонентами турбулентного потока (турбулентной диффузией). Таким образом, смешение вод происходит путём конвективного, турбулентного перемешивания, а также посредством диффузии.

В различных районах морского устья рек Днепр и Юж. Буг преимущественно преобладают разные процессы: часть вод перемещается практически без смешения с нижележащими более плотными слоями, а другая часть – активно перемешивается. В зоне максимального влияния речного стока превалирует адвекция, однородная водная масса перемещается к морю. Эта зона граничит с бóльшей по

объёму зоной смешения вод, где основным процессом является диффузия.

В зависимости от сочетания гидрометеорологических факторов в различные периоды может наблюдаться различный тип перемешивания вод: хорошее, когда речной сток заполняет почти всё взморье или, наоборот, он очень мал и взморье заполняется осолонённой водой (при этом отмечается существенное ветровое перемешивание); умеренное, наблюдающееся при прямом потоке в поверхностном слое и обратном – в придонном, штилевой и маловетреной погоде и наличии слоя скачка плотности. Первый тип перемешивания на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг бывает непродолжительное время, второй – преобладает. При этом вдоль судоходного канала перемещается клин солёной воды, который выражен большую часть года (разд. 5.3, 5.4).

Гидрофизический процесс смешения разнородных вод сопровождается разбавлением растворённых веществ, седиментацией взвесей, сложными гидрохимическими и гидробиологическими процессами. Эти особенности характерны для зоны смешения [2].

Положение зоны смешения зависит от соотношения распреснённых и осолонённых вод, её границы подвержены кратковременным, сезонным, годовым и многолетним изменениям. На рис. 9.1 показан преобладающий вид этой зоны вдоль продольной оси Днепровского лимана при среднем многолетнем стоке рек и средних гидрометеорологических условиях.

Область взаимодействия и смешения вод на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг неоднородна и имеет сложную структуру (рис. 9.1), в которой можно выделить 5 характерных областей. Первая – зона адвекции, в которой преобладает горизонтальный перенос пресных вод. Между фронтальным разделом (3) и первой областью расположена область смешения лиманных вод с речными. Здесь отмечается более активное перемешивание, чем в областях 1 и 3.

Утверждение, что именно во фронтальной зоне (3) происходит наиболее активное смешение речных и морских вод, высказанное в работе [136], является спорным и не подтверждается натурными данными. Наоборот, устойчивость фронтальных разделов на устьевых взморьях и исследования различных авторов [66, 137] свидетельствуют о том, что перемешивание и смешение в пикноклине за-

труднено и если есть, то это, вероятно, молекулярная диффузия в тонких пограничных слоях. По наблюдениям автора работы [66] в зоне фронтов выражена конвергенция течений, фронты, обладая большой подвижностью, перемещаются на значительные расстояния, без активного перемешивания водных масс, сохраняя значительные градиенты параметров среды.

Мористее, за фронтальным разделом (четвёртая область), осолонённые лиманные воды смешиваются с более солёной водой открытой части устьевого взморья, поступающей с обратным потоком в Днепровско-Бугский лиман из области 5 (рис. 9.1).

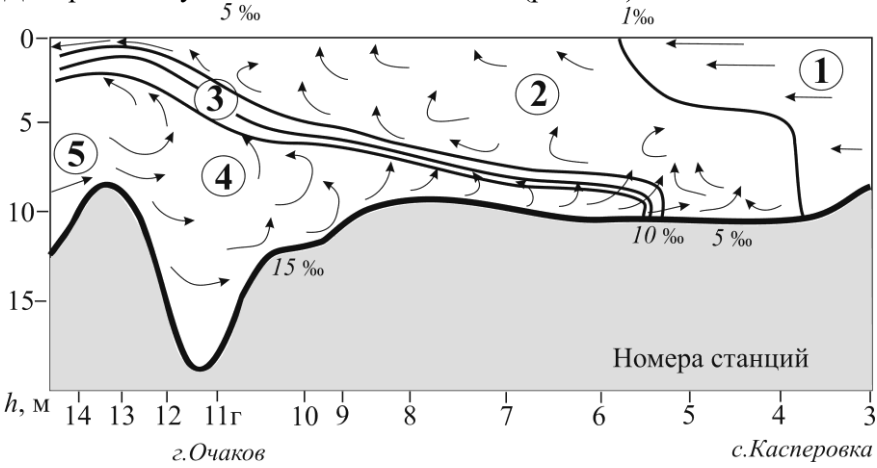


Рис. 9.1. Структура зоны взаимодействия и смешения на устьевом взморье рек Днепр и Юж. Буг

Области: 1 – адвекции пресных вод; 2 – смешения распреснённых вод; 3 – фронтального раздела; 4 – смешения осолонённых вод; 5 – адвекции солёных вод

Соотношение объёмов указанных областей можно оценить количественно. На основе натурных наблюдений полуэмпирическим методом получены уравнения (9.1), (9.2) позволяющие приближённо рассчитать объёмы области адвекции и смешения в зависимости от среднего годового расхода воды р. Днепр у Каховской ГЭС.

Таким образом, средний годовой объём первой области равен

$$W_a = -2 \cdot 10^{-7} Q^2 + 17 \cdot 10^{-4} Q - 0{,}59, \quad (9.1)$$

а суммарный объём областей 2 – 4, в пределах закрытой части устьевого взморья (разд. 1.1)

$$W_m = -3 \cdot 10^{-7} Q^2 + 25 \cdot 10^{-4} Q - 0{,}86. \quad (9.2)$$

Здесь W_a – объём зоны адвекции пресных вод, км^3; W_m – объём зоны смешения (области 2 – 4), км^3; Q – расход воды р. Днепр у Каховской ГЭС, м^3/с. При среднем расходе воды, равном 1340 м^3/с, W_a составит около 1,3 км^3, а W_m – около 2,0 км^3. При этом принималось, что в годовом масштабе осреднения влияние сгонов и нагонов на изменение указанных объёмов взаимно нивелируется, поэтому результат близок к полученному ранее (разд. 5.4) по формуле (5.12).

При повышенной водности года, например, при среднем годовом расходе воды р. Днепр, достигавшем в 1970 г. 2600 м^3/с, Днепровско-Бугский лиман в среднем опреснился на 74 %. При низкой водности года (например, в 1984 г. средний расход воды был равен 780 м^3/с) опреснению подверглось всего 18 % объёма лимана. Почти полное распреснение Днепровского лимана возможно при среднем годовом расходе воды более 4000 м^3/с.

Количественной оценкой вклада процессов адвекции и смешения во взаимодействие разнородных вод в Днепровско-Бугском лимане может служить коэффициент смешения (n), равный отношению W_a / W_m и определяемый для годового интервала по уравнению

$$n = 2 \cdot 10^{-10} Q^3 - 6 \cdot 10^{-7} Q^2 + 12 \cdot 10^{-4} Q - 0{,}47. \quad (9.3)$$

Средний за период с 1961 г. по 2009 г. коэффициент смешения равен 0,7. В Днепровско-Бугском лимане зона адвекции занимает в среднем 39 %, зона смешения – 61 %.

Процессы смешения вод в морском устье рек взаимосвязаны с другими устьевыми процессами, особенно с обменом между отдельными его частями и с процессом проникновения солёных вод в устьевые водотоки.

9.2. Проникновение солёной воды

Проникновение солёной воды в морское устье рек Днепр и Юж. Буг вызывает осолонение водных объектов устья, донных отложений, почв, грунтов и грунтовых вод, негативно влияет на пресноводную флору и фауну, иногда достигает водозаборов, расположенных на р. Юж. Буг и р. Днепр у г. Херсона.

В результате интрузии солёных вод изменяется и гидрологический режим. Градиенты плотности в галоклине препятствуют водо- и теплообмену, обмену веществами и гидробионтами и способствуют осадконакоплению на границе раздела разнородных водных масс, усиливается стратификация вод, особенно в судоходном канале, что способствует сероводородному заражению.

Исследование проникновения солёной воды в водотоки устьев рек проводятся с 50-х годов прошлого века, и эти процессы рассмотрены в ряде работ, из которых выделяются статьи Shijf J.B, Shonfeld J.C., Михайлова М.Н., Морозова В.Н., Повалишниковой Е.С., Лупачёва Ю.В., Скриптунова Н.А., Думнова С.В., Русина И.Н., Тимофеевой И.В., Тимченко В.М. и др. [7, 25, 138 – 140]. Однако указанные работы, в основном, не относятся к рассматриваемому устью рек, отражают отдельные аспекты процесса проникновения солёной воды, в них рассматриваются различные расчётные методы.

Анализ проникновения солёной воды в морское устье рек Днепр и Юж. Буг выполнен на основе многолетних (1977 – 2009 гг.) материалов наблюдений Лаборатории устьев рек СО ГОИН (МО УкрНИГМИ) и Николаевского ЦГМ, полученных при проведении стандартных (разд.1.6) и специальных наблюдений в морском устье рек Днепр и Юж. Буг [7]. В основном, специальными материалами наблюдений за проникновением солёной воды обеспечен сезон лето – начало зимы, когда расход воды рек минимален, преобладал штиль, умеренный и слабый ветер переменных направлений, бризы, отмечался слой скачка.

Решающими факторами, обусловливающими проникновение солёной воды в устье, являются: низкий сток рек, солёность устьевого взморья, ветер, испарение, давление, температура воздуха, изменяющие градиенты уровня и плотности воды. Мероприятия по улучшению судоходства (например, дноуглубление), гидротехниче-

ское строительство и регулирование стока рек также сказываются на развитии процессов проникновения пикноклина (галоклина).

По данным стандартных многолетних натурных наблюдений в морском устье рек Днепр и Юж. Буг клин солёной воды присутствует большую часть года, носит установившийся характер [7] и смешается вдоль судоходного канала в лимане в зависимости от гидрометеорологических условий, в основном при изменении стока р. Днепр (рис. 9.2).

Межгодовая изменчивость характеристик проникновения галоклина обусловлена многолетними изменениями стока рек, особенно изменчивостью меженного стока, тепловыми условиями года. Проникновение солёных вод активизируется при наступлении цикла маловодных лет, повышенном испарении на устьевом взморье, значительном прогреве речных или охлаждении морских вод.

При больших сбросах из водохранилищ, например, в период половодья или паводков, галоклин вытесняется в западный район лимана, при малых – перемешается к границам устьевых участков рек.

Суточное и недельное регулирование сбросов каскада днепровских ГЭС также отражается на динамике галоклина. Резкое уменьшение попусков ГЭС, когда за 1 – 2 сут расход воды уменьшался в 3 – 5 раз, приводит к быстрому развитию процесса интрузии, галоклин продвигается вверх по течению на 5 – 10 км от устья рук. Рвач.

Особая устьевая циркуляция (разд.2.3) способствует устойчивой стратификации температуры, солёности воды и др. характеристик режима, формированию системы противотока и сохранению «пульсирования» галоклина вдоль осей лимана. Причины краткосрочных «пульсаций» галоклина те же, что и краткосрочных изменений уровня, течений и солёности воды (разд. 2.1, 2.3, 5.3).

При развитии нагона, в глубоководной и узкой (80 – 100 м) части судоходного канала ветро-волновое перемешивание вод затруднено, так как оно охватывает только мелководную часть взморья, не проникая глубже половины длины волны. В этом случае в верхнем слое воды в лиман поступает довольно перемешанная водная масса, а по каналу перемещается клин солёной воды. При этом в поверхностном слое могут формироваться обратные течения, обусловленные нагоном, ниже – компенсационный поток, направленный в море, а в канале может наблюдаться перемещение галоклина в сторону реки.

Нередко трёхслойная циркуляция вод отмечалась вдоль судоходного канала Днепровско-Бугского лимана. В разной стадии нагона и при различном сочетании гидрометеорологических условий может развиваться как двухслойная, так и однослойная циркуляция вод.

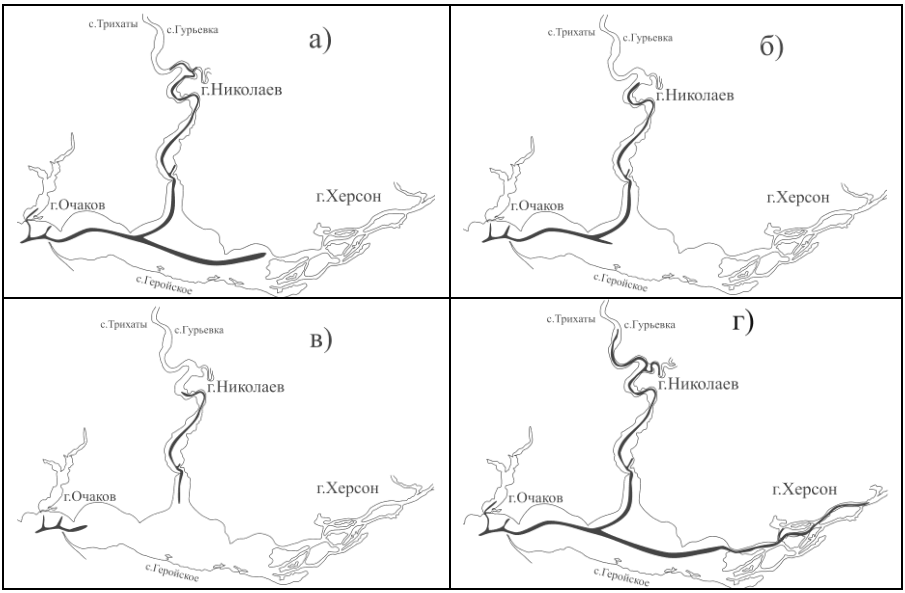


Рис. 9.2. Особенности проникновения галоклина в морское устье рек Днепр и Юж. Буг при среднем (а), повышенном (б, в) и пониженном (г) стоке рек и средних многолетних метеорологических условиях

При сильных сгонах и стратификации вод, в придонном слое воды развивается компенсационный поток, под действием которого, усиливаясь плотностными течениями, галоклин проникает в устьевые водотоки на значительные расстояния, особенно в период маловодья. Поэтому в рассматриваемом устье рек нередко при повышенном стоке р. Днепр галоклин распространяется вдоль канала в устье р. Юж. Буг. Эта особенность, не характерная для морского устья р. Дунай [7, 141], обусловлена тем, что пропускная способность Кинбурнского пролива ограничена, при высоком стоке р. Днепр и сильном сгоне развивается «компенсационный нагон» и в придон-

ном слое солёная вода проникает на устьевой участок р. Юж. Буг, а иногда и в устьевые рукава р. Днепр.

Таким образом, механизм проникновения галоклина в устье рек можно схематизировать, выделив несколько основных причин этого процесса: 1) уменьшение стока р. Днепр; 2) «компенсационный нагон» (после сильного сгона или попуска (гл. 2); 3) сильный нагон; 4) сочетание указанных факторов. Масштабы воздействия ветрового нагона на дальность распространения галоклина в устьевые рукава р. Днепр могут быть меньше, чем при уменьшении стока и «компенсационном» нагоне. Сам по себе нагон реже вызывает устойчивое проникновение галоклина в рук. Рвач, т.к. сильный нагонный ветер способствует перемешиванию воды в лимане и в устьевые рукава поступает менее стратифицированная, чем в галоклине, осолонённая вода. В этих случаях она поступает по всей толще и не только в рук. Рвач, но и рукава Бакай и Конка. Ослабление или прекращение действия нагонного ветра способствует довольно быстрому вытеснению солёной воды из устьевых водотоков. Влияние указанных факторов может проявляться одновременно или последовательно. Наиболее активное проникновение солёной воды бывает при одновременном резком уменьшении стока р. Днепр и сгоне, что способствует активизации в придонном слое обратного потока.

В устьевые водотоки р. Днепр и в р. Юж. Буг проникает вода из открытой части устьевого взморья (морского района, рис. 1.3), в какой-то степени смешанная с водой Днепровско-Бугского и даже Березанского лиманов (солёностью 12 – 15 ‰) или почти неизменённая вода из северо-западной части Чёрного моря (имеющая солёность у Кинбурнского пролива 17 – 18 ‰), компенсирующая постоянный отток распреснённой воды из Днепровско-Бугского лимана. Судоходный канал ограничивает растекание и смешение солёной воды, способствует её продвижению и разветвлению обратного потока на два клина (рис. 9.2), которые перемещаются к НГД р. Днепр и к НГУУР Юж. Буг (рис. 9.2, а). При более высоком стоке р. Днепр проникновение солёной воды обычно наблюдается только вдоль судоходного канала г. Очаков – г. Николаев и не распространяется к НГД р. Днепр (рис. 9.2б), за исключением отдельных случаев, когда развивается компенсационный нагон и галоклин приобретает вид, как на рис. 9.2а. Также при повышенном стоке рек Днепр и Юж. Буг

отмечаются ситуации, когда галоклин в Бугском лимане автономизируется, так как из Днепровского лимана он вытесняется в его западную часть или за пределы Кинбурнского пролива (рис. 9.2в). В этом случае сток р. Днепр обычно бывает существенным и «подпирает» водную массу Бугского лимана, способствуя распространению в нём галоклина по направлению к НГУУР Юж. Буг и р. Ингул или его «застаиванию» в глубоководной части Бугского лимана. Распространению галоклина на устьевые участки рек Днепр, Юж. Буг и Ингул способствует низкий сток рек (рис. 9.2г). В этом случае при нагоне поверхностной воды из восточного района Днепровского лимана солёная вода (более 1 ‰) проникает не только в судоходные рукава Рвач и Забич (рис. 2.7), но и в другие рукава р. Днепр. Осолонение иногда фиксировали в рукавах Ольховый Днепр и Кошевая, в районе г. Херсона, а также на устьевом участке р. Днепр. Из-за недостатка натурных данных вопрос перемещения галоклина в устьевых рукавах р. Днепр до сих пор остаётся слабоизученным.

Натурные исследования проникновения галоклина в Бугскую и Днепровскую части устья показали, что процесс проникновения на устьевые участки рек Юж. Буг, Ингул и в водотоки р. Днепр имеет как общие черты, так и свои особенности (рис. 9.2, 9.3). Эти особенности в основном обусловлены различиями в воздействии на устьевое взморье стока рек Днепр и Юж. Буг. Бóльшее влияния днепровского стока на устьевое взморье затрудняет проникновение солёной воды к НГД р. Днепр, в то время, как в Бугском лимане сопротивление обратному потоку меньше и в канале преобладают течения, направленные к НГУУР Юж. Буг и Ингул (рис. 2.23, 2.24). Поэтому повторяемость подхода галоклина к НГД р. Днепр составляет 63 %, а к НГУУР Юж. Буг – 94 %. При этом солёность воды в поверхностном слое у НГД р. Днепр достигает 1 ‰ только в 13 % случаев, а у НГУУР Юж. Буг и Ингул – в 86 % от всех случаев.

По материалам наблюдений повторяемость проникновения солёной воды в рук. Рвач составляла 30 %, Бакай – 3 и Конка – 1 %. Сравнительно большой сток рукавов Бакай и Конка, а также мелководность устьевых участков этих рукавов и отсутствие каналов препятствуют проникновению галоклина.

На устьевые участки рек Юж. Буг и Ингул галоклин проникал значительно чаще – осолонение здесь бывает в 80 % случаев, но в

район с. Гурьевка (рис. 9.3) клин солёной воды поступал с повторяемостью 2 – 3 %. В межень повторяемость проникновения значительно возрастает.

На рис. 9.3 показано проникновение солёной воды в разные периоды года при низком стоке р. Днепр, одинаковых ветровых условиях и одинаковой солёности воды у Кинбурнского пролива ($S_{Кинбурн}$) и НГД. В рассматриваемых ситуациях отличается расход рек: весной 1987 г. (рис. 9.3б) водоносность р. Днепр была меньше, чем летом 1992 г. (рис. 9.3б), а весенний расход воды р. Юж. Буг наоборот был больше летнего.

Кроме того, весной градиент температуры между речной и морской водой был меньше (3 – 4˚С), чем летом, когда он достигал 12 – 14 ˚С. Следовательно, плотностной градиент в 1992 г. (рис. 9.3б) был больше, чем в период съёмки в 1987 г. (рис. 9.3а). Но, при меньшем расходе воды р. Днепр (1987 г.) галоклин продвинулся в устьевые рукава р. Днепр на 26 км от НГД и на устьевой участок р. Юж. Буг – на 12 км от НГУУР Юж. Буг. При увеличении расхода воды р. Днепр всего на 102 м^3/с клин в рук. Ольховый Днепр располагался ниже на 7 – 8 км (18 км от НГД), а на устьевом участке р. Юж. Буг продвинулся выше на 16 км (28 км от НГУУР Юж. Буг).

Для оценки роли стока р. Днепр (Q) в перемещении галоклина в водотоках морского устья рек получена зависимость $L = f(Q)$. Она носит неоднозначный характер и представлена на рис. 9.4.

Очевидно, что кроме стока р. Днепр (и, в значительно меньшей степени, р. Юж. Буг) существенное влияние на дальность проникновения галоклина L оказывают сгонно-нагонные явления, обусловливающие перекос уровня воды, а следовательно, активизацию прямого или обратного потока (гл. 2). При средних гидрометеорологических условиях (ветер 0 – 5 м/с) зависимости $L = f(Q)$ довольно тесные, как и при сгонах (ниже средней линии связи), а при нагонах (выше средней линии связи) – разброс точек больше, зависимости менее очевидны. Таким образом, дальность проникновения галоклина в водотоки морского устья является функцией двух переменных – $L = f(Q, J)$, где J – интенсивность изменения уровня воды в лимане.

В настоящее время из-за недостатка данных наблюдений за проникновением солёной воды в водотоки устья получить аналитическое выражение этой связи затруднительно. Вероятно, величину J

при накоплении достаточного количества натурных данных можно будет определить по данным водпоста в с. Касперовка, и получить зависимости, аналогичные, представленным на рис. 5.13 (разд. 5.4).

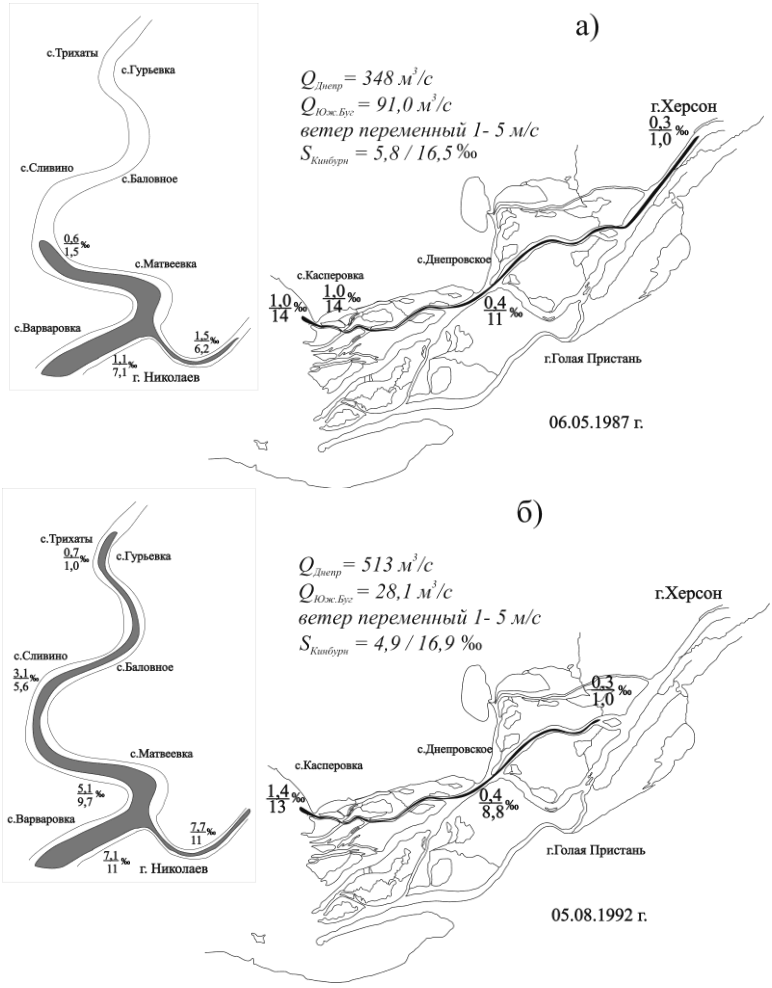


Рис. 9.3. Проникновение галоклина в устьевые водотоки весной 1987 г. и летом 1992 г. (в знаменателе солёность поверхностного, а в числителе – придонного слоя воды, ‰)

При среднем расходе воды р. Днепр галоклин, ограниченный солёностью 1 ‰, распространяется до НГД или проникает в рук. Рвач в среднем на 2 км от НГД. При расходе воды около 1600 $м^3/с$ галоклин практически не проникает в устьевые рукава р. Днепр.

Морфология Бугского лимана – наличие судоходного канала, глубоких котловин (10 – 16 м), незначительная ширина и значительная глубоководность (по сравнению с Днепровским лиманом) – во многом определяет особенности проникновения галоклина как в лиман, так и на устьевой участок рек Юж. Буг и Ингул. Проникновение солёной воды в бугский район морского устья и на устьевой участок рек Юж. Буг и Ингул в основном определяется водоносностью р. Днепр, роль стока р. Юж. Буг проявляется только в короткий период половодья. Но для того, чтобы галоклин не распространялся в р. Юж. Буг, расход воды р. Днепр должен превышать 2230 $м^3/с$ (при средних ветровых условиях). Поэтому при среднем многолетнем стоке рек клин солёной воды постоянно присутствует в придонном слое вдоль судоходного канала, продвигаясь в р. Юж. Буг на 10 – 11 км от НГУУР.

Максимальное распространение солёной воды в рук. Рвач ограничено 35 км, в р. Юж. Буг – 30 км. Это соответствует физико-географическим особенностям рассматриваемого морского устья, уклонам устьевых участков, глубинам, характеру водообмена между лиманами и прилегающей открытой частью устьевого взморья.

По данным специальных многолетних натурных наблюдений средняя толщина клина в рук. Рвач равна 6,0 м, продолжительность стояния – 3 час. (максимальная 10 час.), дальность распространения – около 12 – 13 км. На устьевой участок р. Юж. Буг проникает галоклин, средняя толщина которого составляет 8 м, продолжительность стояния – около 2,5 час. (максимальная 5 час.), а дальность проникновения – около 13 км, т.е. несколько больше, чем при среднем стоке рек.

Наибольшая солёность воды в галоклине в придонном слое устьевых водотоков достигала 14 – 15 ‰, в поверхностном – 8 – 9 ‰.

Значительное проникновение галоклина отмечается в межень, при расходе воды р. Днепр в пределах 130 – 700 $м^3/с$ и сгонных ветрах (5 – 8 м/с), что, очевидно, связано с развитием компенсационного нагона на фоне пониженного влияния стока р. Днепр. Например,

в сентябре 1982 г. галоклин распространился в рук. Рвач на 15 – 25 км, вертикальный градиент солёности достигал 6,3 ‰/м. В октябре 1984 г. солёность воды в рук. Рвач достигала 8,5 ‰, а галоклин распространился от НГД на 27,5 км. Наибольшая дальность проникно-

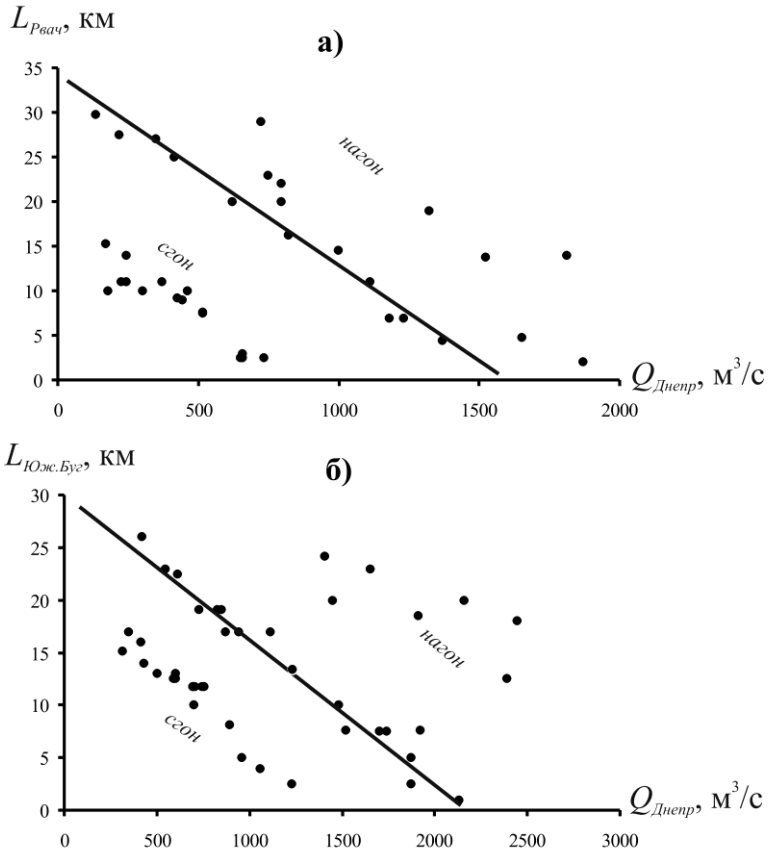


Рис. 9.4. Зависимость дальности проникновения галоклина в водотоки морского устья рек (L) от расхода воды р. Днепр у Каховской ГЭС ($Q_{Днепр}$)

вения солёной воды в устьевые водотоки р. Днепр, по данным натурных наблюдений, составляла около 30 км и отмечалась в период наполнения Каховского водохранилища, когда галоклин распространился выше г. Херсона. Экстраполяция зависимости $L = f(Q)$ в

область экстремальных значений (рис. 9.4а) показывает, что галоклин при средних метеорологических условиях и очень низком стоке р. Днепр может распространяться на расстояние 35 км от НГД.

В летний период, при ослаблении динамических факторов и большом испарении, солёность воды Бугского лимана больше, чем Днепровского, даже в его западной части, контактирующей с почти морскими водами. Более плотные и солёные воды, всегда присутствующие в его глубоководных и застойных частях, создают благоприятные условия для развития процессов проникновения на устьевые участки рек Юж. Буг и Ингул, особенно в условиях подпора днепровско-лиманными водами (разд. 2.3). При сгонных и нагонных ветрах, направленных как вдоль оси Днепровского, так и Бугского лимана, при уменьшении или увеличении стока р. Днепр происходит проникновение клина солёной воды по каналу Бугского лимана на устьевой участок р. Юж. Буг. Поэтому повторяемость проникновения галоклина в р. Юж. Буг и дальность его распространения такая же как и в устьевые рукава р. Днепр, несмотря на то, что уклон устьевого участка р. Юж. Буг почти в 3 раза больше, чем р. Днепр (разд. 2.2). По данным отдельных авторов галоклин на устьевом участке р. Юж. Буг может подниматься вверх по течению на 60 км – до района г. Новая Одесса. При определённых условиях солёная вода в придонном слое Бугского лимана распространяется в обе стороны – на север, в устье р. Юж. Буг и на юг, в Днепровский лиман.

Клин солёной воды у НГУУР Юж.Буг и Ингул (по данным специальных наблюдений) в 63 % случаев имел солёность более 3 ‰, а в 16 % случаев – более 10 ‰. Такие ситуации иногда наблюдались ежемесячно (например, с июля по ноябрь 1991 г.).

Для определения степени воздействия осолонения воды на отдельных участках водотоков рассчитана повторяемость и обеспеченность дальности распространения галоклина (рис. 9.5).

Участки, на которых исследовались процессы проникновения галоклина, примерно одинаковой длины: между с. Касперовка и г. Херсон 26 – 28 км и между г. Николаевом и с. Гурьевка около 28 км. В пределах каждого участка выделяется по 3 характерных района: сильного влияния (выше 75 %-ой обеспеченности), среднего (75 – 25 %-ой обеспеченности) и слабого (ниже 25 %-ой обеспеченности).

Используя указанные критерии, районирование водотоков по степени влияния на их режим галоклина, выполнено следующим образом. В рукавах Рвач, Забич и Ольховый Днепр сильное влияние галоклина отмечается на расстоянии менее 10 км от НГД, среднее – в пределах 10 – 20 км и слабое – выше 20 км вверх по течению рук. Ольховый Днепр. В тех же интервалах (менее 10 км, 10 – 20 км и более 20 км от НГУУР Южн. Буг) характеризуется степень влияния солёных вод при их проникновении на устьевой участок р. Южн. Буг.

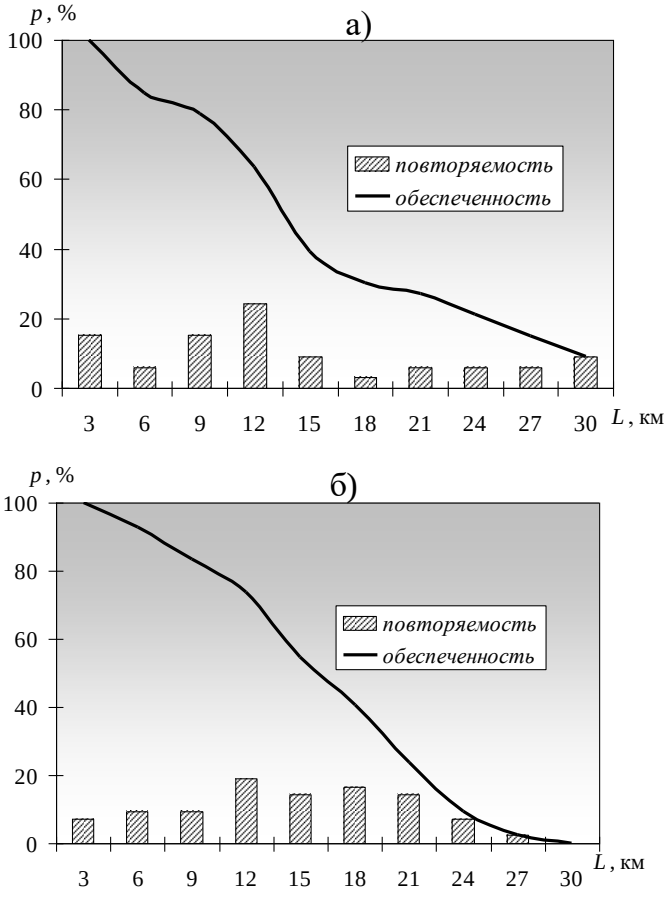


Рис. 9.5. Частота и обеспеченность (p, %) дальности проникновения галоклина (L, км) в рук. Рвач р. Днепр (а) и на устьевой участок р. Южн. Буг (б)

Близкие результаты получаются и при анализе квартилей [117]. При интрузии солёной воды в рукава р. Днепр чаще всего галоклин располагается не выше 7 км от НГД, в среднем проникает на 7 – 20 км, и в 25 % случаев может наблюдаться выше 20 км от НГД. На устьевой участок р. Юж. Буг солёная вода проникает приблизительно так же: в среднем галоклин обнаруживается на участке 8 – 18 км от НГУУР, зона его наиболее частого обнаружения ограничивается 8 км от НГУУР, в 25 % случаев его проникновение распространяется дальше 18 км от НГУУР Юж. Буг.

9.3. Перераспределение стока р. Днепр между рукавами

Распределение стока воды и содержащихся в ней веществ по устьевым рукавам р. Днепр (разд. 2.1) не всегда остаётся постоянным, изменяясь под влиянием природных и антропогенных факторов, происходит перераспределение стока между рукавами. В результате одни рукава отмирают, другие активизируются.

Сведения о перераспределении стока в рукавах р. Днепр необходимы для гидрологического обоснования гидротехнических, водохозяйственных мероприятий в регионе, для расчёта будущего гидрологического режима в случае зарегулирования стока, строительства каналов, дамб, водозаборов, сбросов и др. Перераспределение стока оказывает влияние на гидрологические и гидрохимические процессы в водных объектах, расположенных в дельте и прилегающей части взморья.

В результате взаимодействия реки, приёмного водоёма и русел водотоков происходят русловые деформации, которые являются основной причиной перераспределения стока воды между рукавами. При этом изменяются размеры водотоков, а значит и гидравлические сопротивления рукавов. Причиной перераспределения стока является изменение водоносности реки и уровня приёмного водоёма, затопление дельты.

Специальные натурные наблюдения для изучения процессов распределения и перераспределения стока по устьевым рукавам р.Днепр эпизодически выполнялись разными организациями с 1893 г., а с 1960 г. – НЦГМ и СО ГОИН (разд. 2.1) в разных створах (рис. 2.7).

Наблюдения за перераспределением стока воды р. Днепр между устьевыми рукавами по данным [52, 53] показывают, что эти процессы протекают медленно.

Отмелое устьевое взморье (Днепровско-Бугский лиман), ограничивающее влияние морских факторов на рукава р. Днепр, сглаживание размаха стока реки (в результате эксплуатации каскада днепровских водохранилищ и осуществления многолетнего и сезонного регулирования), незначительные уклоны (рис. 2.11) способствовали стабилизации процесса перераспределения стока воды между рукавами. Это подтверждают результаты расчёта перераспределения стока в современный период, выполненные в [52].

Сравнение данных, полученных Гринько Е.С. и Симовым В.Г. в [53], и данных за последние 30 лет (в условиях стабилизации работы каскада водохранилищ), приведенных в разд. 2.1, с результатами расчётов Потоцкого П.Н. для периода с 1893 по 1905 г. [142] показало, что распределение стока р. Днепр в устьевых рукавах отличается в пределах 2 – 3 %. Несколько возросла доля стока рук. Рвач и Бакай и уменьшилась доля стока рук. Конка (рис. 2.7, табл. 9.1).

На основе этих результатов авторами сделаны выводы, что процесс формирования русловой сети р. Днепр в пределах дельты, её нижней границы, происходит очень медленно и после сооружения днепровского каскада водохранилищ, процессы перераспределения стока р. Днепр в водотоках (разд. 2.1) практически не отмечаются, распределение стока по рукавам носит устойчивый характер [52, 53].

Однако выполненная указанными авторами оценка, как и сведения по этому вопросу, приведенные в работе Костяницына М.Н. [1], следует считать приближёнными, т.к. не учтено то обстоятельство, что в устьевые части рукавов (особенно рук. Рвач) довольно часто проникают осолонённые воды, в придонном слое (и даже в поверхностном) иногда отмечается обратный поток. Недоучет этого и допущение постоянства коэффициентов пропорциональности стока рукавов стоку р. Днепр в большом диапазоне расходов воды реки (400 – 6500 $м^3/с$ [53]) может приводить к искажению расчётных величин расходов воды в устьях рукавов.

Кроме того, произошли масштабные водохозяйственные мероприятия в бассейне р. Днепр, что привело к внутригодовому перераспределению стока воды и наносов в морское устье реки, умень-

шению максимального стока (разд. 2.1), затопления дельты. Мелкие протоки перестали существовать, отдельные участки подверглись обвалованию, проводятся дноуглубительные работы в судоходном канале рук. Рвач, осуществляется водозабор и др. Поэтому, утверждение о том, что многолетнего перераспределения стока в рукавах р. Днепр не происходит [52] не является достаточно обоснованным.

Таблица 9.1

Распределение стока р. Днепр по рукавам (%) в различные периоды

Название рукава	Период, средний расход воды ($м^3/с$) и источник			
	1883–1905, 1570, [142]	1930–1935, 2070, [1]	1960–1962, 1140, [1]	1965–1971,*) 1580, [52 / 53]
Забич	81,8	–	–	84,8 / 84,8
Рвач	32,4	–	–	34,3 / 34,5
Бакай	48,8	–	–	50,5 / 50,3
Конка	18,2	5,0	12,5	15,2 / 15,2
Серединка	0,61	–	–	–
Кошевая	–	2,5	7,6	5,20
Ольховый Днепр	–	66,0	42,6	– / 45,0
Старый Днепр	–	35,8	14,9	– / 15,0

*Примечание: *) – распределение принято в настоящее время, пересчитано по данным 1975, 1977 – 1979, 1981, 1984, 1986, 1987 годов.*

К тому же, в сравниваемые периоды (1883 – 1905 гг. и 1965 – 1971 гг.) сток р. Днепр был одинаковым, канал в рук. Рвач уже существовал, поэтому сходство в распределении расходов воды по рукавам, отмеченное в работе [53], может быть обусловлено идентичностью гидрометеорологических условий в эти периоды (табл. 9.1) и сравнительной устойчивостью русел рассматриваемых водотоков. При анализе всех имеющихся данных (табл. 9.1) обнаруживаются существенные различия в распределении стока по рукавам, что может свидетельствовать в пользу гипотезы о происходящем его перераспределении при изменении расхода воды. Например, в многоводный период (1930 – 1935 гг.) в рук. Ольховый Днепр поступало на 23 % больше днепровской воды, чем в маловодный (1960 – 1962 гг.). Существенные изменения долевого стока (в % от стока р. Днепр) отмечались в рук. Конка и Кошевая, что может быть связано с изменением их гидрографической сети и внутригодовым перераспределением стока р. Днепр (табл. 9.1).

Многолетнее и необратимое перераспределение стока р. Днепр, очевидно, происходит, т.к. русла рукавов выдвигаются в лиман, изменяется их глубина. Например, рук. Рвач удлинился на 1,3 км за последние 150 – 170 лет, его глубина в устье увеличилась в 4 раза, а рукав Бакай обмелел на 3 – 4 м и удлинился на 3,7 км. Однако эти изменения могут быть достаточно медленными, чтобы их достоверно установить на коротком промежутке времени, к тому же, в условиях недостатка натурных данных и теоретических исследований.

Изменчивость гидрографической сети и изменение размеров русел обусловливают перераспределение стока по рукавам. Например, отмирание небольших проток, ответвляющихся от рук. Конка, по которым её сток попадал в озёра, привело к тому, что доля её стока увеличилась по сравнению с 30-ми годами (табл. 9.1). Увеличение стока рук. Рвач (табл. 9.1), очевидно, является результатом дноуглубительных работ. Поддержание постоянных глубин в судоходном канале этого рукава препятствует его естественной эволюции и способствует стабилизации процессов перераспределения стока р. Днепр.

Таким образом, процессы перераспределения стока и морфологические процессы взаимосвязаны и взаимообусловлены: с одной стороны, причиной перераспределения стока являются русловые деформации, с другой, – перераспределение стока воды и наносов приводит к русловым деформациям. Устойчивость русел способствует замедлению процессов перераспределения стока.

9.4. Морфологические процессы

Проникновение в устье галоклина и перераспределение стока воды в рукавах р. Днепр обусловливают перемещение и перераспределение наносов, что влияет на аккумулятивно-эрозионные процессы. Характерной особенностью морского устья рек Днепр и Юж. Буг является небольшой сток речных наносов (гл. 3), значительное поступление материала разрушения берегов (разд. 1.2) и переотложение наносов, обусловленное не только природными факторами, но и реконструкцией судоходного канала, дампингом грунта, гидротехническим строительством и др.

Необходимость изучения и оценки морфологических процессов обусловлена практическими запросами – инженерные мероприятия,

расчёты и прогнозы при гидротехническом строительстве без учёта морфологических изменений водных объектов могут привести к негативным последствиям для природы, сооружений и человека. Активное разрушение некоторых участков берегов, заиление судоходного канала, строительство молов и др. требуют оценки влияния геоморфологических процессов на режим морского устья рек.

Исследования морфологических процессов в устье практически не осуществляются, эпизодически НЦГМ, СО ГОИН и институт «Укргипроводхоз» (в период с 1979 г. по 1990 г.) выполняли наблюдения за динамикой НГД р. Днепр и изменением Кинбурнской косы, но они носят ориентировочный характер.

Для устьевых участков рек Юж. Буг, Ингул и Ингугец типичны одноруканвные извилистые русла, с размывом вогнутых и намывом выпуклых берегов, а р. Днепр – пойменная многорукавность и относительная прямолинейность водотоков, особенно крупных. Небольшие излучины сформировались в боковых рукавах во внутренней дельте р. Днепр. Классификация берегов по преобладающим факторам воздействия приведена в разд. 1.2. Эрозия преобладает на правом берегу морского устья рек, аккумуляция – на левом. В дельте р. Днепр образования новых водотоков не происходит, превалирует отмирание небольших боковых рукавов.

Хозяйственная деятельность привела к изменению стока воды и наносов (гл. 2, 3), что отразилось на процессах дельтообразования, но установить это по натурным исследованиям затруднительно, т.к. они проводились эпизодически только в период зарегулированного стока р. Днепр. После сооружения каскада ГЭС на реках количество выносимых ими наносов значительно сократилось, уменьшилась скорость дельтообразования, практически дельта р. Днепр сейчас, если и изменяется, то незначительно. В то же время, водотоки р. Днепр мелеют, водоёмы заиливаются и зарастают, происходит переотложение наносов в тыловых частях дельтовых островов.

По литературным данным [3] дельта р. Днепр в процессе своего нарастания выдвигалась в Днепровский лиман со скоростью 30 – 150 метров в год. В XX в., а особенно после сооружения каскада днепровских ГЭС, темпы нарастания значительно снизились. Результаты наблюдений показали, что в настоящее время грунт дельты уплотняется и оседает (разд. 1.2). Нарастание дельты практически прекрати-

лось, а при сильных штормах западного направления она размывается. Однако нижняя граница дельты р. Днепр почти не изменяется.

Наблюдения за динамикой Кинбурнской косы свидетельствуют о плановых деформациях на некоторых участках, особенно в период штормовой активности. Под влиянием штормового волнения и изменения скорости течения в Кинбурнском проливе изменяется дистальный конец косы, замыкающей Днепровско-Бугский лиман.

Отсутствие качественных материалов наблюдений ограничивает знание о происходящих в морском устье морфометрических процессах. Поэтому анализ их отдельных аспектов выполнен на основе картографического материала, предоставленного Гидрографией Военно-Морского флота Украины им. Л.И. Митина, данных наблюдений Гидрометеослужбы Украины, а также других ведомств и личных наблюдений автора в период экспедиций. Использован картографический материал с 1836 г. по 2009 г., который для сравнения приведен к метрической системе измерений. Для анализа происшедших изменений привлекались также спутниковые снимки из архива МГИ НАНУ [94].

Обмеление акваторий и изменение конфигурации береговой линии характерно для берегов разного типа (рис. 1.11) и обусловлено не только природными, но и антропогенными факторами. Существенное влияние оказывает дампинг, способствующий изменению течений и транспорта наносов. Его широкое развитие (особенно вдоль судоходного канала) в акватории лимана и даже устьевых рукавах р. Днепр, как в прошлом, так и в настоящем, способствовало обмелению прилегающих акваторий. Искусственные сооружения тоже нарушают естественные процессы формирования берегов, глубин дна, необратимо изменяя их облик.

Аккумулятивные берега, сложенные рыхлыми, слабосвязанными отложениями, пойменные, затапливаемые (рис. 1.11), косы, пляжи и пр. являются наиболее деформируемыми образованиями. Они подвержены наибольшим, иногда разнонаправленным изменениям, как краткосрочным, так и долговременным.

Например, на рис. 9.6 показаны изменения, которые произошли за 174 года в различных частях устья рек Днепр и Юж. Буг.

Сравнение гидрографических материалов показывает, что рукава р. Днепр постепенно выдвигались в лиман, быстрее в южной части дельты, так как здесь скорость течения меньше и преобладает севе-

ро-восточный и северный перенос наносов. Мелководье (3-х метровая изобата) продвинулось за этот период весьма заметно. По оценкам ряда исследователей выдвижение дельты р. Днепр было неравномерным [3] и в среднем составляло: 0,5 км (1799 – 1814 гг.); 3,5 км (1814 – 1836 гг.); 1,7 км (1836 – 1895 гг.); 1,9 км (1895 – 1933 гг.). В последний период (1933 – 2009 гг.) по данным сравнительного анализа, дельта продвинулась в лиман на 0,6 км. Вероятно, сооружение водохранилищ и регулирование стока привело к замедлению этого процесса. Таким образом, выдвижение различных участков дельты за период с 1836 г. по 2009 г. составило 1 – 6 км (в среднем около 4 км).

В соответствии с выполненной реконструкцией вида морского устья рек Днепр и Юж. Буг в V – IV вв. до н.э. (разд. 1.6, рис. 1.26), в этот период на месте современной дельты реки преобладал озёрно-плавневый ландшафт, а дельта была сформирована выше по течению реки, её нижняя граница примерно совпадала с местом впадения в р. Днепр р. Ингулец. Следовательно, средняя скорость выдвижения дельты в Днепровский лиман могла быть равна 18 м в год, т.е. близка к средней за период с 1836 г. по 2009 г. (23 м в год).

Участок Бугского лимана, левый берег которого существенно изменился после строительства Днепро-Бугского порта, также показан на рис. 9.6. Портовые сооружения здесь занимают почти 1/3 ширины лимана. Видно, что косы на мысах со временем сглаживаются. И если глубины на фарватере, поддерживаемые дночерпанием, остаются постоянными, то изменения дна вне судового хода – существенны. Эволюция побережья в районе Кинбурнского пролива обусловлена сооружением острова Первомайский, перепланировкой Очаковского мыса при строительстве порта, повышенной динамикой оконечности Кинбурнской косы, регулированием стока р.Днепр. Как видно из рис. 9.6, дистальный конец косы изменил своё генеральное направление, промоина между островами заилилась, в «тени» о. Первомайский активизировалось отложение наносов (глубина уменьшилась на 5 м), изменились очертания Очаковского полуострова. За 174 года расстояние о. Березань – Кинбурнская коса увеличилось на 0,30 км, а Кинбурнская коса – мыс. Очаков уменьшилось на 0,14 км.

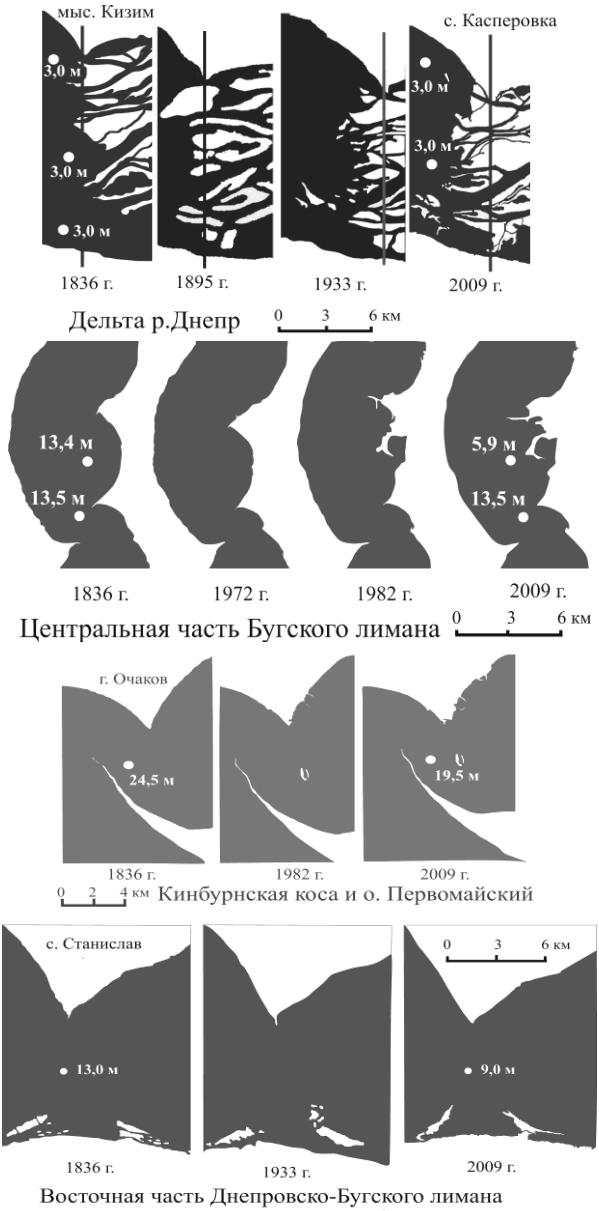


Рис. 9.6. Изменение конфигурации берегов и глубины в различных частях морского устья рек Днепр и Южный Буг

Таким образом, произошло смещение косы (на разных участках) на 5 – 30 ° по направлению в лиман. В длину коса увеличивается в среднем на 4,9 м/год, что близко к данным института «Укргипроводхоз», полученным в 1983 г. Вероятно, перемещение оконечности косы в лиман обусловлено тем, что после сооружения каскада водохранилищ поток воды и наносов, направленный из лимана к оконечности косы, уменьшился (особенно в период повышенной водности), а по направлению в лиман – увеличился.

Уменьшение напора лиманного потока на дистальный конец косы, которому также способствовало обмеление между о. Первомайский и косой, привело к усилению на неё отклоняющего воздействия волнения. Затопленные у оконечности косы суда также могли способствовать изменению конфигурации её дистального конца.

На фрагменте побережья в районе с. Станислав (рис. 9.6) видно, что коса на мысе Станислав со временем сглаживается, а комплекс островов Вербки – Янушев приобретает мысовидные очертания (особенно в подводной части). Очевидно, это результат воздействия устойчивой циркуляции вод. Как и в других частях морского устья, здесь отмечается обмеление взморья, потому что происходит затухание стоковых течений на мелководье южной части участка, а волнение и течения, обусловленные преобладающим северо-восточным ветром, тоже способствуют осадконакоплению у левого берега. Дополнительным источником отложений является дампинг грунта, который постепенно переносится в юго-западном направлении.

Аналогичные изменения типичны и для других районов морского устья. Характерные для речных участков процессы размыва вогнутых и намыва выпуклых берегов отмечаются и в отдельных частях устьевого взморья, что обусловлено действием стоковых течений (устьевых циркуляций) и соответствует общим законам гидродинамики. На устьевом взморье эти процессы усложняются под влиянием морских факторов.

Возможное будущее морского устья рек Днепр и Южный Буг, если указанные тенденции сохранятся, показано на рис. 9.7.

Возможно, что процесс заиления лимана при интенсификации роста уровня моря и опускания суши будет происходить иначе. Дноуглубительные работы в судоходном канале и дампинг грунта вдоль его бортов будут способствовать не только вторичному заилению

канала, но и обмелению прилегающей акватории, а также зарастанию мелководий. В отдалённой перспективе вероятно не только выдвижение дельты р. Днепр в Днепровско-Бугский лиман, но и выдвижение Кинбурнской косы в прилегающую часть моря, о чём свидетельствует уменьшение глубин в районе Одесской банки.

Указанные тенденции к обмелению Днепровско-Бугского лимана подтверждают необходимость запрета дампинга грунта вдоль судоходного канала в лимане и устьевых водотоках и возможность использования отложений Одесской банки для хозяйственных целей.

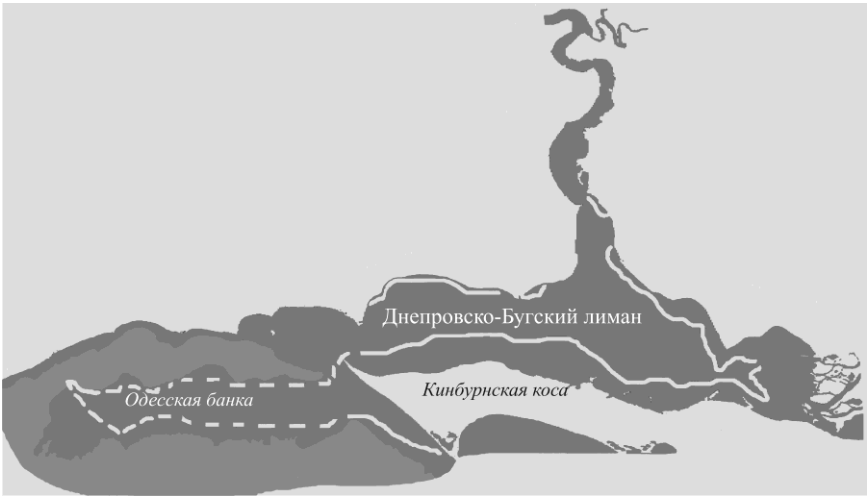


Рис. 9.7. Возможные морфологические изменения морского устья рек Днепр и Южный Буг

Анализ морфометрических изменений в морском устье рек Днепр и Юж. Буг за 174-летний период, с учётом преобладающих процессов, показал, что происходит сглаживание береговой черты, обмеление лимана и выдвижение аккумулятивных берегов в Днепровско-Бугский лиман и открытую часть устьевого взморья, что обусловлено как естественными причинами (разрушением берегов, поступлением наносов и др.), так и дампингом грунта в акватории лимана. В среднем за год слой донных отложений в лимане, исклю-

чая судоходный канал, увеличивается на 0,75 см [143]. В судоходном канале, по данным [1], скорость осадконакопления может достигать 1 – 3 см/мес. (до и после землечерпания, соответственно).

Наибольшие изменения характерны для дельты р. Днепр и Кинбурнской косы, средняя скорость выдвижения которых (за период с 1836 г. по 2009 г.) составляет 23 и 5 м/год соответственно. После сооружения каскада ГЭС скорость выдвижения дельты в лиман уменьшилась в среднем до 5 м в год, очевидно, из-за уменьшения стока наносов и стока воды.

Из-за недостатка данных выявить зависимость между морфометрическими характеристиками и стоком воды пока не представляется возможным. Однако в отдельные исторические периоды отмечалось изменение средней скорости нарастания дельты р. Днепр, пропорциональное среднему расходу воды (табл. 9.2). Из таблицы видно, что чем меньше расход воды р. Днепр, тем меньше скорость выдвижения дельты в Днепровский лиман.

Повышенная водность соответствует бóльшему количеству стокообразующих осадков, способствующих смыву твёрдых частиц с бассейна реки, более активному размыву русел и островов, с последующим перемещением материала размыва вниз по течению, активизации эрозионных процессов на побережье (разд. 1.2), что обусловливает смещение НГД в лиман. Рост уровня приёмного водоёма вызывает повышение базиса эрозии, увеличивается осадконакопление. С ростом стока воды площадь заливания дельты увеличивается, скорости течения уменьшаются, что также способствует отложению наносов.

Таблица 9.2

Динамика дельты р. Днепр в отдельные периоды

Период	Число лет	Расход воды, $м^3/с$	Скорость выдвижения, м/год
1799 – 1814	16	1510	31,3
1836 – 1895	60	1680	28,3
1895 – 1933	39	1730	48,7
1933 – 2009	77	1410	7,79

Использование, накопленной в МГИ НАНУ с 1976 г., спутниковой информации позволило бы получить более точные сведения о динамике устьевых образований в современный период.

9.5. Обменные процессы

Процессы обмена массой, энергией и веществами между средами и на границах морского устья рек Днепр и Юж. Буг изучены недостаточно. Тем не менее, они играют существенную роль в его режиме, так как обусловливают изменчивость всех характеристик, водный, солевой и тепловой балансы, а также баланс загрязняющих веществ. Частично вопросы пограничного обмена рассмотрены в предыдущих разделах при оценках баланса воды (разд. 2.4), наносов (разд. 3.6), тепла (разд. 4.4) и солей (разд. 5.5).

Большое значение в формировании режима играет горизонтальный обмен между структурными компонентами морского устья. Именно водообмен является основной составляющей обменных процессов, так как от объёма переносимой воды зависит (при прочих равных условиях) количество переносимых веществ и энергии. Обычно, чем больше значение водообмена, тем больше соле- и теплообмен.

Важнейшими факторами, обусловливающими водообмен в различных частях морского устья, являются сток рек (в основном р.Днепр), сложившаяся устьевая циркуляция воды, приливо-отливные и сгонно-нагонные явления, градиент плотности.

Наиболее значимой составляющей обмена является адвективный обмен, за которым НЦГМ и СО ГОИН осуществляли эпизодические наблюдения в Кинбурнском и Сакенском проливах. Совместные экспедиционные исследования позволили достаточно детально осветить вопросы изменчивости средних годовых, сезонных и даже внутрисуточных значений составляющих обмена в Кинбурнском и Сакенском проливах морского устья рек Днепр и Юж. Буг. Наиболее изучены вопросы водо-, соле- и теплообмена через Кинбурнский пролив.

Методы определения расхода воды, солей и тепла прямого или обратного направления в проливах описаны в работах [7, 100]. Натурные данные за 1965 – 2009 гг. использовались как непосредственно для анализа временной изменчивости составляющих обмена через Кинбурнский пролив, так и для разработки расчётных методов, позволяющих по стационарным наблюдениям на водомерных

постах Гидрометеослужбы Украины давать оценку обменных процессов с дискретностью от 1 часа и более.

Например, методика расчёта теплообмена через Кинбурнский пролив, подробно изложенная в работе [144], позволяет определять адвективные составляющие обмена теплом между Днепровско-Бугским лиманом и открытой частью устьевого взморья, минуя расчёт водообмена, по интенсивности изменения уровня воды в вершине лимана (с. Касперовка) и температуре воды на ближайшем к проливу посту (г. Очаков). При этом расходы тепла прямого и обратного потоков рассчитывались для различных периодов температурного цикла. Расчётные уравнения, полученные автором, имеют вид:

$$\Theta^{+}_{пр} = [1111(J + 13)^{-2,56} - 1]t^{+}_{пр}, \quad (9.4)$$

$$\Theta^{+}_{об} = [1,05 \cdot 10^{-6}(J + 10)^{5,47}]t^{+}_{об}, \quad (9.5)$$

$$\Theta^{-}_{пр} = [1111(J + 13)^{-2,56} - 1]t^{-}_{пр}, \quad (9.6)$$

$$\Theta^{-}_{об} = [1,05 \cdot 10^{-6}(J + 10)^{5,47}]t^{-}_{об.} \quad (9.7)$$

Здесь $\Theta^{+}_{пр}$, $\Theta^{+}_{об}$, $\Theta^{-}_{пр}$, $\Theta^{-}_{об}$ – средние за время измерения расходы тепла через Кинбурнский пролив прямого ($_{пр}$) и обратного ($_{об}$) потоков в период нагрева ($^{+}$) и охлаждения ($^{-}$) воды; J – средняя за время измерений в проливе интенсивность изменения уровня воды в с. Касперовка, см/ч; $t^{+}_{пр}$, $t^{+}_{об}$, $t^{-}_{пр}$, $t^{-}_{об}$ – температура воды соответствующего потока, рассчитанная по температуре воды в г. Очакове, интерполированной на середины интервалов измерений в проливе, ºС. Для определения экстремальных величин получены уравнения [144]:

$$\Theta_{пр} = (-0,93J - 0,23)t_{пр}, \quad (9.8)$$

$$\Theta_{об} = (0,58J - 0,05)t_{об}. \quad (9.9)$$

Наименьшая дискретность расчёта теплообмена составляет 1 час. Обеспеченность предлагаемого метода расчета 98 %. Высокая обеспеченность позволяет оценивать теплообмен между лиманом и морским районом устья с погрешностью ±17 %. Отклонение рассчитанных значений расходов тепла через пролив от измеренных величин не превышает указанной погрешности в 72 % случаев.

По непосредственным измерениям расхода воды, солей и веществ в проливе аналогично можно получить значения водо- и солеобмена. Таким образом, величина расхода воды прямого ($Q_{пр}$) или обратного ($Q_{об}$) потока через Кинбурнский пролив может быть рассчитана в зависимости от интенсивности изменения уровня воды в вершине лимана (J), по зависимостям $Q_{пр}$, $Q_{об} = f(J)$, а разнонаправленных расходов солей – соответственно как $S_{пр}$, $S_{об} = f(J, S)$, т.е., кроме интенсивности изменения уровня воды, в зависимости от её солёности (S). Срочные значения составляющих обмена через пролив зависят от скорости наполнения лимана или оттока из него в бóльшей степени, чем от расхода воды р.Днепр, который является фоном для более значимых краткосрочных изменений уровня воды и течений (гл. 2).

В современный климатический период (1965 – 2009 гг.) значимых тенденций прямого, обратного и результирующего потоков воды, тепла и солей через Кинбурнский пролив не обнаружено. Средние многолетние характеристики обмена через пролив представлены в табл. 2,9, 4.7 и 5.11 и обобщены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Характеристики обменных процессов через Кинбурнский пролив

Составляющая обмена	Средний сток за год		
	воды, км^3	тепла, 10^{15} Дж	солей, т
прямой поток	59,0	3360	501
обратный поток	13,6	1490	486
результирующий	45,4	1870	15
суммарный перенос воды, тепла и солей	72,6	4850	987

В настоящее время средний многолетний водообмен через Кинбурнский пролив равен 72,6 км^3 (в 1,6 раз больше суммарного стока рек), теплообмен $4{,}85 \cdot 10^{18}$ Дж и солеобмен 987 т в год.

После зарегулирования стока рек водообмен через пролив уменьшился в среднем на 5 %. Причиной может быть уменьшение стока рек из-за увеличения водозабора и испарения с водной поверхности водохранилищ, его регулирование, а также некоторое

снижение ветровой активности (разд. 1.7, 2.1). Однако различия в водообмене незначительные, в пределах точности определения.

На рис. 9.8 представлены средние месячные величины водо-, соле- и теплообмена по данным натурных наблюдений, с апреля по декабрь.

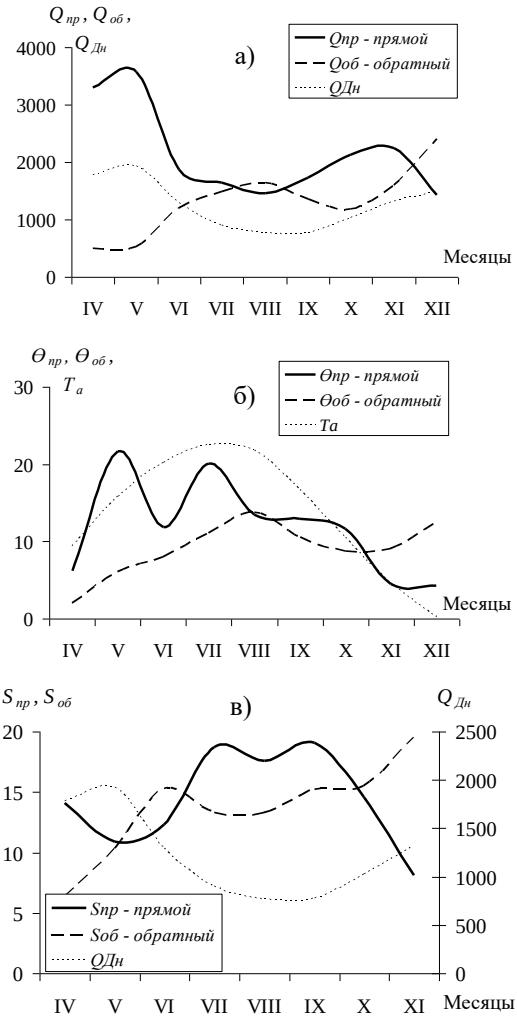


Рис. 9.8. Средние месячные расходы воды (а), м^3/с, тепла (б), 10^{10} Вт, и солей (в), т/с, через Кинбурнский пролив по натурным данным

Из рис. 9.8а очевидна зависимость среднего месячного водообмена через пролив от расхода воды р. Днепр. Чем больше его величина, тем больше прямой поток из Днепровско-Бугского лимана в открытую часть устьевого взморья и тем меньше поступление воды в обратном направлении (в лиман). Влияние других составляющих на этом масштабе осреднения имеет меньшее значение, т.к. оно взаимно нивелируется (например, приливы-отливы, сгоны-нагоны).

Средний месячный расход воды р. Днепр оказывает влияние и на солеобмен (рис. 9.8в). В период повышенной водоносности рек происходит распреснение поверхностного слоя воды (разд. 5.3) и величина расхода солей в море уменьшается, несмотря на увеличение прямого потока (рис. 9.8а). Отток воды и солей из лимана компенсируется поступлением в придонном слое обратного потока, меньшего по объёму, чем прямой, но имеющего значительно бóльшую солёность, поэтому в мае расход солей прямого и обратного потока имеют близкие значения. В межень, когда сток рек минимален, солеобмен через Кинбурнский пролив увеличивается. В осенне-зимний период приток в лиман воды, солей и тепла превышает их сток (рис. 9.8). Причиной этого может быть недостаток данных наблюдений в ноябре и декабре.

Обмен теплом через Кинбурнский пролив зависит не только от расхода воды, но и от её температуры. Поэтому в сезонном ходе расхода тепла (прямой поток) отмечается два пика – при максимуме прямого потока воды (в мае) и при максимальной температуре воды и воздуха (в июле). Влияние температуры воздуха на глубоководные слои сказывается в меньшей степени, поэтому средний месячный поток тепла обратного направления изменяется также как и поток воды и солей (рис. 9.8).

Рассчитанные значения обмена [80] через пролив отличаются от натурных. Например, на рис. 9.9 показаны составляющие среднего месячного обмена теплом через Кинбурнский пролив в период естественного и зарегулированного стока рек. Очевидны происшедшие изменения расхода тепла прямого и обратного потоков в проливе, обусловленные внутригодовым перераспределением стока воды и тепла р. Днепр. По сравнению с периодом естественного стока рек вынос тепла из лимана за год уменьшился на 17 %, а поступление в лиман увеличилось на 14 %, результирующий перенос тепла (из ли-

мана в море) уменьшился на 32 %, что изменило баланс тепла морского устья рек Днепр и Юж. Буг [80] и могло отразиться на балансе тепла прилегающей акватории моря. Суммарный теплооборот (теплообмен) через пролив уменьшился на 9 %, что в пределах точности расчёта.

В то же время, сравнение натурных и расчётных средних месячных расходов тепла через пролив (рис. 9.8, 9.9) свидетельствует о недостаточной достоверности рассматриваемых величин, полученных по натурным данным (рис. 9.8) в осенне-зимний период, из-за их недостатка, в связи с неблагоприятными для экспедиционных исследований погодными условиями. Некоторый недостаток данных наблюдений сказывается и в июне, в этот месяц количество измерений было в 2 раза меньше, чем в смежные месяцы.

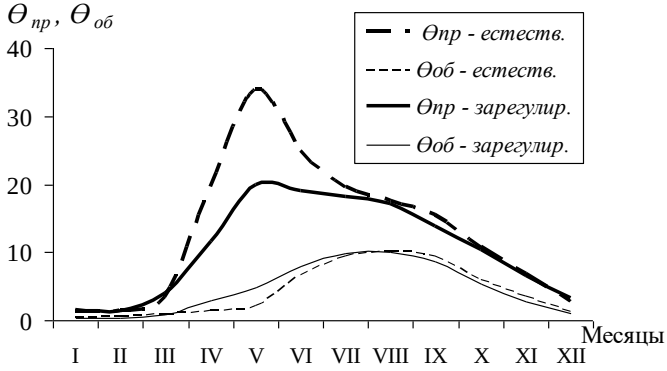


Рис. 9.9. Средние месячные расчётные расходы тепла, 10^{10} Вт, прямого и обратного потока через Кинбурнский пролив в период естественного (1926 – 1955 гг.) и зарегулированного режима стока рек (1956 – 2009 гг.)

Краткосрочные изменения водо-, соле- и теплообмена в большинстве случаев чётко выражены (рис. 9.10), доминируют полусуточные и суточные колебания прямого и обратного расхода воды, тепла и солей. В краткосрочных изменениях основной обменной составляющей является расход воды через пролив, которым целиком и определяется расход тепла или солей, поэтому их изменчивость идентична представленной на рис. 9.10.

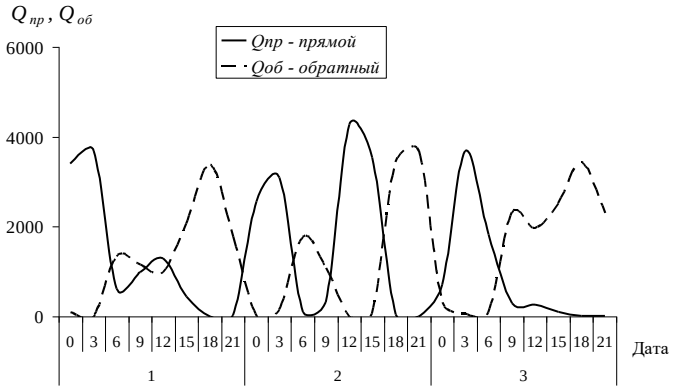


Рис. 9.10. Краткосрочные изменения водообмена ($м^3/с$) в сентябре 1970 г.

По данным натурных наблюдений получен суточный ход составляющих водо-, соле- и теплообмена через Кинбурнский пролив (рис. 9.11).

Максимальный сток воды, тепла и солей из Днепровско-Бугского лимана в прилегающую часть устьевого взморья отмечается в 3 часа, минимальный – в 18 часов. Ночью и ранним утром уровень воды у НГД (рис. 2.20) и солёность воды в Кинбурнском проливе минимальны (рис. 5.8), уровень воды в лимане интенсивно понижается, т.к. наблюдается её максимальный отток из лимана. К 6 часам перепад уровня вдоль оси Днепровского лимана уменьшается в среднем до 0,7 см и в 9 час. наблюдается минимальный уровень в г. Очакове (рис. 5.8). В это время уровень воды у НГД увеличивается. Снижается роль прямого потока в обмене через пролив и возрастает вклад обратного потока, который к 18 час. достигает максимальных значений. Интенсивность роста уровня воды возрастает, его перепад вдоль оси лимана имеет максимальное значение, 7 см, в 21 час. Суточный ход уровня воды (разд. 2.2), течений (разд. 2.3) и солёности (разд. 5.3) согласуется с указанными особенностями водообмена через Кинбурнский пролив (рис. 9.11). В восточном районе Днепровского лимана и Бугском лимане максимальное значение обратного потока наблюдается позже на 1 – 3 часа, т.е. в 19 и 21 час.

Таким образом, короткопериодные обменные процессы через Кинбурнский пролив, очевидно, инициируются длинными волнами,

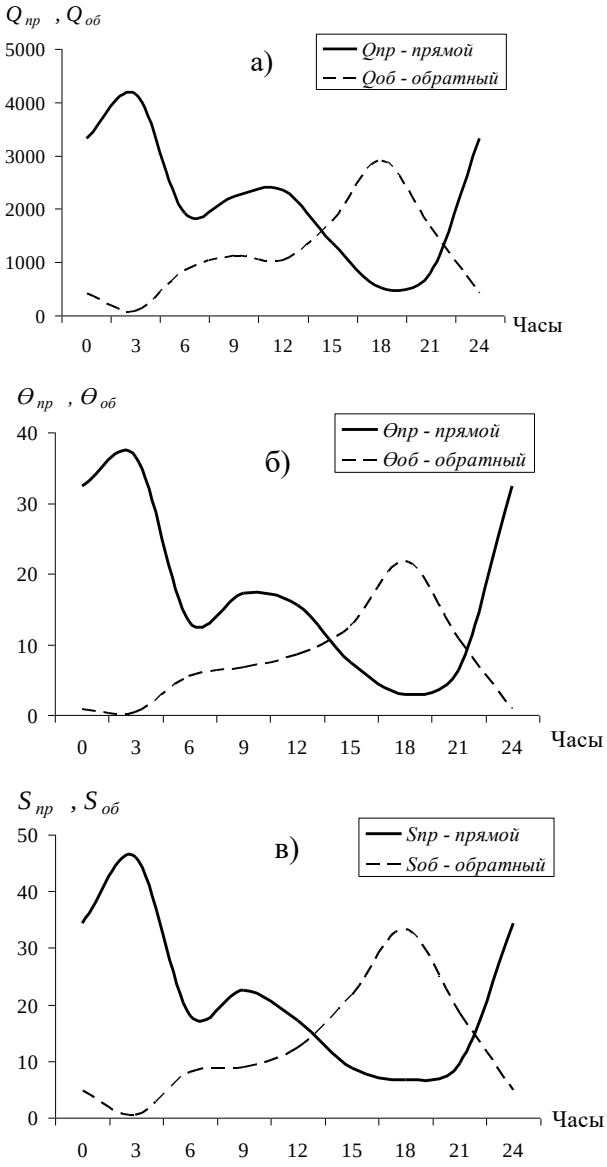


Рис. 9.11. Суточная изменчивость расходов воды (а), м^3/с, тепла (б), 10^{10} Вт, и солей (в), т/с, через Кинбурнский пролив по натурным данным

действие которых усиливается бризами, особенно в тёплый период кода, когда и выполнялось наибольшее количество измерений расхода воды, тепла и солей в створе Кинбурнского пролива.

Ход расчётных значений обмена через пролив так же, как и измеренных, подтверждает наличие мелкомасштабной изменчивости его составляющих. Обычно к 14 – 15 час. происходит смена направления результирующего потока: сток из лимана сменяется притоком в лиман. Обратный поток воды, тепла и веществ в лиман доминирует с 15 до 21 час. и в 22 – 23 час. результирующий поток изменяет направление на противоположное – из лимана в море. В периоды смены направления потока результирующая составляющая равна нулю.

Устойчивые сгонно-нагонные ветра, со скоростями 10 – 15 м/с и более, нарушают периодичность изменения составляющих обмена внутри суток – устанавливается однонаправленный поток, который после ослабления действия ветра быстро замещается компенсационным потоком обратного направления.

Следовательно, многолетние и сезонные изменения характеристик обменных процессов в створе Кинбурнского пролива зависят от водности рек (особенно р. Днепр) и особенностей регулирования их стока, а краткосрочные – от суточной циркуляции вод, имеющей длинноволновой характер различного генезиса (главы 2 и 5).

Минимальные срочные значения прямого и обратного переноса равны нулю, максимальные величины приведены в табл. 9.4.

Таблица 9.4

Экстремальные значения составляющих обмена через Кинбурнский пролив за период с 1965 г. по 2009 г.

Составляющая обмена		Экстремальный расход		
		воды, $м^3/с$	тепла, 10^{10} Вт	солей, т/с
прямой расход		13000	111	150
обратный расход		13000	58	120
суммарный перенос воды, тепла и солей	макс.	13000	111	150
	мин.	940	4	0

Практическое значение имеет рассчитанная повторяемость и обеспеченность (p, %) прямого и обратного переноса. Как видно из

рис. 9.12, 45 % расходов воды прямого направления и 56 % обратного – не превышают 1000 м^3/с.

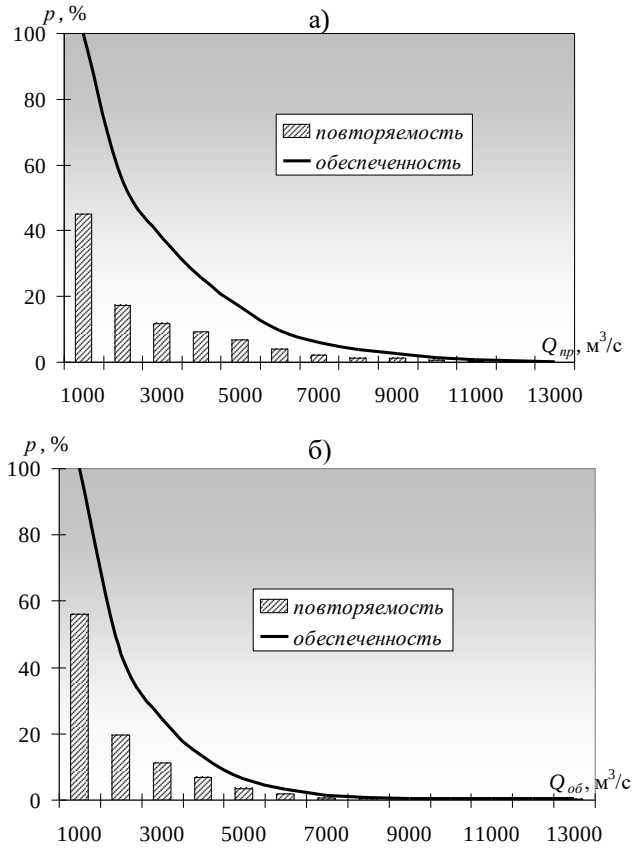


Рис. 9.12. Гистограммы распределения и кривые обеспеченности расхода воды прямого (а) и обратного (б) направлений через Кинбурнский пролив по натурным данным за 1965 – 2009 гг.

Изменчивость расхода воды, солей и тепла через Кинбурнский пролив любого направления, характеризуемая коэффициентом вариации, составляет 1,1 – 1,2, а суммарного переноса через пролив – 0,5 – 0,6. Средние величины расходов прямого направления превышаются в 35 – 60 % случаев, 4 – 5 % значений составляющих обмена

больше 3σ, а в 1 – 5 % случаев наблюдаются расходы, превышающие среднее значение в 5 – 10 раз.

9.6. Тепловые и ледовые процессы

В разделах 4.3, 6.2 и 6.3 было установлено, что одним из основных факторов тепловых и ледовых процессов в морском устье рек Днепр и Юж. Буг является сток тепла рек. Наличие тесной корреляционной связи между ним и стоком воды (4.5), (4.6) позволяет использовать сток тепла для оценки изменений тепловых и ледовых процессов на многолетнюю перспективу. Особенности хозяйственной деятельности в бассейнах рек таковы, что в первую очередь она отражается на речном стоке: осуществляется водозабор и регулирование стока водохранилищами. В результате изменяется и сток тепла. Кроме того, сток воды и тепла оказывает существенное влияние на обменные процессы в проливах: между результирующим переносом тепла через Кинбурнский пролив и стоком тепла р. Днепр установлена удовлетворительная зависимость [80, 81]. От стока тепла р. Днепр зависят толщина льда, ледовитость, число дней со льдом и др. характеристики ледового режима (разд. 6.1, 6.2), т.к. он влияет на условия теплообмена как на границах морского устья, так и между средами. Поэтому изменения основных характеристик тепловых и ледовых процессов приближённо можно рассчитать по изменению стока воды или тепла рек.

Для оценки изменения температуры воды в морском устье рек Днепр и Юж. Буг использовался метод, изложенный в [145, 146], адаптированный к условиям рассматриваемого устья. Основным фактором рассчитываемых изменений считались изъятия стока р.Днепр, уменьшающие приток тепла в морское устье.

Учитывая отмеченные в главах 4, 6 отличия температурных и ледовых условий в различных компонентах морского устья рек Днепр и Юж. Буг, оценка изменений характеристик тепловых и ледовых процессов сделана по отдельным районам устья для зимнего периода.

Температура воды в рукавах р. Днепр зависит от стока тепла реки и от теплопотерь, связанных с его изменением и изменением теплопотерь при обмене с атмосферой. Поэтому будущую температуру

воды в вершине морского устья (в случае изменения условий её формирования) можно определить из уравнения

$$T_2 = \frac{c\rho T_1(Q_1 - \Delta Q) - \Delta S \Delta B \Delta V}{c\rho Q_2}\ , \qquad (9.10)$$

где Q_2, Q_1, T_2, T_1 – расход воды у Каховской ГЭС, м^3/с и температура воды на устьевом участке р. Днепр (˚С) в современных (индекс «1») и изменённых условиях (индекс «2»); ΔQ – изъятия стока воды, м^3/с; c – удельная теплоёмкость воды, $4{,}1868 \cdot 10^3$ Дж/кг·град; ρ – плотность воды, около 1000 кг/м^3.

Изменение суммарных за период охлаждения удельных теплопотерь в атмосферу (ΔS), Дж/м^2, рассчитывалось по формуле

$$\Delta S = S_1 - S_2\ , \qquad (9.11)$$

в зависимости от суммарных удельных теплопотерь в атмосферу при современных, S_1, и будущих, S_2, условиях. Изменение ширины водотока (ΔB), м, и скорости течения (ΔV), м/с, при изменении расхода воды, рассчитывалось как разность между современными характеристиками (B_1, V_1) и будущими значениями (B_2, V_2) по формулам:

$$\Delta B = B_1 - B_2, \qquad (9.12)$$

$$\Delta V = V_1 - V_2. \qquad (9.13)$$

Учитывая морфометрические особенности различных участков водотоков, их разную пропускную способность, расчёты выполнялись по характерным участкам, в пределах которых все значения элементов принимались одинаковыми, либо изменяющимися линейно. Температура воды в конце участка ($T_н$), определялась как

$$T_н = \frac{c\rho T_в Q_в - c\rho T_в \Delta Q \pm \sum c\rho T_{пр} Q_{пр} - \dfrac{(Q_в + Q_н)\tau \sum S}{2H_{ср}\tau_{охл}}}{c\rho Q_н}. \qquad (9.14)$$

Здесь $Q_в$, $T_в$, $Q_н$, $T_н$ – расход ($м^3/с$) и температура воды (˚С) в верхнем (с индексом «в») и нижнем (с индексом «н») створах расчётного участка; $Q_{пр}$, $T_{пр}$ – расход и температура воды притока или оттока (боковая приточность) на участке; $H_{ср} = (H_в + H_н)/2$ – средняя глубина на участке, м; ΣS– сумма удельных (по площади) теплопотерь в атмосферу за период охлаждения, $Дж/м^2$; $\tau = l/86400V_{ср}$ – время добегания воды от верхнего к нижнему створу, сут.; l – длина характерного участка, м; $V_{ср} = (V_в + V_н)/2$ – средняя скорость течения на участке, м/с; $\tau_{охл}$ – продолжительность периода охлаждения, сут.

Изменение температуры воды в водотоках при изменении стока р. Днепр определялось как разность между будущей (T_2) и настоящей (T_1) температурой воды.

Период охлаждения для будущих условий вычислялся по формуле

$$\tau_{охл} = kc\rho\, Q_2\, T_2 / S_2 B_2 V_2, \qquad (9.15)$$

где S_2 – среднесуточные удельные теплопотери в атмосферу с поверхности воды, $Дж/м^2 \cdot сут$; k – коэффициент, учитывающий ход температуры воздуха в период охлаждения, зависящий от суровости зимы (гл. 6) и стока тепла р. Днепр.

На основе анализа натурных данных, для умеренных средних по водности зим, k принят равным 1,65. Изменение продолжительности периода охлаждения ($\Delta\tau_{охл}$) рассчитывалось как разность между периодами охлаждения в настоящее время и после осуществления изъятий стока р. Днепр.

Расчёты выполнялись по средним многолетним значениям. Морфометрические характеристики водотоков определялись по зависимостям от расхода воды в соответствующих водотоках. Сумма теплопотерь за период охлаждения рассчитывалась по универсальной зависимости, полученной Донченко Р.В. и приведенной в [145]. Возможные изменения скорости течения в рассматриваемом диапазоне ($V_1 – V_2$) в суточном интервале времени принимались постоянными, поэтому $S_2 \approx S_1$.

Уменьшение притока тепла с речной водой может изменить температуру воды и ледовые условия на устьевом взморье р. Днепр.

Возможные изменения определялись с использованием уравнения теплового баланса (разд. 4.4). Теплосодержание воды закрытой части устьевого взморья (Днепровско-Бугского лимана) в холодный период года определялось по формуле (4.11), которая при подстановке слагаемых принимает вид

$$c\rho W_{\Theta}T_{вз} = c\rho W_{\Theta}T + c\rho W_{р}T_{р} + c\rho W_{об}T_{об} - c\rho W_{пр}T_{пр} \pm \rho_{л}L_{л}V_{л}\,. \quad (9.16)$$

Причём, составляющая Θ_a в формуле (4.11) характеризует тепло, сформированное только под влиянием теплообмена с атмосферой при отсутствии других источников тепла, остальные составляющие – те же. В уравнении (9.16): $\rho_л$ – плотность льда, кг/м^3; $L_л$ – удельная теплота фазового превращения воды, Дж/кг; W_Θ – объём воды Днепровско-Бугского лимана, подверженный тепловому влиянию реки и моря, м^3, рассчитанный как показано в разд. 5.4 по формуле (5.12); $T_{вз}$ – средняя взвешенная по объёму температура воды взморья; T – температура воды взморья, обусловленная теплообменом с атмосферой при отсутствии влияния реки и моря; $W_р$, $T_р$ – сток р. Днепр и температура речной воды; $W_{об}$, $T_{об}$ – объём воды обратного потока и его температура; $W_{пр}$, $T_{пр}$ – объём воды и температура прямого потока; $V_л$ – объём образовавшегося (+) или стаявшего (–) льда, который включает объём льда, образовавшегося или стаявшего в результате теплообмена вод лимана с атмосферой при отсутствии теплового влияния реки и открытой части устьевого взморья, а также объёма льда, образовавшегося или стаявшего под влиянием стока тепла р. Днепр или теплового притока морских вод.

Из (9.16) следует, что

$$T_{вз} = T + \Delta T, \quad (9.17)$$

где ΔT – изменение температуры воды лимана под влиянием стока тепла р. Днепр, теплообмена через Кинбурнский пролив и ледообразования.

Температура лимана, обусловленная теплообменом с атмосферой (T) определялась по выражению

$$T = \frac{c\rho(W_{\Theta}T_{вз} + W_{пр}T_{пр} - W_{р}T_{р} - W_{об}T_{об}) \pm \rho_{л}L_{л}V_{л}}{c\rho W_{\Theta}}. \qquad (9.18)$$

Изменение температуры воды под влиянием адвекции тепла с речными и морскими водами, с учётом (9.17) и (9.18), рассчитывалось по уравнению

$$\Delta T = \frac{c\rho(W_{р}T_{р} + W_{об}T_{об} - W_{пр}T_{пр}) \pm \rho_{л}L_{л}V_{л}}{c\rho W_{\Theta}}. \qquad (9.19)$$

При условии, что взаимодействие воды Днепровско-Бугского лимана с атмосферой в будущем мало изменится и, зная прогнозные значения элементов, возможные (прогнозные) изменения температуры воды лимана $T_{вз}^{П}$ определялись по выражению

$$T_{вз}^{П} - T_{вз} = \Delta T^{П} - \Delta T. \qquad (9.20)$$

Возможные изменения ледовых процессов рассчитывались в зависимости от изменения стока тепла рек, теплообмена с морем, с учётом зон их теплового влияния, методом теплового баланса в соответствии с работами Лупачёва Ю.В. [147, 148].

По результатам расчётов, при увеличении годовых изъятий стока р. Днепр до 25 км^3 (при средних гидрометеорологических условиях), средняя температура воды за зиму в районе г. Херсона уменьшится на 0,4 – 0,5 ˚С, в среднем по лиману – на 0,3 ˚С. Увеличение роли морского теплопритока (при уменьшения стока р. Днепр) будет способствовать уменьшению толщины льда в Днепровском лимане в умеренные зимы в среднем на 3 см, в Бугском – на 2 см. В суровые многоводные зимы толщина льда может увеличиться на 5 – 10 см. Сроки ледообразования из-за уменьшения стока тепла станут более ранними – на 5 – 10 дней раньше современных.

С 1986 г. по 2009 г уменьшение водности весенне-летнего периода на 20 % и увеличение стока осени на 20 – 25 % (гл. 2) способствовало, в соответствии с расчётами, увеличению температуры воды в лимане на 0,4 – 0,5 ˚С, что согласуется с данными гл. 4.

ГЛАВА 10
ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Спектр опасных явлений включает ряд гидрологических, гидрохимических, экологических, а также комплексных явлений, определение которых дано в работе [2]. Комплексное воздействие природных и антропогенных факторов на водную среду морского устья рек Днепр и Юж. Буг иногда вызывает существенные изменения параметров среды, в результате чего гидрологические и гидрохимические характеристики в конкретном пункте наблюдений отклоняются от своего среднего значения. Чем больше это отклонение, тем значительнее изменения не только состояния водного объекта, но и степени воздействия водной среды на русло, берега, хозяйственные объекты, сооружения, биоту, экосистему, население и экономику региона. Обычно, значительное воздействие на окружающую среду принимает видимые формы конкретных явлений, имеющих различную степень опасности.

10.1 Опасные гидрологические явления

Особенностью гидрологических явлений в морском устье рек Днепр и Юж. Буг является их развитие в антропогенно-изменённых условиях. Поэтому иногда сложно дифференцировать природную и антропогенную составляющие наблюдающегося гидрологического явления. Например, попуски ГЭС и одновременное влияние ветра, направленного против течения, могут приводить к значительному повышению уровня воды, причём, составляющие изменения уровня, обусловленные стоком или ветром, выделить затруднительно, так как на постах измеряется интегральная величина уровня воды.

Для морских устьев рек каталог и критерии опасных (ОГЯ) и особо опасных гидрологических явлений (ООГЯ) не разработаны и официально не утверждены, их перечень предложен в работе [7].

Практически степень опасности гидрологических явлений и критерии, при отклонении от которых некоторые характеристики гидрологического режима представляют угрозу для природы, экономики и человека, на конкретных постах регламентируются специальным «Сводным перечнем опасных и стихийных явлений по Азово-Черноморскому бассейну», утверждаемым ежегодно Гидрометцентром Чёрного и Азовского морей.

Класс опасности гидрологического явления определяется по достижению или превышению отдельными гидрологическими характеристиками (уровень, высота волны, солёность и др.) определённых критериев опасности.

К основным гидрологическим явлениям, которые могут вызвать негативные последствия для среды, хозяйства и человека, в устье рек Днепр и Юж. Буг относятся: увеличение или уменьшение водности, сгонно-нагонные и сейшевые явления, осолонение пресноводных водотоков и водоёмов, ледовые явления, затопление дельты, затопление и подтопление территорий, размыв и разрушение берегов, заиление водотоков, волнение, цунами, тягун, аварийные сбросы ГЭС, сильный нагрев воды, высыхание или перемерзание водного объекта, комплекс природных и антропогенных явлений смешанного происхождения, приводящий к существенному и быстрому изменению характеристик водного, температурного, ледового режимов.

Наиболее распространёнными ОГЯ и ООГЯ являются: изменение уровня воды, обусловленное различными факторами или их комплексным воздействием (паводок, половодье, нагоны и сгоны, подпор), ледовые явления (ледоход, заторы, торошение, навалы льда на берега и сооружения и др.), штормовое волнение в морском районе устьевого взморья, проникновение солёной воды в устьевые рукава р. Днепр и на устьевые участки рек Днепр, Юж. Буг и Ингул. В водоёмах морского устья, в районах с затруднённым водообменном, зачастую отмечаются заморы, как последствие негативных гидрологических явлений. Для некоторых участков характерны обвалы, осыпи, оползни и др. опасные явления, развивающиеся на фоне или после ОГЯ, ООГЯ или их комплекса.

В большинстве случаев первопричиной опасных гидрологических явлений в морском устье рек является подъём и спад уровня воды, негативно влияющий на побережье и судоходство.

Опасность при экстремальном повышении уровня воды заключается в подтоплении коммуникаций, затоплении и разрушении берегов и территории населённых пунктов, затоплении построек и сооружений. При спаде уровня и обмелении нарушается судоходство между портами Очаков, Херсон и Николаев.

Критериями опасности, к которой могут привести изменения уровня воды, являются его отметки, устанавливаемые Гидрометео-

службой по согласованию с хозяйствующими субъектами. Эти отметки приводятся в «Сводном перечне опасных и стихийных явлений по Азово-Черноморскому бассейну» и представлены в табл. 2.7, разд. 2.2. Сравнение табл. 2.6 и 2.7, приведенных в разд. 2.2, показывает, что опасные отметки уровня воды не обязательно являются экстремальными, так как затопление территорий, повреждение построек, нарушение судоходства и другой хозяйственной деятельности могут происходить и при отметках уровня воды ниже (выше) абсолютных максимальных (или минимальных) значений. Например, все критические отметки при нагоне меньше максимальных значений уровня воды в 1,3 – 2,8 раз, а при сгоне – выше минимальных в 1,1 – 2,2 раза. Этому способствует тенденция размещения различных сооружений, сельхозугодий, садов, объектов, жилья и др. в естественно-затапливаемых поймах и на побережьях без учёта требований нормативных документов и объективной гидрологической информации, а также изменение морфометрии устьевых объектов и рельефа местности.

В табл. 10.1 приводятся сведения о количестве опасных отклонений уровня воды от критических, опасных и особо опасных отметок на водомерных постах морского устья рек Днепр и Юж. Буг.

Таблица 10.1

Число случаев отклонения уровня воды от критических, опасных и особо опасных отметок на водомерных постах в 1976 – 2009 гг.

Пункт	Отметка уровня						Общее число ОГЯ и ООГЯ
	критическая		опасная		особо опасная		
	подъём	спад	подъём	спад	подъём	спад	
Николаев	195	200	28	57	нб	–	85
Парутино	19	20	8	14	1	–	23
Херсон	19	28	18	6	нб	–	24
Касперовка	54	8	53	8	нб	–	61
Станислав	34	2	13	1	2	–	16
Геройское	105	7	62	4	5	3	74
Очаков	165	14	48	8	нб	нб	56
Всего	591	279	230	98	8	3	339
Примечание: нб – явление не наблюдалось; – критерий опасности не установлен							

Критические (разд. 2.2), опасные и особо опасные отметки на отдельных постах изменялись и уточнялись, так как изменялся рельеф местности, морфометрия водотоков и водоёмов, количество, прочность и защищённость объектов, подвергавшихся опасному воздействию водной среды, уровень и виды хозяйственной деятельности. Кроме того, критические, опасные и особо опасные отметки уровня воды устанавливаются разными организациями [7]. Поэтому критические отметки не всегда совпадают с опасными, и в табл. 10.1 количество случаев отклонения от критических и опасных отметок не совпадает.

Изменение опасных и особо опасных отметок во времени приводит и к изменению количества отклонений от них высот наблюдаемого уровня, иногда на порядок. Например, в г. Николаеве до введения новых отметок уровня при ОГЯ в среднем 10 раз в год отмечалось отклонение от них; после введения новых критериев опасности (с 1997 г.) уровень воды отклонялся от критерия 1 – 4 раза в год.

Анализ ОГЯ и ООГЯ, вызывающих подъём или спад уровня воды, показал, что основной причиной отклонения отметок уровня воды от критических являются сгонно-нагонные явления, которые распространяются на устьевые участки рек. Иногда нагонные явления сочетаются с паводком или половодьем, а сгоны – с меженным периодом, что увеличивает величину отклонения уровня от критических, опасных или особо опасных отметок.

В устье опасные отклонения уровня воды от критических отметок наблюдаются почти ежегодно на постах в г. Николаеве, с. Касперовке, с. Геройском и г. Очакове, реже всего в с. Станислав, г. Херсоне и с. Парутино.

Опасный подъём или спад уровня воды возникает при достижении им высот, равных критическим отметкам. Средние и максимальные отклонения от критических отметок, а также средняя и максимальная продолжительность опасного изменения уровня воды на разных постах в морском устье рек представлены на рис. 10.1.

Отклонение уровня воды от критических отметок в устье рек Днепр и Юж. Буг чаще происходит под действием ветра, но эти аномалии в среднем незначительные и составляют 5 – 20 см. Наиболее существенно уровень воды отклоняется от критических отметок при совместном влиянии ветра и стока.

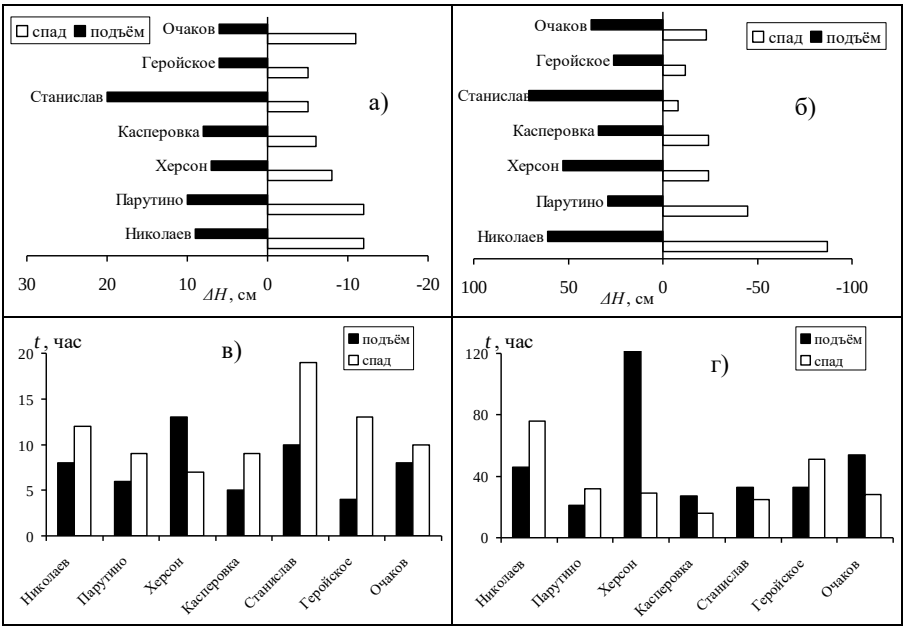


Рис. 10.1. Средние (а) и наибольшие (б) отклонения уровня воды от критических отметок (см), средняя (в) и максимальная (г) продолжительность (час) опасного подъёма или спада уровня в период с 1976 г. по 2009 г.

Чаще всего отмечаются небольшие отклонения уровня, в пределах 5 – 10 см, как при нагонах, так и при сгонах (рис. 10.2). Наблюдения за опасными гидрологическими явлениями в морском устье рек показывают, что на одних постах преобладают сгоны (г. Николаев, с. Парутино, г. Херсон), а на других нагоны, в том числе «компенсационные» (с. Касперовка, с. Станислав, с. Геройское, г. Очаков), что обусловлено их расположением относительно действующих ветров, а также особенностями устьевой циркуляции вод (разд. 2.3).

В связи с тем, что случаи опасных сгонов редки (табл. 10.1), рассчитать их повторяемость пока затруднительно, за исключением водпоста в г. Николаеве (рис. 10.2).

Повторяемость отклонения уровня воды более, чем на 50 см от критической отметки на водпосту в г. Николаеве составляет при

нагоне 1 %, при сгоне 3 %; в с. Станислав и г. Херсон при нагоне – 12 и 6 %, соответственно; на других постах таких отклонений уровня в период с 1976 г. по 2009 г. не отмечалось.

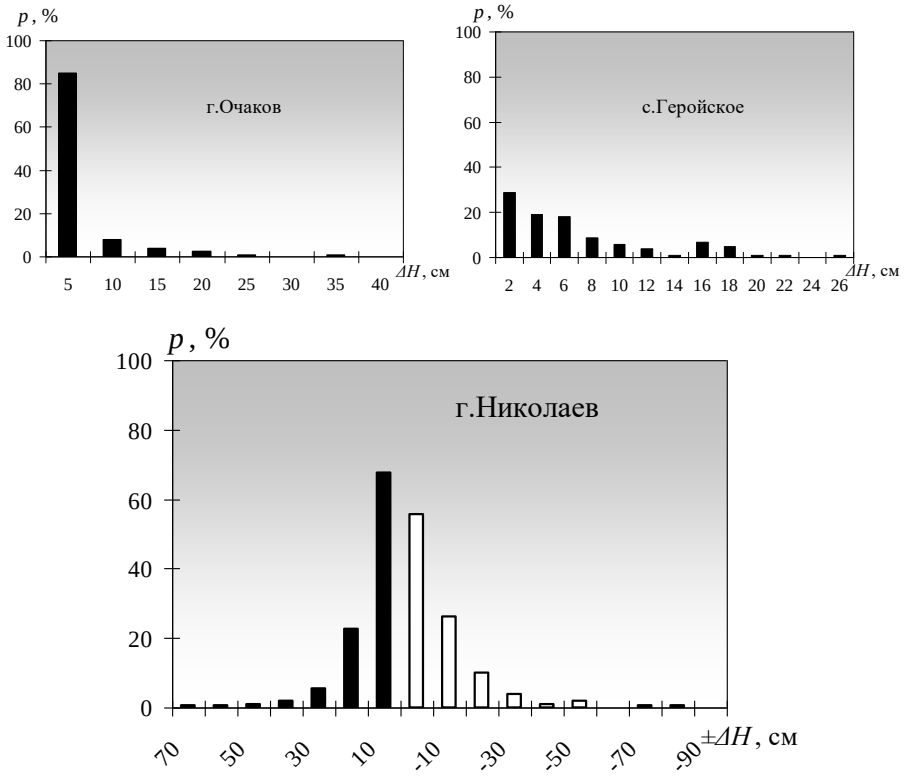


Рис. 10.2. Повторяемость (p, %) потенциально опасных подъёмов и спадов уровня воды на водпостах морского устья рек Днепр и Юж. Буг

Средняя продолжительность подъёма или спада уровня воды на разных постах изменяется от 5 до 20 час. Максимальная продолжительность стояния опасного уровня достигала 128 час. в г. Херсоне при нагоне и повышенном стоке р. Днепр с 29.04 по 04.05.1999 г.

Экстремальные условия сложились в декабре 1991 г. (критическая отметка 440 см) в г. Николаеве, когда был зафиксирован спад уровня воды на 87 см (продолжительность явления 32 часа).

Наибольший подъём наблюдался в с. Станислав 03.05.1978 г. Опасное явление продолжалось 21 час, а отклонение уровня воды от критической отметки (514 см) составляло 71 см.

Ущерб хозяйству приносят не только опасные изменения уровня воды, но и наводнения, приводящие к затоплению левобережья р. Днепр. Наблюдения за затоплением дельты р. Днепр в настоящее время не производятся. По материалам наблюдений и историческим данным наводнения в районе г. Херсона отмечались почти ежегодно. Опасные и катастрофические наводнения наблюдались в 1887, 1894, 1903, 1912, 1918, 1926 и 1936 годах (каждые 7 – 11 лет). В сочетании с волнением и нагоном, которые препятствовали свободному стоку речной воды, наводнения были особо опасны и даже катастрофичны, приносили значительный ущерб, были причиной гибели людей. В такие периоды низовья представляли собой бурный поток, шириною более 10 км, с водоворотами и значительным волнением, иногда более 1 м. После сооружения каскада водохранилищ, катастрофические паводки стали регулируемыми, что улучшило ситуацию на Нижнем Днепре. Однако наводнения отмечались и в период зарегулированного стока рек. Например, критические отметки превышались весной 1979 г. и 1999 г.

Изменение уровня воды сопровождается изменением скорости течения. В отдельные периоды внезапные значительные изменения уровня воды и скорости течения могут сочетаться с ветровой активностью, ледовыми и другими явлениями, что, зачастую, способствует увеличению степени опасности гидрометеорологических явлений, делает их комплексными.

Большие скорости течения не обязательно соответствуют наивысшим уровням воды, особенно при переполнении русла и выходе воды на пойму, а также сгонах. Поэтому уровень воды может и не достигать критической или опасной отметки, а скорость потока бывает большой. Значительная скорость течения вызывает размыв берегов, перенос крупных наносов, деревьев, ледового материала и др., что представляет опасность для судоходства, строений, сооружений и объектов на берегу, препятствует осуществлению хозяйственной деятельности, деформирует русло, берега. Периодически сильные течения отмечаются в водотоках р. Днепр, в Кинбурнском и Сакенском проливах Днепровско-Бугского лимана (разд. 2.3).

В узостях судоходного канала в районе с. Станислав и г. Очакова, а также у оконечности Кинбурнской косы скорость течения иногда достигала 1,00 м/с и более (разд. 2.3). Большие скорости течения вызывают размыв берегов, дна, русел водных объектов морского устья рек Днепр и Юж. Буг и бровок судоходного канала, переносят материал размыва в открытую часть устьевого взморья. Но, так как в данном морском устье рек преобладает двухслойная циркуляция вод (разд. 2.3), обратный поток в придонном слое может способствовать переотложению наносов вдоль канала и его заилению. Повторяемость больших значений скоростей течений в различных частях Днепровско-Бугского лимана составляет от 0,2 до 1,3 % случаев. Как распределяются максимальные значения скорости течения в различных точках Днепровско-Бугского лимана показано на гистограмме (рис. 10.3). Очевидно, что в основном это скорости от 1,25 до 1,50 м/с.

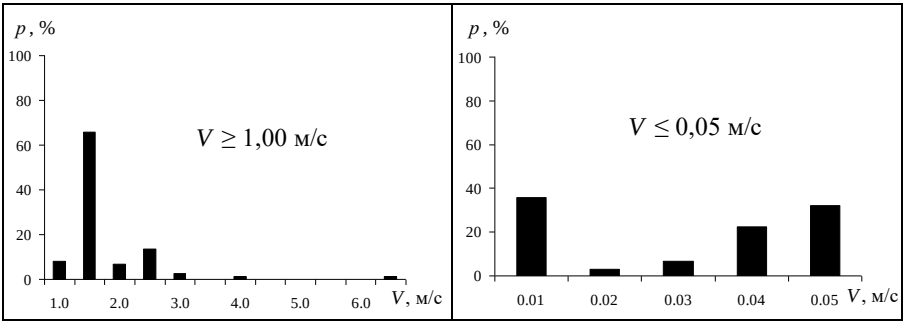


Рис. 10.3. Повторяемость (%) экстремальных скоростей течений в Днепровско-Бугском лимане

Застойность, обусловленная небольшой скоростью течения (менее 0,05 м/с), имеет повторяемость, превышающую повторяемость максимальных скоростей течений, она на разных станциях составляет от 1 до 14 % (разд. 2.3). Это обусловлено преобладанием разнонаправленных потоков, на границе между которыми скорость уменьшается до нуля. При этом в 38,9 % случаев течение либо полностью отсутствовало, либо скорость течения была ниже порога чувствительности измерителя (рис. 10.3). Резкое уменьшение скорости те-

чения приводит к отложению наносов и другого транспортируемого материала, особенно в судоходном канале, заиливая его, ухудшаются экологические условия, что негативно влияет на осуществление хозяйственной деятельности.

В период ледовых явлений сильные течения обусловливают густой ледоход и сильный дрейф льда в рукавах р. Днепр и в Кинбурнском проливе, что представляет опасность для судов, берегов и построек на них (разд. 6.2).

Ледовые условия в рассматриваемом регионе, в основном, не отличаются суровостью и продолжительностью (гл. 6). Но в отдельные зимы (11 % наблюдавшихся ледовых сезонов) они могут принимать черты ОГЯ и даже ООГЯ: толщина льда может достигать значительных величин (около 1 м), отмечается торосообразование, навалы льда на берега (высотой несколько метров), заторы и густой ледоход в водотоках, а на устьевом взморье, особенно в Кинбурнском проливе – дрейф сплочённого льда (гл. 6). В некоторые ледовые сезоны (такие, как 1928/1929 гг., 1953/1954 гг., 1984/1985 гг., 1986/1987 гг., 1995/1996 гг.) лёд в Днепровско-Бугском лимане был труднопроходим для буксиров и ледоколов [80].

Волнение в морском устье, хотя и незначительное, представляет опасность для малотоннажного флота, маломерных судов, лёгких плавсредств (гл. 7), берегов, прибрежных строений и сооружений. Оно препятствует рекреации, погрузочно-разгрузочным работам в портах и другим видам хозяйственной деятельности. Опасная высота волны в Днепровско-Бугском лимане, 1,3 м, имеет небольшую повторяемость (менее 1 %), но в открытой части устьевого взморья отмечаются волны, достигающие высоты 3,5 – 4,0 м, что является особо-опасным явлением. Опасное ветровое волнение в лимане отмечалось в 1871 г., когда высота волн достигала 2,5 м.

В холодный период года сильное волнение и ветер может быть причиной другого опасного явления – обледенения [45].

Явление тягуна или зыби вызывает затруднения при швартовке, погрузочно-разгрузочных работах, так как суда совершают периодические горизонтальные движения. Тягун может затруднять навигацию и работы в районах узких глубоководных судоходных каналов (например, в Кинбурнском проливе), т.к. он вызывает значительные горизонтальные перемещения судов вдоль судоходного ка-

нала. При этом скорость движения потока может достигать 2 – 6 м/с (разд. 2.3). Тягун отмечался в порту г. Очакова и у с. Парутино.

Большинство рассматриваемых гидрологических явлений в морском устье рек отличается комплексностью. Это обусловлено тем, что ОГЯ или ООГЯ развиваются в результате различных гидрометеорологических явлений, протекающих последовательно или совместно на фоне изменяющейся хозяйственной деятельности, аварий и других техногенных нагрузок на водные объекты. Например, длительное отсутствие осадков, безветрие, уменьшение сбросов из водохранилищ, увеличение водозабора, понижение уровня воды в условиях засухи может привести к перегреву воды и вызвать заморные явления. Уменьшение водности реки в сочетании с нагоном или компенсационным сгоном может способствовать проникновению солёной воды в пресноводные водотоки и водоёмы, возникновению слоя скачка, образованию ниже слоя скачка дефицита кислорода, появлению сероводорода и развитию замора и т.д.

Причиной опасных явлений может быть резкое изменение температуры воды в результате адвекции разнородных по температуре вод (разд. 4.2) при сбросах, авариях и др. Это вызывает изменение конвективного теплообмена, растворимости газов и других веществ в воде, ухудшает качество воды, условия существования гидробионтов. Такие опасные для гидробионтов температурные явления, как сильный прогрев водоёмов, иногда наблюдается в мелководных акваториях устья и тоже является причиной заморов.

Формирование слоя скачка плотности, солёности и температуры обусловливает появление сероводорода в прорези судоходного канала, что в сочетании с заморными явлениями приносит ущерб хозяйству и экономике региона. Неблагоприятные гидрометеорологические условия в комплексе с дампингом грунта вызывают заражение придонного слоя воды, даже вне канала (разд. 8.1).

Повторяемость проникновения солёной воды в устьевые пресноводные водотоки, как показано в разд. 9.2, довольно высока. При проникновении солёной воды первым признаком опасности является увеличение солёности в водотоках до 1 ‰, а при повышении солёности проникающих вод до 3 ‰ начинается гибель пресноводного бентоса. Это опасное явление, которое развивается при интрузии со-

лёной воды (≥ 3 ‰) к НГД р. Днепр (в район с. Касперовка, вблизи устья рук. Рвач), в поверхностном слое воды имеет повторяемость 3 %, в придонном – 52 %. Солёность поверхностного слоя воды здесь увеличивалась до 10 ‰ и более в 0,2 % случаев, придонного – в 18 % случаев, что может вызывать гибель пресноводных гидробионтов, т.к. пресноводная фауна массово гибнет при солёности воды 5 – 7 ‰ и более [119]. Если солёность ниже этого биогеохимического барьера – гибнет морская фауна. Такое значительное опреснение центральной части Кинбурнского пролива (до 6 ‰ и ниже) в поверхностном слое воды обеспечено на 68 %, в придонном – на 1%, а на мелководье у г. Очакова – на 81%. На устьевой участок р. Юж. Буг также поступает солёная вода. И если в поверхностном слое в районе г. Николаева, у НГУУР Юж. Буг, солёность воды практически не увеличивается до 10 ‰ (максимальное значение около 9 ‰), то в придонном – её величина, по данным стандартных многолетних наблюдений, равна или больше 10 ‰ в 21 % случаев, т.е. несколько больше, чем по данным специальных наблюдений за галоклином (разд. 9.2). Гибель пресноводных гидробионтов, поступающих в результате адвекции речных вод в лиман, здесь может наблюдаться в 7 % случаев у поверхности и в 58 % случаев в придонном слое.

Повторяемость осолонения распреснённых вод и распреснения солёных приведена на рис. 10.4. Из него видно, что чаще всего вода в вершинах лимана осолоняется до 2 – 3 ‰ и опресняется в его устье до 4 – 6 ‰. Опасная для пресноводной фауны величина солёности (более 6 ‰), способствующая ухудшению качества поверхностного слоя воды у НГД р. Днепр имеет эмпирическую вероятность менее 1 %, у НГУУР Юж. Буг – 7 %, в Кинбурнском проливе – 32 %. При адвекции морской фауны с проникающей в лиман солёной водой, неблагоприятные для гидробионтов условия (уменьшение солёности придонного слоя до 6 ‰ и менее) повторяются с вероятностью менее 1 % в Кинбурнском проливе, 42 % – у НГУУР Юж. Буг и 61 % – у НГД р. Днепр.

Ущерб от проникновения солёных вод в устье связан не только с гибелью гидробионтов, но и с проблемами водопользования. Проникновение солёной воды в район водозабора г. Херсона в период наполнения Каховского водохранилища (1954 – 1955 гг.) привело к

аварии водозаборных систем и отложению солей в трубопроводе [1]. Засоление воды устьевого участка р. Юж. Буг осложняет водозабор для орошения сельскохозяйственных угодий.

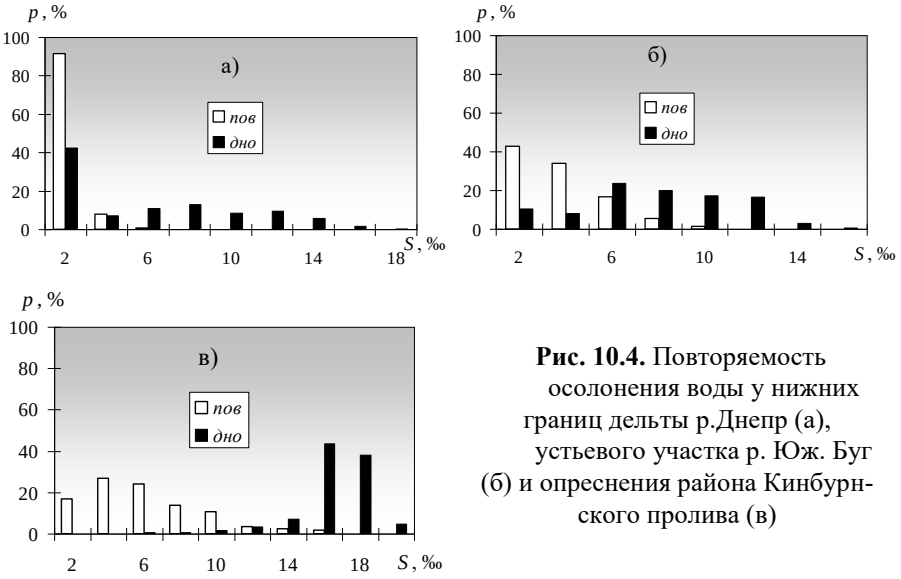


Рис. 10.4. Повторяемость осолонения воды у нижних границ дельты р.Днепр (а), устьевого участка р. Юж. Буг (б) и опреснения района Кинбурнского пролива (в)

При комплексном воздействии разных факторов не всегда удаётся типизировать развивающееся опасное или особо опасное явление. Поэтому с помощью представленного в работе [7] перечня ОГЯ и ООГЯ можно оценить отклонение различных элементов режима морского устья от критериев для классификации степени опасности независимо от происхождения и типа гидрологических явлений.

10.2. Экстремальное ухудшение качества воды

Основными причинами опасных гидрохимических (ОГХЯ) и экологических (ОЭЯ) явлений могут быть поступающие извне вещества, обычно антропогенного происхождения, и процессы, протекающие в водных объектах под влиянием природных и антропогенных факторов, приводящие к негативному изменению качества воды [2]. Этот тип опасных явлений развивается на фоне разнообразных гид-

рометеорологических условий, поэтому зависит от состояния природной среды [7]. Критерии опасности некоторых явлений в водных объектах, в том числе и морских устьях рек, приведены в [125, 149, 150].

ОГХЯ и ОЭЯ тесно взаимосвязаны. Например, загрязнение воды Днепровско-Бугского лимана НУ, СПАВ, фенолами и пестицидами (в комплексе или по отдельности) приводит к гибели водных организмов, на окисление их останков расходуется большое количество кислорода, и при замедленном водообмене, низком стоке воды и штилевых условиях развивается его дефицит, появляется сероводород. Дефицит кислорода является наиболее частой причиной ОЭЯ и способствует интоксикации придонного слоя воды фенольными соединениями и другими ЗВ. Несмотря на то, что загрязнение воды нефтью имеет антропогенное происхождение, оно стало неотъемлемым компонентом природной среды, а по продолжительности и масштабам воздействия, степени реальной и потенциальной опасности, которую представляет для хозяйства, фауны, флоры и человека, его можно отнести к ОГХЯ и ОЭЯ.

Таким образом, ОГХЯ, проявляясь в абиотической части экосистемы морского устья рек, негативно влияют на биотические компоненты, вызывают опасные экологические явления (ОЭЯ), приводящие к гибели гидробионтов, а иногда и к деградации экосистемы. В то же время, по исследованиям специалистов ИН БЮМ, болезни различных видов фауны и флоры, обусловленные природными и антропогенными факторами, могут приводить к её гибели, что способствует значительному ухудшению качества воды. Интенсивное развитие фитопланктона из-за избытка биогенных веществ и прогрева способствует отмиранию организмов, дефициту кислорода и появлению сероводорода. В этом случае ОЭЯ приводит к ОГХЯ.

Иногда определить однозначно, какое ОГХЯ вызвало ОЭЯ (и наоборот), затруднительно, так как причинно-следственные связи весьма сложны. К тому же, определения ЗВ производятся эпизодически и не всегда оперативно (гл. 8), установить, какое химическое вещество вызвало ОЭЯ, не всегда удаётся, поскольку концентрации отдельных ингредиентов могут быть невелики, но, воздействуя в комплексе, способствуют экстремальному ухудшению качества воды и развитию ОЭЯ.

В связи с тем, что причиной ОГХЯ и ОЭЯ в морском устье рек Днепр и Юж. Буг может быть не только загрязнение среды, но и комплекс гидрометеорологических, гидрохимических и гидробиологических факторов (например, формирование слоя скачка, ослабленный вертикальный и горизонтальный внутриводный обмен, дефицит кислорода, вызывающий появление сероводорода, заморы разного генезиса), в дальнейшем указанная группа опасных явлений объединена в одну и рассматривалась, как экстремальное ухудшение качества воды (ЭУКВ).

Под ЭУКВ подразумевается непродолжительное экстремальное изменение химического, биологического состава и физических свойств воды, определяющих её пригодность для конкретных видов водопользования, которое наносит ущерб среде, человеку или хозяйству [2]. Поэтому, независимо от причин, вызвавших ОГХЯ или ОЭЯ, данные об экстремальном ухудшении качества воды обобщались без их дифференциации по генезису. Пример такого обобщения для морского устья рек Днепр и Юж. Буг представлен в табл. 10.2, где приводится повторяемость ЭУКВ по отдельным показателям.

Таблица 10.2

Число случаев и повторяемость ЭУКВ в различных районах морского устья рек в период с 1976 г. по 2009 г.

Причина ЭУКВ	Критерий ЭУКВ (мг/л)	Номер станции в соответствии с рис. 1.28									
		4		7		11		15		18	
		ч.с.	%	ч.с.	%	ч.с.	%	ч.с.	%	ч.с.	%
НУ	≥ 5	0	0	2	0,6	1	0,2	0	0	1	0,1
O_2 *)	≤ 2	11	28	14	36	6	7	18	38	49	31
H_2S *)	$\geq 0{,}001$	10	21	9	18	2	3	8	20	23	21
ДДТ	$\geq 0{,}0001$	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0
ДДЭ	$\geq 0{,}0001$	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0
γ-ГХЦГ	$\geq 0{,}0001$	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1

Примечания: ч.с. – число случаев обнаружения показателя ЭУКВ; % – повторяемость обнаружения в процентах от общего количества проб; *) *– расчёт выполнялся для слоя воды глубже 5,5 ; НУ – нефтяные углеводороды; O_2 – растворённый кислород; H_2S – сероводород; ДДТ, ДДЭ, γ-ГХЦГ– хлорорганические пестициды.*

К показателям, обусловливающим ЭУКВ, относились те, концентрация которых равнялась или превышала (а для растворённого кислорода была ниже) критериев отнесения к экстремальному загрязнению воды (ЭЗВ), обычно 100 ПДК и более [149].

Вклад НУ в развитие ЭУКВ наиболее выражен в центральной части лимана (ст. 7). Вдоль судоходного канала чаще всего отмечается гипоксия и даже аноксия, повторяемость опасного дефицита растворённого кислорода составляет 28 – 38 %, за исключением зоны активного водообмена между смежными частями устьевого взморья (ст. 11). Как видно из табл. 10.2, сероводородное заражение типично для пограничных районов лимана, в зонах наибольшего влияния стока рек Днепр, Юж. Буг и Ингул (ст. 4 и 18).

Пестициды наиболее часто содержались в пробах воды, отобранных на границе между Бугским и Днепровским лиманами (ст. 15), что, вероятно, связано с сельскохозяйственной деятельностью в междуречье рек Днепр и Юж. Буг (разд. 1.5).

Реже всего ЭУКВ отмечалось в западном районе Днепровского лимана, где самоочищающая способность водной среды больше (гл. 8), т.к. через Кинбурнский пролив поступает более чистая вода, ветро-волновая активность здесь больше, чем в лимане, в котором происходит осаждение и утилизация некоторых вредных веществ.

ЭУКВ, в основном, развивается при низком стоке р.Днепр, высокой температуре воздуха и воды, безветрии или слабоветрии. Благоприятствуют опасному комплексному явлению замедленный водообмен, расслоённость водной массы, аварийные сбросы сточных вод, смыв загрязняющих веществ, аварии, «цветение» воды, не обязательно в лимане, т.к. обогащённая сине-зелёными водорослями вода поступает в межень из каскада водохранилищ. Низкая зимняя межень в сочетании с суровыми ледовыми условиями также могут стать причиной ЭУКВ. По крайней мере в суровые зимы в верхнем и среднем течении р. Днепр заморные явления довольно часты. Не исключением являются случаи поступления из водохранилищ погибшей в них из-за заморных явлений биоты, загрязняющих веществ, что способствует развитию заморов в нижнем бьефе Каховской ГЭС и в Днепровско-Бугском лимане.

Уменьшение в воде растворенного кислорода до 2 мг/л и ниже и появление сероводорода занимает основную долю в структуре опасных гидрохимических и гидробиологических явлений и чаще всего

приводит к ЭУКВ (рис. 10.5). Это явление взаимосвязано с заморами, которые отмечаются почти ежегодно.

В районах портов и на судоходных акваториях причиной ЭУКВ являются разливы нефтепродуктов, покрытие поверхности воды нефтяной и масляной плёнкой. В общей структуре ЭУКВ этот вид загрязнения составляет 2 %. В Днепровско-Бугском лимане разливы нефтепродуктов в среднем наблюдались по 2 раза в год. Концентрация НУ в нефтяном пятне достигала 45,5 мг/л (910 ПДК). Наиболее опасными и недостаточно изученными комплексными явлениями, приносящими существенный ущерб экономике региона, являются заморы или заморные явления (рис. 10.6). Химико-биологические аспекты возникновения заморных явлений рассмотрены в работе Журавлёвой Л.А. Линника П.Н. [151]. По данным исследований института гидробиологии НАН Украины замору способствует низкая межень, значительный прогрев воды, маловетреная погода и образование слоя скачка плотности, солёности и температуры. На фоне этого и массового развития сине-зелёных водорослей (токсин которых опасен для водных организмов, особенно в сочетании с загрязнённостью воды фенолами, НУ, СПАВ и др. вредными веществами) возникает анаэробная зона, появляется сероводород в застойных глубоководных районах лимана (рис. 8.3), качество воды ухудшается, что приводит к гибели гидробионтов.

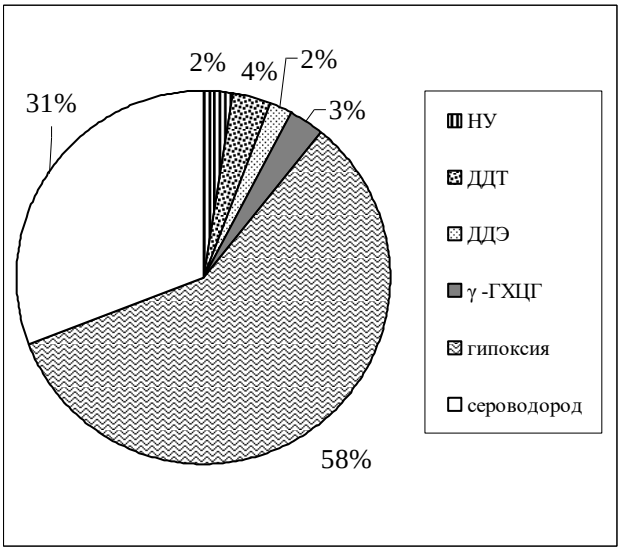


Рис. 10.5. Вклад отдельных показателей в ЭУКВ

По сведениям местных Управлений госэкоинспекций, охраны окружающей природной среды, охраны и воспроизводства водных живых ресурсов, МЧС, ветеринарных служб, СЭС, Херсонской научно-исследовательской гидробиологической станции НАНУ, Херсонского аграрного университета, ИН БЮМ НАНУ, рыбинспекций, «Южрыбвод» и др. организаций, ведомств и служб, причинами заморных явлений в морском устье рек, кроме указанных в работе [151], могут быть ухудшение качества воды, нерациональное природопользование, изменение климата, сбросы из каскада водохранилищ, запрещённые способы лова, суровые ледовые условия, нарушение природоохранного законодательства предприятиями Приднепровья, эвтрофирование застойных водоёмов, различные заболевания гидробионтов, в том числе и инфекционные, резкие изменения температуры воды, увеличение концентрации аммиака и сероводорода из-за процессов распада органических веществ, смыв или выпадение на поверхность воды ядохимикатов.



Рис. 10.6. Последствия замора в низовьях р. Днепр

В настоящее время специальный мониторинг заморов не производится, т.к. систематические гидробиологические наблюдения, проводившиеся ранее в комплексе с гидрометеорологическими и гидрохимическими, в рамках ОГСНК, прекращены в 90-е годы прошлого века. Поэтому сведения о заморах носят несистемный характер, оперативные исследования не проводятся, каталогизация отсутствует, система мер борьбы с этим негативным явлением и их прогноз не разработаны. По неполным сведениям некоторых вышеуказанных организаций составлена табл. 10.3, в которой дана характеристика отдельных заморов, наблюдавшихся в последние несколько

лет, и приводятся сведения о сопутствующих им абиотических факторах.

Таблица 10.3

Сведения о заморах в морском устье рек и сопредельных районах

Период замора	Район поражения, площадь замора	Погибшие виды / Количество	Гидрометеорологические и гидрохимические условия / вероятная причина замора	Ущерб, млн. грн.
август 1986	Днепровско-Бугский лиман	бычок / 800 тыс. экз.	Q = 174 – 430, T_w = 24, $S_{Oч}$ = 5–10; $НУ$ = 2 – 16, $СПАВ$ = 1,4 –5, $БПК_5$ = 3,3, $ХОП$ = 4 –15, фенолы = 3 – 4, PO_4 = 2,5, NO_2 = 1 – 25; «цветение», загрязнение	н.с.
1992, 1997, 1998, 2001	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.
июль – август 2002	Днепровско-Бугский лиман	рыба / 6000 тонн	Q = 459 – 540, T_w = 25 – 28, $S_{Oч}$ = 6 – 12; $НУ$ = 1 – 17, $СПАВ$ = 1, фенолы 1,2, PO_4 = 1,5 –2,5, NO_2 = 3,5; дефицит O_2, H_2S, загрязнение	н.с.
июль 2003	Кременчугское вдхр., Каховское вдхр.	бычок, судак, сом, окунь, раки / н.с.	Q = 462 – 531, T_w = 22, $S_{Oч}$ = 4 – 8; «цветение», загрязнение	н.с.
07.08.2004	Днепровско-Бугский лиман	бычок, лещ, судак / н.с.	Q = 1100 – 1300, T_w = 22 – 25, $S_{Oч}$ = 3 – 6; $НУ$ = 1 – 4, фенолы = 4, PO_4 = 1,1–3,8, NO_2 = 1,4 – 2,1, NH_4 = 1,1 –1,3, $ХОП$ = 7; дефицит O_2, H_2S, загрязнение	н.с.
апрель 2005	Каховское вдхр.	рыба / н.с.	Q = 1430 – 2180, T_w = 7 – 10; загрязнение	н.с.
май–июнь 2005	Днепровско-Бугский лиман	карась / 3 т	Q = 1410 – 2440, T_w = 15 – 21, $S_{Oч}$ = 2 – 3; $НУ$ = 1–18, фенолы = 1 – 6, $СПАВ$ = 0,5 – 1,1, PO_4 =	н.с.

			1 – 2,6, NO_2 = 1,3, *ХОП* = 1; дефицит O_2, загрязнение	
сентябрь 2005	Днепровско-Бугский лимае, с. Ивановка	бычок/ 22 т	Q = 400 – 700, T_w = 20 – 25, $S_{Oч}$ = 6 – 12; *НУ* = 1 – 3, фенолы = 0,5 –1,8, PO_4 = 1 – 2, NO_2 = 1,3, NH_4 = 1; дефицит O_2, H_2S	н.с.
июль 2006	Каховское вдхр.	карась, судак / н.с.	Q = 500 – 800, T_w = 22 – 28; «цветение», загрязнение	н.с.
ноябрь 2006	р. Ингул, г. Николаев	карп, карась, лещ, тарань/ н.с.	сбросы канализации	н.с.
15.05.2007	Збурьевский Кут, Днепровско-Бугский лиман	толстолобик, белый амур, сазан / н.с.	Q = 911– 985, T_a = 8 – 24, T_w = 10 – 23, $S_{Кинб}$ = 14, $S_{Oч}$ = 3, W = 0 – 3; *НУ* = 1–10; загрязнение	н.с.
07.06.2007	плавни р. Днепр, г. Херсон	толстолобик, зеркальный карп / 40 т	Q = 964 – 1110, T_a = 25 – 27, T_w = 20 – 21, $S_{Oч}$ = 3, W = 5 – 6; *НУ* = 1 – 8, фенолы = 1, *ХОП* = 1,4; «цветение», дефицит O_2	н.с.
15.07.2008	Каховское вдхр.	карась / 8 млн. экз., бычок / 11,5 млн. экз.	Q = 518 – 547, T_w = 23 – 25; «цветение», загрязнение	(10)
15.07.2008 – 17.07.2008	р. Днепр, участок г. Новая Каховка, – с. Львово, 18 км^2	карась, окунь, сом, тюлька, карп, раки / 17 – (100 т)	Q = 528 – 561, T_w = 23 – 24, $S_{Oч}$ = 3 – 4; Железо, NH_4, марганец = 500 – 600; «цветение», загрязнение	н.с.
23.07.2008	Каховское вдхр.	бычок / 22 т, раки / н.с.	Q = 539 – 869, T_w = 24 – 25, $S_{Oч}$ = 2; железо = 3,5; дефицит O_2, сброс эвтрофированных и загрязнённых вод	9,7
25.07.2008 – 28.07.2008	водотоки и водоёмы в дельте р. Днепр	бычок / н.с.	Q = 872 – 1250, T_w = 25, $S_{Oч}$ = 3 – 7; железо и NH_4, *ХОП*; сброс эвтро-	н.с.

			фированных и загрязнённых вод из Каховского вдхр.	
11.01.2009	р. Веревчина, с. Чернобаевка, 120 м^2	карась, верховодка / 4000 экз.	н.с. [152]	н.с.
06.03.2009	р. Ингулец	раки, рыба / н.с.	сбросы горнорудных и др. предприятий	н.с.
13.06.2009	р. Юж. Буг, с. Баловное, с. Кирьяковка	карп, карась / н.с.	запрещённые способы лова	н.с.
18.08.2009 –21.08.2009	Днепровско-Бугский лиман, открытое устьевое взморье, Кинбурнская коса, 857 км^2	бычок / 300 экз.	железо, аммонийный азот = 4,4, PO_4 = 8,8, Cl = 7,4; H_2S	н.с
21.08.2009 –23.08.2009	Днепровско-Бугский лиман, с. Александровка	бычок / н.с.	H_2S [152]	(6,5)
23.08.2009	р. Веревчина, с. Чернобаевка	рыба / н.с.	несанкционированный сброс загрязнённых вод	н.с.
08.11.2009 – 09.11.2009	р.Днепр, г. Новая Каховка, с. Львово, 18 км^2	карась, раки, сельдь, тюлька / 7 – 9 т	н.с. [152]	0,5
11.01.2010	р. Веревчина, с. Чернобаевка, 120 м^2	карась, верховодка / 4000 тыс. экз.	биогены, марганец [152]	н.с.
26.05.2010	р. Веревчина, с. Чернобаевка	карась / 8,6 тыс.т	дефицит O_2 [153]	н.с.
15.06.2010 – 16.06.2010	Каховское вдхр., р. Днепр, г. Новая Каховка, с. Крынки, Новоалександровский лиман, г. Цюрупинск, с. Казачьи Лагери, р. Ингулец	карась, щука, бычок, лещ, тарань окунь, тюлька, горчак, чебачок, колюшка /113	марганец, железо = 7 – 4; дефицит O_2 [153]	6,5

		тыс. экз.		
05.08.2010 – 07.08.2010	р. Ингул, р. Юж. Буг, Бугский лиман, г. Николаев	бычок	жара, смыв, дефицит O_2, [152]	н.с.
10.08.2010 – 11.08.2010	Днепровско-Бугский лиман, с. Александровка, с. Софиевка, с. Широкая Балка	карась, бычок, раки / 1,28 млн. экз.	жара, дефицит O_2, H_2S, [152]	н.с.

Примечания: н.с. – нет сведений; ( ) – сомнительные данные; Q – расход воды р. Днепр у Каховской ГЭС, $м^3/с$; $S_{Кинб}$, $S_{Оч}$ – средняя солёность воды в Кинбурнском проливе, ‰; T_a – температура воздуха в г. Херсоне, ˚С; T_w – температура воды, ˚С; W – скорость ветра, м/с; концентрация биогенных, загрязняющих и др. веществ приведена в долях ПДК.

В последнее время частота заморных явлений увеличилась, в водохранилищах Днепровского каскада заморы различного масштаба отмечаются почти ежегодно, иногда по несколько раз в год. Участились они на устьевом участке, в водоёмах и водотоках, расположенных в дельте р. Днепр, прудовых хозяйствах, в восточной части Днепровского лимана. Сбросы неочищенных промышленных отходов играют в этом явлении существенную роль, как и естественная эвтрофикация вод. Как видно из табл. 10.3, загрязнённость воды в период, предшествующий заморам, и в день замора существенна: многие ингредиенты имели концентрацию, превышающую ПДК в несколько раз. Наиболее часто заморные явления бывают в августе (в 27 % случаев) и июле (19 % случаев), реже всего – с октября по март (0 – 8 % случаев). В отдельных случаях сток р. Днепр был вполне достаточным, чтобы замор не развился, но из водохранилищ поступала загрязнённая вода, что и могло быть причиной замора в нижнем бьефе Каховского водохранилища. Очевидно, что бóльшая часть заморов, отмечавшихся в июле – августе, связана не только со сбросами загрязнённых вод из водохранилищ, но и с неблагоприятными гидрологическими, гидрохимическими и гидробиологическими условиями, главной составляющей которых является слабая проточность из-за малых попусков, сильный прогрев мелководий, поступление солёной воды (сопровождающееся гибелью пресноводных и солоноводных организмов) и стратифицированность водной

массы, «цветение» воды, отмирание водных организмов с образованием сероводорода и аммиака. Причём, внутригодовое распределение стока р. Днепр в настоящее время (разд. 2.1) не способствует полной «промывке» Днепровско-Бугского лимана, весенние сбросы охватывают, в лучшем случае, верхний 5-ти метровый слой воды, поэтому придонные горизонты содержат большое количество продуктов распада органических веществ, они загрязнены, что негативно сказывается на рыбопродуктивности лимана. По данным специалистов Херсонской гидробиологической станции НАНУ за последний 30-ти летний период рыбное хозяйство области несёт миллионные убытки, ежегодный ущерб составляет 30 – 50 тыс. гривен. Рыбопродуктивность низовьев р. Ингулец за это время уменьшилась в 10 – 13 раз, причиной чему является загрязнение воды и нерациональное природопользование. С ежегодными сбросами предприятий Кривбасса в р. Ингулец поступает 600 – 800 тыс. т хлоридов и сульфатов. Концентрация этих ингредиентов в устье р. Ингулец в 2 % (по хлор-иону) и 8 % (по сульфат-иону) случаев превышает ПДК, иногда в 3 – 8 раз. Резкое уменьшение сбросов Каховской ГЭС в апреле – мае 2002 года привело (по сведениям «Южрыбвода») к гибели икры ценных осетровых пород рыб, суммарный ущерб составил более миллиона гривен. Последующая низкая межень в сочетании с жарой и загрязнением воды в июле – августе (табл. 10.3) обусловили заморы в Днепровско-Бугском лимане, в результате которых погибло более 6 тыс. т рыбы. Небольшие локальные заморы могут быть вызваны таким антропогенным фактором, как браконьерство, особенно при использовании запрещённых способов лова (электроружение, глушение рыбы динамитом и пр.). Обработка сельхозугодий ХОП также может приводить к заморам. Например, при заморных явлениях 1986, 2004, 2005, 2007 и 2008 годов в воде содержались ядохимикаты, в другие годы – данные отсутствуют.

Природными факторами замора являются жара, маловодье, штиль, проникновение солёной воды, эвтрофикация, эпизоотии и естественная убыль ихтиофауны. Глобальное потепление климата в комплексе с загрязнением может привести к региональным экологическим катастрофам. Замороопасные районы показаны на рис. 10.7.

Уже сейчас можно выделить отдельные районы устьевого региона, где чаще всего отмечались заморные явления разного масштаба

и генезиса, но их точные границы пока установить затруднительно. К ним относится и зона сероводородного заражения в судоходном канале, т.к. по материалам исследований специалистов ИН БЮМ НАНУ на 1 км^2 дна при дефиците кислорода погибают от 100 до 200 т гидробионтов. Часто заморы отмечаются в плавнях, мелководных водоёмах в дельте р.Днепр, на слабо проточных участках водотоков. Однако места заморов, показанные на рис. 10.7, требуют уточнения, потому что в отдельных случаях погибшая рыба может быть принесена на мелководье течениями из других районов.

При заморах погибают миллионы экземпляров рыбы, в том числе и ценной, потери исчисляются тысячами тонн, ущербы составляют миллионы гривен. Качество воды сильно ухудшается и восстанавливается не сразу. Так, по сведениям Государственного управления окружающей природной среды в Херсонской области, крупные заморы повторяются раз в 2 – 4 года, а добыча рыбы с середины прошлого столетия по настоящее время сократилась с 3,4 тыс. т до 0,6 тыс.т. Ещё 10 – 15 лет назад херсонские рыбаки вылавливали 1,5 – 2 т рыбы в сутки, а в настоящее время – 2–3 центнера. Заморы всё чаще носят характер локальных экологических катастроф (рис. 10.7).

Потери рыбных ресурсов в результате ЭУКВ можно уменьшить путём разработки и внедрения комплекса мероприятий по снижению сбросов биогенных и загрязняющих веществ, утилизации излишек фитопланктона, образующегося при определённых условиях, аэрации застойных акваторий в межень и штиль, организации специального регулирования сбросов из водохранилищ в замороопасные периоды, а также посредством биологического и биохимического регулирования качества воды экосистемы морского устья.

Только совместными усилиями гидробиологов, гидрохимиков и гидрологов можно выработать необходимые рекомендации, восстановить гидробиологический мониторинг, не осуществляющийся в течение последних 20 лет, разработать методы прогноза опасного ухудшения качества воды и заморов. Эти меры будут способствовать снижению уровня опасности чрезвычайных гидрохимических и экологических явлений, уменьшению количества ЭУКВ, сохранению уникальной экосистемы морского устья рек Днепр и Юж. Буг.



Рис. 10.7. Замороопасные районы в морском устье рек Днепр и Юж. Буг

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии «Океанография морского устья рек Днепр и Южный Буг» проанализированы закономерности гидрофизических и гидрохимических процессов, характеристики которых в настоящее время наиболее изучены. Их комплексный анализ позволил расширить знания об этом многокомпонентном географическом объекте, с характерными взаимосвязанными и взаимообусловленными процессами, выявить причины некоторых гидрологических и гидрохимических явлений и оценить их роль в формировании режима и функционировании экосистемы морского устья рек.

Определяющим фактором устьевых процессов является взаимодействие речных и морских вод с различными физическими, химическими характеристиками и свойствами, происходящее в условиях обмена веществом и энергией с атмосферой, дном и берегами.

Анализ основных аспектов водного и ледового режимов, режима наносов, температуры и солёности воды, а также зависимых от них и хозяйственной деятельности некоторых гидрохимических характеристик морского устья показал, что одним из главных режимообразующих факторов, основной составляющей баланса воды, тепла и веществ является сток р. Днепр. По данным наблюдений с 1961 г. по 2009 г. впервые рассчитаны балансы воды, тепла, солей и наносов Днепровско-Бугского лимана в современный климатический период, дана оценка стока биогенных и загрязняющих веществ.

Установлено, что определяющая роль речного стока проявляется как динамический и тепловой фактор, обусловливающий большинство процессов и явлений, особенно на годовом и многолетнем масштабах. Влияние моря преимущественно проявляется в синоптическом и суточном диапазоне изменчивости характеристик. Учитывая это, можно успешно оценивать масштабы влияния реки и моря на устьевое взморье (что показано на примере расчёта зон теплового влияния и опреснения). Сток рек определяет вынос биогенных и загрязняющих веществ в устье, влияет на их концентрацию и распределение. От его величины зависит степень опасности гидрологических и экологических явлений. Большой сток рек способствует затоплению территорий, малый – ухудшению качества воды и заморным явлениям.

Многие важные проблемы не освещены в этой монографии. Малоизученными остаются устья рек Ингул, Ингулец, Березань и Сосик, при том, что удельная антропогенная нагрузка на их бассейны может быть не меньше, чем на бассейны рек Днепр и Юж. Буг.

В работе уделено внимание исследованиям палеогидрологии и берегов морского устья. Выполнена реконструкция и идентификация устьеобразующих рек на период IV – V вв. до н.э., показаны возможные изменения морфометрии устьевого взморья при сохранении современных тенденций эволюции берегов и дна.

Из специфических устьевых процессов рассмотрены основные: взаимодействие и смешение вод, проникновение галоклина в водотоки, перераспределение стока между устьевыми рукавами р.Днепр. Расширены знания о морфологических, тепловых и ледовых процессах, а также о водо-, соле- и теплообмене между Днепровско-Бугским лиманом и граничащей с ним открытой частью устьевого взморья.

В книге приводятся справочные данные о режимных характеристиках за современный климатический период, оценка их тенденций, что может быть использовано для практических целей при решении проблем местного природопользования, планировании хозяйственной деятельности в устьевом регионе. Сведения о качестве водной среды, заморных явлениях в устье, природных и антропогенных факторах их обусловливающих, необходимы для решения проблем конфликтного природопользования, например, судоходства и рыбного хозяйства.

Методология, использованная для изучения режима данной устьевой области, применима для комплексных исследований морских устьев рек разного типа. Выявленные закономерности помогут специалистам в области моделирования гидрологических и гидрохимических процессов выполнить параметризацию моделей функционирования экосистемы морского устья рек Днепр и Юж. Буг.

Расширение области знания, увеличивает граничащую с ней область неизведанного, поэтому данная книга не отвечает на все вопросы устьевой океанографии, она, в том числе, очерчивает круг проблем, которые необходимо исследовать, поэтому, несмотря на широкий спектр рассмотренных тем, появляется ещё больше вопросов, на которые будет необходимо найти ответы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Костяницын М.Н.* Гидрология устьевой области Днепра и Ю. Буга. – М.: Гидрометеоиздат, 1964. – 336 с.

2. *Миньковская Р.Я.* Термины и определения океанографии морских устьев рек. Методическое руководство. – Севастополь, 2009. – 29 с.

3. *Самойлов Н.В.* Устья рек. – М.: Географгиз, 1952. – 528 с.

4. *Байдин С.С.* Стадийность развития устьевой области реки // Тр. ГОИН. – 1971.– Вып. 104.– С. 5–30.

5. *Атлас* Украинской ССР и Молдавской ССР. – М.: Главное управление геодезии и картографии Министерства геологии и охраны недр СССР, 1962. – 92 с.

6. *Національний* атлас України. – К.:ДНВП «Картографія», 2007– 440 с.

7. *Иванов В.А., Миньковская Р.Я.* Морские устья рек Украины и устьевые процессы. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. – 806 с.

8. *Атлас* охраны природы Чёрного и Азовского морей. – С-Пб.: ЦКФ ВМФ, Главное Управление навигации и океанографии России, 2006. – 435 с.

9. *Гожик П.Ф., Новосельский Ф.А.* Геологические условия строительства Днепровско-Бугского гидроузла. – Киев: Наукова думка, 1989. – 120 с.

10. *Ресурсы* поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия / Под ред. М.С. Каганера. – Т.6. – Вып. 1. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1969. – 884 с.

11. *Ресурсы* поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия / Под ред. М.С. Каганера. – Т.6. – Вып. 2. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1971. – 656 с.

12. *http:*//timer-ua.com/turizm.

13. *К.Бобрищев. – http:*//www.fotokritik.ru.

14. *http:*//fotki.yandex.ru/users/valinkevich.

15. *http:*//www.photoukraine.com.

16. *http*://fotki.yandex.ru/ashtenikov2009.

17. *http://*uaTOUR.net.ua.

18. *Иванников А.В., Парышев А.А. и Елин В.Н.* Геоэкологическое районирование береговой зоны Чёрного и Азовского морей. – Геологические проблемы Чёрного моря. – Киев, 2001. – С. 285 – 298.

19. *Романюк О.С., Морозов В.И., Покровский А.Э., Кириакиди В.Е.* Методика составления кадастра надводной части северо-западных берегов Чёрного моря и Крымского полуострова. – Мат. Междунар. науч. конф.

«Геология, география и экология океана» 8 – 11 июня 2009 г., – Ростов-на Дону, 2009. – С. 281 – 285.

20. *Зенкович В.П.* Основы учения о развитии морских берегов. – М.: Издательство АН СССР, 1962. – 710 с.

21. *Щукин И.С.* Общая геоморфология. – М.: Издательство Московского университета, 1974. – 386 с.

22. *Днепровско-Бугская эстуарная экосистема* /Жукинский В.Н., Журавлёва Л.А., Иванов А.И. и др. – Киев: Наукова думка, 1989. – 240 с.

23. *Екологія* та сталий розвиток Миколаєва. – Миколаїв: Виконком Миколаївської міської ради. АЦЕБР, 2004. – 142 с.

24. *Подушка С.Б.* Вырезуб Rutilus frisii frisii (Nordman). – Научно-технический бюллетень лаборатории ихтиологии ИНЭНКО. – СПб, 2004. – № 8. – С.19-72.

25. *Тимченко В.М.* Экологическая гидрология водоёмов Украины. – Киев: Наукова думка, 2006. – 384 с.

26. *Каскад* днепровских водохранилищ //Гидрометеорологический режим озёр и водохранилищ СССР / Под ред. М.С. Каганера. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 348 с.

27. *Викулина З.А*. Водный баланс озёр и водохранилищ Советского Союза. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 176 с.

28. *Клімат* України. – Київ: Видавництво Раєвського, 2003. – 343 с.

29. *Геродот.* История в девяти книгах // пер. Мищенко Ф.Г. – М., 1885 – 1886. Т.I – II, кн. IV, §§ 17, 19, 51 – 57, 71, 81, 82. – С. 45 – 82.

30. *Страбон.* География. – М. «Наука», 1964. – кн. VII – XI.

31. *Plinius Secundus (Maior)*/ Naturalis historia/ Natural history/ With an Engl. trans. in 10 vol., v. 1 – 7, L/ – Cambridge (Mass.), 1947 – 1956.

32. *Рыбаков Б.А.* Геродотова Скифия. Историко-географический анализ. – М.: «Наука», 1979. – 242 с.

33. *Огиевский А.В.* Гидрология суши. – М.: Сельхозгиз, 1951. – 516 с.

34. *Швець Г.І.* Стік Дніпра нижче Києва. – К.: Вид. АН УРСР, 1957. – 128 с.

35. *Швець Г.І.* Многовековая изменчивость стока Дніпра. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 84 с.

36. *Демидов А.Н., Миньковская Р.Я.* Автоматизированная система Государственного Водного Кадастра по морям и морским устьям рек – основа оценки состояния водной среды // Вода: проблемы и решения. Труды V Международной научно-практической конференции (Днепропетровск, 21 – 22 сентября 1999 г.). – Днепропетровск, 1999. – С. 56–59.

37. *Справочник* по климату СССР. Температура воздуха и почвы. – Вып.10. – Ч.II. – Л.: Гидрометеоиздат, 1967. – 100 с.

38. *Справочник* по климату Чёрного моря. – М.: Гидрометеоиздат, 1974. – 408 с.

39. *Климатологический* справочник СССР. Вып. 11. По Крымской области, побережью Азовского и Чёрного морей. – М.-Л.: Гидрометеоиздат, 1949. – 255 с.

40. *Климатологический* справочник СССР. Вып. 11а. По Крымской области, побережью Азовского и Чёрного морей. Ч. 1. Температура воздуха. – Л.: Гидрометеоиздат, 1954. – 335 с.

41. *Алисов Б.П.* Климат СССР. – М.: Изд. Московского университета, 1969. – 225 с.

42. *Мячкова Н.А.* Климат СССР. – М.: Изд. Московского университета, 1983. – 192 с.

43. *Гидрометеорологические* условия шельфовой зоны морей СССР. Т.4. Чёрное море. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 100 с.

44. *Лабунская Л.С.* О бризах Черноморского побережья // Тр. УкрНИГМИ, 1961. – Вып. 23. – С. 49-55.

45. *Гидрометеорология* и гидрохимия морей СССР. Т.4. Черное море. Вып.1. Гидрометеорологические условия. – С-Пб: Гидрометеоиздат, 1991. – 430 с.

46. *Государственный* Водный Кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек. Ч. 2. Устья рек. 1976 – 2009. – Севастополь: СО ГОИН, МО УкрНИГМИ, 2009.

47. *Справочник* по климату СССР. Ветер. – Вып. 10. – Ч.I II. – Л.: Гидрометеоиздат, 1967. – 609 с.

48. *Стихийные* метеорологические явления на Украине и в Молдавии / под ред. В.Н.Бабиченко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 224 с.

49. *Барановский В.А.* Екологічні проблеми атмосферного повітря. – К. : Центр екологічної освіті та інформації, 2000. – 12 с.

50. *Львович М.И.* Реки СССР. – М.: Мысль, 1971. – 352 с.

51. *Львович М.И.* Человек и воды. М.: Гос. изд. геогр. Литературы, 1963. – 568 с.

52. *Симов В.Г., Гринько Е.С.* Расчёт распределения стока воды в устьях рек для оценки их загрязнения (на примере устья Днепра) // Труды ГОИН. – 1978. – Вып. 145. – С. 28–34.

53. *Гринько Е.С.* Основные закономерности гидрологического режима дельты Днепра. // Труды ГОИН. – 1978. – Вып. 142. – С. 89–92.

54. *Копайгородский Е.М.* Изменение водного баланса и солёности Днепро-Бугского лимана в связи с зарегулированием стока р.Днепра. – Тр. ГОИН, 1955. – Вып. 020. – с. 79–124.

55. *Розенгурт М.Ш.* Течії Дніпровсько-Бузьского лиману та їх мінливість. Наукові зап. Одеської біологічної станції АН УРСР, 1962. – Вып. 4. – 65 с.

56. *Слатинский Ю.Г.* Материалы и статьи по гидрологическому режиму Днепро-Бугского лимана. – Севастополь: ГМО ЧАМ, 1962. – 40 с.

57. *Слатинский Ю.Г.* Об обмене вод между Днепро-Бугским лиманом и Чёрным морем. – В кн.: Гидрофиз. и гидрохим. исследования в Чёрном море. – М.: Наука, 1967. – С. 48–50.

58. *Розенгурт М.Ш., Толмазин Д.М.* Перспективы и методы исследования водо- и солеобмена Днепровского лимана с Чёрным морем. – К.: Наукова думка, 1971. – 46 с.

59. *Морозов В.И., Симов В.Г.* Течения в Кинбурнском проливе. – Тр. ГОИН, 1987. – Вып. 180. – с. 59–70.

60. *Симов В.*Г., *Черёмина Р.П.* Влияние течений и водообмена на экологию Днепровского и Бугского лиманов // Мат. конф. «Совершенствование управления развитием рекреационных систем». – Севастополь: СО ГОИН, 1987. – С. 377–384. – Деп. В ВИНИТИ, № 5804–В–87.

61. *Маргвелашвили Н.Ю.* Численное моделирование трехмерных полей течений и солёности в Днепровско-Бугском эстуарии // Диагноз состояния среды прибрежных и шельфовых зон Чёрного моря. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 1996. – С. 31–37.

62. *Нестеров А.А., Мадерич В.С.* Моделирование гидродинамики и процессов переноса в Днепро-Бугском эстуарии // Морской гидрофизический журнал. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. – С. 66–77.

63. *Миньковская Р.Я.* Преобладающие течения в устьевых областях рек Дунай, Бельбек, Чёрная, Днепр и Южный Буг теплообмена // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. – С. 194–203.

64. *Самойленко В.С.* Современная теория океанического испарения и её практическое применение // Тр. ГОИН, 1952. – Вып. 21. – С. 3 – 31.

65. *Альтман Э.Н.* К вопросу об изменчивости расходов воды в Керченском проливе (по натурным наблюдениям) // Тр. ГОИН, 1976. – Вып. 132. – С. 17 – 28.

66. *Большаков В.С.* Трансформация речных вод в Чёрном море. – К.: Наукова думка, 1970. – 328 с.

67. *Журавлёва Л.А.* Гидрохимия устьевой области Днепра и Южого Буга в условиях зарегулированного речного стока. – К.: Наукова думка, 1988. – 176 с.

68. *Симов В.Г., Морозов В.И., Миньковская Р.Я., Фомина И.Н.* Обмен энергией и веществами между устьевыми водоёмами и сопредельными морями в условиях антропогенного воздействия // Охрана природной среды морей и морских устьев рек. Материалы Всесоюзного совещания. – Владивосток, 1986. – С. 37–46.

69. *Тимченко В.М.* Эколого-гидрологические исследования водоёмов северо-западного Причерноморья. – К.: Наукова думка, 1990. – 240 с.

70. *Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В.* Оценка точности гидрологических расчётов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 280 с.

71. *Тимченко В.М., Шерешевский А.И.* Оценка водообмена на Нижнем Днепре в современных условиях // Тр. УкрНИИ Госкомгидромета, 1987. – Вып. 220. – С. 87–101.

72. *Палеева С.В, Симов В.Г.* Водные балансы дельт рек Днепра, Дона и Кубани и их изменения под влиянием антропогенных факторов // Тр. ГОИН, 1981. – Вып. 153. – С. 40 – 48.

73. *Государственный водный кадастр.* Гидрологический ежегодник.– Киев.– т. 2, Вып. 0, 1965 – 1980; т. II, Вып. 1, 1981 – 1983; Обнинск: ВНИИГМИ МЦД.– т. II, Вып. 1, 1984 – 1988; Л. – М: Гидрометеоиздат.– т. 2, Вып. 1, 6, 1936 – 1940; т. 2, Вып. 0, 1, 6, 1941 – 1949; т. 2, Вып. 0, 1, 1950 –1964; Киев.– т. 2, Вып. 1, 1965 – 1980; т. II, Вып. 1, 1981 – 1983; Обнинск: ВНИИГМИ МЦД.– т. II, Вып. 1, 1984 – 1988; Л.– М. – т. 2, Вып. 5, 1936 – 1939; т. 2, Вып. 2 – 5, 1941 – 1944; т. 2, Вып. 2, 1945 – 1957; т. 2, Вып. 5, 1958 – 1964; Киев.– т. 2, Вып. 5, 1965 – 1980; т. I, Вып. 2, 1981 – 1983; Обнинск: ВНИИГМИ МЦД.– т. II, Вып. 2, 1984 – 1988.

74. *Государственный водный кадастр.* Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – К.: ДОД Госкомгидромета, 1989 – 2006. – Вып. 1, 2. – ч. 1. Реки и каналы.

75. *Шамов Г.И.* Речные наносы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1954. – 348 с.

76. *Денисова А.И., Нахшина Е.П., Новиков Б.И., Рябов А.К.* Донные отложения водохранилищ и их влиянии на качество воды. – К.: Наукова думка, 1987. – 164 с.

77. *Тимченко В.М., Сипченко П.В.* О связи прозрачности воды с содержанием взвешенных веществ в крупных реках и водоёмах Украины // Гидробиологический журнал, 1984. – Вып. 1. – Т. XX. – С. 66–69.

78. *Скриптунов Н.А, Демиденко Н.А.* Временная изменчивость мутности воды на устьевом взморье Волги // Тр. ГОИН, 1986. – Вып. 179. – С. 90–105.

79. *Самойлов И.В., Саяпина Л.И.* Устье Днепра. – М.: ГОИН, 1951. – 78 с.

80. *Миньковская Р.Я., Симов В.Г.* Температура воды и ледовые условия в устьях больших рек Азовского и Черного морей. – Севастополь, 1994. – 185 с. – Деп. в ДНТБ Украины 03.01.95. – № 36-Ук95.

81. *Миньковская Р.Я.* Возможные изменения ледово-термического режима под влиянием хозяйственной деятельности // Круговорот веществ и энергии в водоёмах. – Вып. VI. – Иркутск: СО АН СССР, 1985. – С. 8–12.

82. *Справочник* по гидрологическому режиму морей и устьев рек СССР. Ч. 1. Т. 4. Вып. 2. Дунайская и Днепро-Бугская устьевые области. – Киев: ФОЛ УГМС УССР, 1971. – 233 с.

83. *Алмазов А.М.* Гидрохимия устьевых областей рек. – Киев: Изд. АН УССР, 1962. – 256 с.

84. *Симонов А.И.* Гидрология и гидрохимия устьевого взморья. – М.: Гидрометеоиздат, 1969. – 232 с.

85. *Симов В.Г.* Солёность Днепро-Бугского лимана и возможные изменения её после зарегулирования стока Днепра // // Труды ГОИН. – 1984. – Вып. 172. – С. 19–28.

86. *Руководство* по гидрологическому исследованию морских устьев рек. – М.: Гидрометеоиздат, 1965. – 340 с.

87. *Алмазов А.М.* Методические указания и таблицы для расчётов солёности и концентрации отдельных ионов в воде Днестровского, Днепровского и Бугского лиманов и северо-западной части Чёрного моря. – К.: Изд. АН УССР, 1962. – 38 с.

88. *Алёкин А.М.* Основы гидрохимии. –Л.: Гидрометеоиздат, 1970.– 413 с.

89. *Розенгурт М.Ш.* Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. – К.: Наукова думка, 1974. – 224 с.

90. *Мальцев С.В.* К методике расчёта солёности воды на устьевом взморье закрытого типа (на примере Днепро-Бугского лимана) // Труды ГОИН. – 1976. – Вып. 129. – С. 53–64.

91. *Шатова О.А., Хмара Т.В., Слепчук К.А., Ястреб В.П.* Межгодовая изменчивость солёности вод Днепро-Бугского лимана // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. – Вып. 20. – С. 185–194.

92. *Иванов В.А., Ильин Ю.П.* Атмосферные и гидрологические условия, способствующие распространению речных вод в северо-западной

части Чёрного моря // Комплексные экологические исследования Чёрного моря. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1995. – С. 68–81.

93. *Скриптунов Н.А.* Влияние речного стока на гидрологические процессы на устьевом взморье в ледовый период // Труды ГОИН. – 1976. – Вып. 129. – С. 5–36.

94. *http:*//glovis.usgs.gov.

95. *http://*www.gao.spb.ru/database/esai.

96. *С.М. Варзар* К вопросу об отыскании скрытых периодичностей. Метод А. Шустера // Записки ГГИ, 1934. – Т. XIII. – С. 39–77.

97. Наставление по службе прогнозов. – Л. Гидрометеоиздат, 1982. – разд.3, часть III. – 144 С.

98. *Атлас* льдов Чёрного и Азовского морей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1962. – 70 с.

99. *Титов А.Ф.* Ветровые волны. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 295 с.

100. *Руководство* по гидрологическим исследованиям в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях. – М.: Гидрометеоиздат, 1972. – 396 с.

101. *Руководство* по расчету параметров ветровых волн. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 40 с.

102. *Руководство* по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях. – М.: Гидрометеоиздат, 1973. – 537 с.

103. *СНиП* 2.06.04 – 82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). – М.: Госстрой СССР, 1989. – 41 с.

104. *Миньковская Р.Я.* Волнение в Днепровско-Бугском лимане // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1999. – С. 72–78.

105. *Государственный* Водный Кадастр. Ежегодные гидрохимические данные о качестве морских вод (Чёрное и Азовское моря, Севастопольская бухта). 1977 – 2008. – Севастополь: СОГОИН, МО УкрНИГМИ, 2008.

106. *Государственный* Водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Ч. 1. Реки и каналы. Украина. 1983 – 2007. – Вып. 3. – Киев: ДОД Госкомгидромета, 2007.

107. *Гордеев В.В.* Речной сток в океан и черты его геохимии. – М.: «Наука», 1983. – 160 с.

108. *Найдёнова В.И.* Гидрохимическая характеристика средних и больших рек европейской территории СССР. – Л.: Гидрометеоиздт, 1971. – 295 с.

109. *Тарасов М.Н., Смирнов М.П., Крючков И.А., Лаки Г.И.* Речной сток биогенных веществ с территории СССР и его изменение во времени (1936 – 1980 гг.) / Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – С. 49–66.

110. *Алёкин О.А., Бражникова Л.В.* Сток растворённых веществ с территории СССР. – М.: «Наука», 1964. – 144 с.

111. *http:*//nikportal.net.

112. *Иванов А.И.* Фитопланктон устьевых областей рек северо-западного Причерноморья. – К.: Наукова думка, 1982. – 212 с.

113. *Холопцев А.В., Павлова Е.А.* Межгодовая изменчивость концентрации фосфатов и нитратов в водах устьевой зоны реки Южный Буг и солнечная активность. – Екологічні проблеми Чорного моря. – Одеса, ОЦНТЕПІ, 2004. – С. 488–492.

114. *Зенин А.А., Белоусова Н.В.* Гидрохимический словарь. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 239 с.

115. *Тайченачев Д.В., Миньковская Р.Я., Демидов А.Н.* Характеристика абиотических компонент экологического состояния акватории порта Николаев // Экология моря. Понт Эвксинский II : Тр. конф. молодых учёных (Севастополь, 18-20 сент. 2001 г.). – Севастополь: ИнБЮМ НАНУ, 2002. – С. 127–131.

116. *Миньковская Р.Я., Демидов А.Н.* Вынос радионуклидов р.Дунай в Чёрное море. – Материалы III съезда по радиобиологии. – М., 1997. – Т. 2. – 392–394.

117. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: «Высшая школа», 1977. – 480 с.

118. *Каплин В.Т., Перельштейн Е.И., Фесенко Н.Г.* Роль донных отложений в процессе самоочищения водоёмов от фенольных соединений // Гидрохимические материалы. – Новочеркасск, 1966. – Т. XLII. – 287–295.

119. *Константинов А.*С. Общая гидробиология. – М.: «Высшая школа», 1986. – 472 с.

120. *Чижик А.К., Шерман И.М., Белая Н.Г.* Влияние некоторых растительных сообществ и химических соединений на улучшение качества сбросных вод Херсонского ЦБК. – Сб.: Круговорот вещества и энергии в водоёмах. Лиственичное на Байкале, 1977. – С. 229–233.

121. *Потипун В.И.* Изучение некоторых вопросов самоочищения черноморских вод от детергента (первичного алкилсульфата) методом моделирования // Труды ГОИН. – 1978. – Вып. 145. – С. 78–82.

122. *Каплин В.Т., Косогова А.С., Зернова Л.С., Фесенко Н.Г.* Адсорбционная способность природных донных отложений по отношению к синтетическим анионным поверхностным веществам. – Новочеркасск, 1966. – Т. XLII. – 296–301.

123. *Савоськин В.М., Миньковская Р.Я., Демидов А.Н.* Уточнение составляющих баланса нефтепродуктов на основе данных мониторинга Чёрного моря // Системы контроля окружающей среды: сб.науч.тр. МГИ НАНУ. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2002. – С. 436–439.

124. *Руководство* по методам химического анализа морских вод. – Л. Гидрометеоиздат, 1977. – 208 с.

125. *Обобщённый* перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоёмов. – М.: Информцентр ВНИРО, 1990. – 48 с.

126. *Гидрометеорология* и гидрохимия морей СССР. Т.IV. Чёрное море. Вып.3. Современное состояние загрязнения вод Чёрного моря. – Севастополь: «ЭКОСИ-Гидрофизика», 1996. – 231 с.

127. *Пестициды* в устьях рек Днепра и Южного Буга. / Симов В.Г., Клименко Н.П.; МО УкрНИГМИ. – Севастополь, 1997. – 14 с. – Рус. – Деп. В ГНТБ Украины 27.03.1997, № 244 – Ук97.

128. *Временные* методические рекомендации по расчету выноса органических, биогенных веществ, пестицидов и микроэлементов речным стоком. – М.: Гидрометеоиздат, 1983. – 32 с.

129. *Миньковская Р.Я*. Оценка выноса нефтяных углеводородов речными водами // Диагноз состояния среды прибрежных и шельфовых зон Чёрного моря. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1996. – С. 82–91.

130. *Лучшева А.А.* Практическая гидрометрия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 424 с.

131. *Метод* расчёта выноса загрязняющих веществ реками в приёмный водоём. / Симов В.Г.; МО УкрНИГМИ. – Севастополь, 1993. – 13 с. – Рус. – Деп. В ГНТБ Украины 04.11.1996, № 2165 – Ук96.

132. *http:*//mignews.com.ua.

133. *Миньковская Р.Я., Ильин Ю.П., Демидов А.Н.* Вынос биогенных веществ в Чёрное море с речным стоком // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2001. – Вып. 2. – С. 114–118.

134. *Мезенцева И.В., Клименко Н.П., Хоменко О.Н.* Загрязняющие вещества в воде и донных отложениях Днепровского лимана в 1996 – 2006 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – Вып. 18. – С. 38–47.

135. *Морозова А.А.* Оценка стока растворённого и взвешенного железа из Днепровско-Бугской в Чёрное море // Тр. УкрНИГМИ, 2008. – Вып. 257. – С. 181–190.

136. *Михайлов В.Н.* Гидрология устьев рек. – М.: Изд. МГУ, 1998 – 175 с.

137. *Welander P.* An advective model of ocean thermocline // Tellus, 1959. – 11, № 3. – P. 309. – 318.

138. *Лупачёв Ю.В.* Метод приближённого расчёта проникновения солёной воды в устье реки // Труды ГОИН. – 1974. – Вып. 118. – С. 35–43.

139. *Скриптунов Н.А., Лупачёв Ю.В.* Процессы проникновения осолонённых вод из моря в неприливные устья рек // Труды ГОИН. – 1982. – Вып. 161. – С. 68–86.

140. *Повалишникова Е.С.* Причины проникновения морских вод в реки и его экологические последствия // Вестник Московского университета. География и экология. Сер. 5, География. – 2001. – № 3.– С. 20–28.

141. *Гидрология* дельты Дуная / Под ред. В.Н. Михайлова. – М.: ГЕОС, 2004. – 449 с.

142. *Потоцкий П.Н.* Изыскания в устьях р. Днепра. Труды отдела торговых портов. – СПб, 1912 – Вып. XXX. – С. 312–321.

143. *Миньковская Р.Я.* Эволюция побережья морского устья рек Днепр и Южный Буг // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа: сб. науч. тр. МГИ НАНУ. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2009. – Вып. 20. – С. 63–77.

144. *Миньковская Р.Я., Демидов А.Н.* Методика расчета обмена через двухмерные обменные проливы на примере теплообмена // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1999. – С. 22–30.

145. *Донченко Р.В.* Ледовый режим рек СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 248 с.

146. *Одрова Т.В.* Гидрофизика водоёмов суши. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 311 с.

147. *Лупачёв Ю.В.* Методика расчёта теплового влияния речного стока на термический режим вод моря // Тр. ГОИН, 1980. – Вып. 159. – С. 3– 9.

148. *Лупачёв Ю.В.* Метод расчёта нарастания толщины льда в устьевых областях рек // Тр. ГОИН, 1991. – Вып. 198. – С. 181–185.

149. *Положение* о порядке составления и передачи предупреждений о возникновении стихийных (особо опасных) гидрометеорологических и гелиогеофизических явлений и экстремально высоком загрязнении природной среды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 32 с.

150. *Положення* про порядок складання та передачі попереджень і донесень про виникнення стихійних явищ, різних змін погоди, поєднання небезпечних явищ та випадків єкстремально високого забруднення природного середовища. – Київ, 1994. – 33 с.

151. *Журавлёва Л.А., Линник П.Н.* Факторы формирования экстремальных ситуаций в гидрохимическом режиме Днепровско-Бугского лимана // Гидробиологический журнал. – Т. 25, 1989. – С. 69–73.

152. *Интернет-издание* "Херсонщина online", 2009.

153. *http://*xerson.org.ua.

Научное издание

Миньковская Роза Яковлевна

Океанография морского устья рек Днепр и Южный Буг

На русском языке

Подписано к печати 02.06.2011 г. Зам. № 31.
Печ. Офсетная. Формат 60 х 84 1/16.
Тираж 100 экз. Цена договорная.

Напечатано НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика»
99011, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
Свидетельство о государственной регистрации Серия ДК № 914 от 16.02.2002 г.