

Директор
государственного
учреждения науки
исследовательский
«Морской
институт РАН»,
член-корреспондент РАН
Федерального
бюджетного
Федеральный
центр
гидрофизический
Коновалов С.К.



В 2006 г. соискатель окончил Черноморский филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (ныне Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Севастополе) по специальности «физика». Диссертацию на соискание

ученой степени кандидата физико-математических по специальности «геофизика» защитил в 2012 г. в совете, созданном при Морском гидрофизическом институте Национальной академии наук Украины.

По результатам рассмотрения диссертации «Изменчивость динамики вод Черного моря на сезонных и межгодовых масштабах и её влияние на морскую экосистему» принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы.

В диссертационной работе проведено исследование изменчивости динамических процессов в Черном море на сезонных и межгодовых масштабах, а также их влияния на характеристики горизонтального и вертикального обмена веществом. На основе полученных результатов предложен ряд новых механизмов, объясняющих воздействие различных физических факторов (горизонтальной и вертикальной адвекции, конвективного и ветрового перемешивания, изменения стратификации и освещенности) на особенности функционирования морских экосистем в бассейне.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью определения взаимосвязи атмосферных, гидрофизических и гидробиологических процессов для понимания причин изменчивости состояния морских экосистем в условиях меняющегося климата.

В диссертации выполнен комплексный анализ различных океанографических и гидрометеорологических данных: спутниковых измерений альтиметрами, оптическими и ИК-радиометрами, скаттерометрами; гидрологических данных судовых съемок, дрейфующих буйев Арго, заякоренных буйев; биооптических измерений буйев Био-Арго, данных численного моделирования циркуляции океана и массивов реанализа атмосферных полей.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1) впервые определена пространственно-временная изменчивость кинематических, геометрических и термохалинных характеристик вихрей Черного моря, их влияние на термохалинную структуру вод, стратификацию, транспорт тепла и соли на основе разработанных методов автоматической идентификации синоптических вихрей;

2) показано, что вовлечение шельфовых вод в центральную часть вихря является важнейшим источником доступной потенциальной энергии для антициклонов Черного моря и тем самым вызывает их интенсификацию в поверхностных слоях. В результате происходит опускание основного халоклина и сезонного термоклина и, как следствие, разница плотности с окружающими водами значительно возрастает. Это приводит к росту доступной потенциальной энергии в вихре, которая способна поддерживать его существование достаточно длительное время уже после отрыва от источника опресненных вод. На основе численных расчетов исследована эволюция различных характеристик антициклонов при вовлечении шельфовых вод, даны оценки влияния размеров вихря и плотности шельфовых вод на их изменчивость;

3) предложен механизм сезонной генерации антициклонов в Черном море: ослабление даунвеллинга, вызванное ослаблением экмановской накачки, приводит к оттоку опресненных вод с шельфа в центральную часть моря. Положительные горизонтальные потоки плавучести приводят к первоначальному развитию зон антициклонической завихренности. Развивающиеся антициклоны захватывают в свои орбитальные движения шельфовые опресненные воды, что приводит к росту их доступной потенциальной энергии и их дальнейшему усилению. Наиболее интенсивные вихри наблюдаются вблизи зон с максимальными градиентами плотности, связанных с источниками опресненных вод, т.е. зонами максимальных потоков плавучести. Рост экмановской дивергенции в осенний период приводит к усилению и прижатию струи Основного черноморского течения

(ОЧТ) к берегу, что вызывает разрушение антициклонов, находящихся над континентальным склоном бассейна;

4) показано, что завихренность ветра значительно влияет на функционирование экосистемы Черного моря, определяя интенсивность горизонтального обмена на временных масштабах от синоптических до межгодовых. Рост циклонической завихренности ветра, отток вод из центра к периферии бассейна и интенсификация ОЧТ приводят к запираанию поступающих в бассейн речных вод на шельфе, уменьшению количества синоптических вихрей и горизонтальных потоков питательных веществ в центральную часть моря. Такие динамические изменения являются важной причиной межгодовой изменчивости концентрации хлорофилла А, особенно в районе континентального склона и центра северо-западного шельфа, наиболее подверженных влиянию речных вод. Периоды резкого ослабления завихренности ветра и скорости течений вызывают рост концентрации хлорофилла А на 25% на межгодовых масштабах по сравнению с периодами интенсификации;

5) разработаны лагранжевы методы расчета распространения речных вод на основе данных альтиметрических измерений и полученных в работе оценок связи скорости ветра и дрейфовых течений, которые позволили изучить изменчивость распространения дунайских вод за более, чем 20-летний период. Проведено исследование влияния дрейфовых течений, вихревой и крупномасштабной динамики Черного моря на эту изменчивость. Показано, что определяющую роль в распространения вод Дуная играют завихренность ветра, которая формирует режим крупномасштабной и вихревой динамики, и направление ветра, которое определяет направление дрейфового переноса речных вод. Исследовано влияние распространения вод Дуная на особенности пространственной изменчивости концентрации хлорофилла А в западной части Черного моря, полученной по спутниковым данным;

6) исследована сезонная и межгодовая изменчивость вертикального распределения основных биооптических характеристики Черного моря:

концентрации хлорофилла А, показателей обратного рассеяния и показателя диффузного ослабления света, на основе анализа измерений буев Био-Арго, определена связь этих параметров с процессами вертикального обмена и изменениями условий освещенности;

7) впервые описана вертикальная изменчивость характеристик цветения кокколитофорид в летний и зимний периоды на основе анализа измерений показателя обратного рассеяния света по данным буев Био-Арго за 2014–2019 гг. Мощность летних цветений кокколитофорид в Черном море коррелирует с плотностью верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) в зимний период, которая является индикатором интенсивности вовлечения биогенных веществ из глубинных изопикнических слоев. Резкий рост солености, наблюдающийся в последнее время, вызывает увеличение плотности верхних слоев и ослабляет в них халинную стратификацию. Вероятной причиной увеличения солености является интенсификация механического перемешивания, связанная с усилением скорости ветра и течений. Сдвиговая турбулентность в весенне-осенний период года вызывает проникновение теплых вод в глубинные изопикнические слои, которое компенсируется вовлечением глубинных соленых вод из слоя халоклина. Ослабление халинной стратификации привело к чрезвычайно мощному цветению кокколитофорид, наблюдавшемуся в Черном море в 2012 и 2017 гг., которые были теплее, чем холодные 2006 или 2008 гг.;

8) впервые на основе анализа измерений буев Био-Арго показано, что вертикальное положение зоны высоких значений концентрации хлорофилла А во все сезоны определяется вертикальным распределением абсолютных значений фотосинтетически активной радиации (ФАР). Высокие значения концентрации хлорофилла А в течение всех сезонов находились между зоной с низкой освещенностью ($3 \text{ мкмоль фотонов м}^{-2} \text{ с}^{-1}$) и высокой освещенностью ($330 \text{ мкмоль фотонов м}^{-2} \text{ с}^{-1}$), что в пересчете на интегральные суточные ФАР составляет 0,08 и 10 моль фотонов $\text{м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$. Первая величина, предположительно, соответствует компенсационной

освещенности для Черного моря, а вторая – пределу освещенности, выше которого происходит фотоингибирование/фотоадаптация фитопланктона, приводящая к уменьшению флюоресценции и клеточного содержания хлорофилла. При этом зависимость концентрации хлорофилла A от логарифма ФАР имеет гауссовский вид, что соответствует известной кривой зависимости фотосинтеза от освещенности;

9) установлено, что интенсивные шторма способны вызывать аномальные цветения фитопланктона в Черном море в теплый период года, в которых величины–концентрации хлорофилла A по спутниковым данным могут превышать климатические значения в 5–10 раз, а продолжительность цветений может составлять более 3 месяцев. Такие цветения вызваны совместным действием четырех физических факторов: ветрового турбулентного вовлечения биогенных веществ в эвфотический слой; локального Экмановского апвеллинга на периферии шторма; диапикническим перемешиванием на верхней границе нутриклина, связанным с вертикальным сдвигом инерционных течений; интенсификацией циклонической циркуляции под действием интегральной Экмановской накачки;

10) показано, что низкая прозрачность вод, малая толщина эвфотической зоны и, как следствие, малые глубины залегания хемоклина усиливают влияние атмосферного и гидродинамического воздействия на экосистему Черного моря. Вертикальные движения в вихревых и крупномасштабных динамических структурах определяют глубину залегания верхней границы нутриклина, стратификацию вод и характеристики перемешивания. Усиление экмановской накачки во время штормов приводит к подъему хемоклина ближе к поверхности и возникновению зон наибольшего цветения в крупномасштабных циклонических круговоротах и синоптических циклонах. В то же время в синоптических антициклонах, где хемоклин заглублен, рост концентрации хлорофилла A подавляется. Орбитальные движения в вихрях способствуют интенсивному горизонтальному переносу концентрации хлорофилла A и биогенных элементов на значительное расстояние от центра

действия штормов, благоприятствуя развитию цветения в отдаленных от области воздействия штормов районах. Рост толщины ВКС вследствие опускания пикноклина в антициклонах и/или в областях даунвеллинга до величин 50–140 м в зимний период приводит к резкому уменьшению концентрации хлорофилла А из-за недостатка освещенности в этих зонах.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации.

Автором сформулированы основные научные положения и выводы, которые вошли в диссертацию. Диссертантом проводилась постановка целей и задач работы, выбор и разработка методов исследования и анализа, разработка программного обеспечения, выполнение расчетов и анализ полученных результатов. В совместных работах вклад автора заключался в постановке задач, разработке методик измерений, анализе результатов, формулировке гипотез и выводов. Конкретный вклад соискателя в работах с соавторами варьировался от 10% до 95%.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность результатов диссертации обеспечивается использованием большого объема данных, проведенной в работе валидацией и сопоставлением данных различных источников информации (спутниковых, контактных измерений, данных численного моделирования), применением, наряду с новыми подходами, традиционных методов океанографического и гидрометеорологического анализа.

Достоверность использованных альтиметрических данных для исследования динамики Черного моря основывается на проведенной ранее их валидации путем сопоставления с измерениями уровня на прибрежных постах и дрифтерными измерениями скорости течений.

Корректность разработанного метода идентификации вихрей подтверждается сопоставлением его результатов с оптическими и

инфракрасными спутниковыми данными о проявлениях вихрей в полях трассеров.

Полученная информация о характеристиках и структуре вихрей Черного моря хорошо согласуется с данными гидрологических и спутниковых исследований.

Выводы о причинах сезонной изменчивости вихрей согласуются с лабораторными исследованиями в круглом бассейне.

Достоверность результатов, полученных на основе разработанной лагранжевой модели, подтверждается сопоставлением с данными последовательных радиолокационных измерений о смещении нефтяных пленок, а также с данными спутниковых оптических измерений.

Результаты о росте солености Черного моря подкрепляются независимыми оценками, полученными на полигоне в Южном отделении Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Достоверность полученных результатов об изменчивости интенсивности цветения кокколитофорид подтверждается сопоставлением двух источников данных – спутниковых измерений яркости моря и измерений показателя обратного рассеяния буями Био-Арго.

Научная новизна результатов проведенных исследований.

Следующие положения диссертационной работы, принадлежащие лично соискателю, обладают принципиальной научной новизной и получены впервые:

– методы двухмерной автоматической идентификации вихрей по спутниковым измерениям и методы трехмерной автоматической идентификации вихрей по данным численного моделирования, позволившие исследовать горизонтальное и вертикальное распределение их характеристик (радиуса, орбитальной скорости, завихренности, параметров формы, вертикальной термохалинной структуры), время жизни, скорость перемещения, повторяемость наблюдения; сезонную и межгодовую

изменчивость вышеперечисленных параметров, особенности влияния синоптических вихрей на стратификацию, транспорт тепла и соли в бассейне;

- описание механизма влияния ослабления крупномасштабной циркуляции и ослабления экмановской дивергенции на сезонную интенсификацию антициклонов Черного моря;

- описание механизма влияния кросс-шельфовых потоков плавучести на интенсификацию синоптических антициклонов в Черном море;

- оценки влияния сезонной и межгодовой изменчивости крупномасштабной динамики на рост уровня моря в прибрежной части Черного моря и водообмен с Азовским морем;

- новый метод расчета поверхностных дрейфовых течений по данным дрейфтерных и альтиметрических измерений;

- лагранжева модель расчета траекторий перемещения плавающих частиц, речных плумов и растекания нефтяных загрязнений, основанная на спутниковых данных и данных атмосферных реанализов;

- механизмы влияния крупномасштабной и вихревой динамики, а также дрейфовых течений, на пространственно-временную изменчивость концентрации хлорофилла А в Черном море на межгодовых масштабах;

- новые оценки межгодовой и пространственной изменчивости толщины ВКС, её связь с крупномасштабной и вихревой динамикой в Черном море;

- механизм влияния ветрового перемешивания на осолонение верхних слоев и ослабление халинной стратификации Черного моря;

- оценки сезонной и межгодовой изменчивости вертикального распределения основных биооптических характеристик Черного моря: концентрации хлорофилла А, показателя обратного рассеяния, фотосинтетически активной радиации (ФАР), коэффициента ослабления света на различных длинах волн в центральной части Черного моря;

– описание вертикального распределения интенсивности цветений кокколитофорид и механизмов их влияния на образование растворенного органического вещества в Черном море на основе оптических измерений;

– механизмы влияния вертикального вовлечения глубинных вод в верхние слои в зимний период и влияния изменчивости халинной структуры Черного моря на возникновение аномально сильных летних цветений кокколитофорид;

– механизм влияния штормового воздействия на развитие цветения фитопланктона в теплый период в Черном море;

– оценки сезонной изменчивости вертикального распределения ФАР и его взаимосвязь с вертикальным распределением концентрации хлорофилла А;

– механизмы влияния интенсивности конвекции и самозатенения на изменчивость концентрации хлорофилла А, положение её подповерхностного максимума и условия освещенности в Черном море.

Практическая значимость результатов проведенных исследований.

Результаты, полученные в работе, вносят вклад в фундаментальную океанологию в части исследования механизмов формирования синоптических вихрей и их взаимодействия с крупномасштабными течениями; влияния крупномасштабной и вихревой динамики на горизонтальный и вертикальный обмен веществом и стратификацию моря; механизмов распространения речных плумов. Полученные результаты дали новую информацию о влиянии атмосферных и гидрофизических процессов на основные биооптические характеристики морской среды (концентрацию хлорофилла А, показатель обратного рассеяния и ослабления света) и особенности функционирования морских экосистем. Эта информация необходима для понимания причин изменчивости характеристик морских экосистем, развития и валидации численных биохимических моделей, которые дают возможность

контролировать и прогнозировать изменения в морских экосистемах, эффективнее и безопаснее использовать морские ресурсы.

В диссертационной работе развиты новые дистанционные методы определения скоростей поверхностных течений, характеристик вихрей, транспорта примеси и нефтяных загрязнений. Информация об этих процессах востребована широким кругом потребителей, деятельность которых связана с судоходством, рыболовством, добычей и транспортировкой сырья. К внедренным результатам относится модель расчета траектории дрейфа нефтяных загрязнений FOTS, позволяющая прогнозировать последствия нефтяных разливов, определять источники загрязнений и суда-виновники аварий. Данная модель оперативно применяется на морском портале инженерно-технологического центра «Сканекс» и неоднократно была использована для прогноза распространения нефтяных загрязнений и поиска объектов в различных районах Мирового океана (Черном, Каспийском, Карском, Балтийском морях).

Ценность научных работ соискателя.

Результаты, полученные в работе, позволили существенно расширить фундаментальные представления о механизмах формирования и изменчивости характеристик синоптических вихрей, взаимодействия динамических процессов разных масштабов, влияния крупномасштабной и вихревой динамики на термохалинную структуру вод и обмен примесью в Черном море. Новые данные о взаимосвязи атмосферных, гидрофизических и гидробиологических процессов позволили расширить представление о динамике фитопланктонных сообществ и их изменчивости под влиянием различных процессов (штормового воздействия, зимнего выхолаживания, переноса шельфовых вод под влиянием дрейфовых и геострофических течений, изменений условий освещенности). Полученные результаты необходимы для понимания причин современных изменений гидрологии и

экосистем Черного моря в условиях меняющегося климата и вносят значимый вклад в развитие физической океанологии в Российской Федерации.

Специальность, которой соответствует диссертация.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.6.17 – океанология, отрасль наук – физико-математические науки.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

По теме диссертации опубликовано в соавторстве 125 научных работ, из них 60 статей в рецензируемых научных журналах и 65 статей в сборниках трудов и материалов конференций.

Требованиям ВАК при Минобрнауки России удовлетворяет 39 работ в рецензируемых научных изданиях [1–39]. В их числе 39 работ в рецензируемых научных изданиях, входящих в наукометрическую базу Web of Science [1–39], 35 работ в рецензируемых научных изданиях, входящих в наукометрическую базу SCOPUS [1–5, 7–13, 15–19, 22–39]. 12 работ автора [1, 11, 15, 16, 18, 19, 24, 26, 29, 33, 37, 38] опубликованы в изданиях первого квартиля (Q1).

1. **Kubryakov A.A.** Mean Dynamic Topography of the Black Sea, computed from altimetry, drifter measurements and hydrology data / A.A. Kubryakov, S.V. Stanichny // Ocean Science. – 2011. – Vol. 7, Iss. 6. – P. 745–753. – DOI: 10.5194/os-7-745-2011.

2. Kubryakov A.A. Estimating the quality of the retrieval of the surface geostrophic circulation of the Black Sea by satellite altimetry data based on validation with drifting buoy measurements / A.A. Kubryakov, S.V. Stanichny // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. – 2013. – Vol. 49. – P. 930–938. – DOI: 10.1134/S0001433813090089. (**Кубряков А.А.** Оценка качества восстановления поверхностной геострофической циркуляции Черного моря по данным спутниковой альтиметрии на основе сопоставления с дрейферными

измерениями / А.А. Кубряков, С.В. Станичный // Исследование Земли из космоса. – 2013. – № 3. – С. 3–12. – DOI: 10.7868/S0205961413020061).

3. **Kubryakov A.A.** The Black Sea level trends from tide gages and satellite altimetry / A.A. Kubryakov, S.V. Stanichnyi // Russian Meteorology and Hydrology. – 2013. – Vol. 38. – P. 329–333. – DOI: 10.3103/S1068373913050051. (**Кубряков А.А.** Тренды уровня Черного моря по контактными и альтиметрическим наблюдениям / А.А. Кубряков, С.В. Станичный // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 5. – С. 48–55.).

4. Zatsepin A.G. Subsatellite polygon for studying hydrophysical processes in the Black Sea shelf-slope zone / A.G. Zatsepin, A.G. Ostrovskii, V.V. Kremenetskiy, S.S. Nizov, V.B. Piotukh, V.A. Soloviev, D.A. Shvov, A.L. Tsibul'sky, S.B. Kuklev, O.N. Kukleva, L.V. Moskalenko, O.I. Podymov, V.I. Baranov, A.A. Kondrashov, A.O. Korzh, A.A. Kubryakov, D.M. Soloviev, S.V. Stanichny // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. – 2014. – Vol. 50. – P. 13–25. – DOI: 10.1134/S0001433813060157. (Зацепин А.Г. Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря / А.Г. Зацепин, А.Г. Островский, В.В. Кременецкий, С.С. Низов, В.Б. Пиотух, В.А. Соловьев, Д.А. Швов, А.Л. Цибульский, С.Б. Куклев, О.Н. Куклева, Л.В. Москаленко, О.И. Подымов, В.И. Баранов, А.А. Кондрашов, А.О. Корж, **А.А. Кубряков**, Д.М. Соловьев, С.В. Станичный // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 50, № 1. – С. 16–29. DOI: 10.7868/S0002351513060163).

5. **Kubryakov A.A.** Seasonal and interannual variability of the Black Sea eddies and its dependence on characteristics of the large-scale circulation / A.A. Kubryakov, S.V. Stanichny // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. – 2015. – Vol. 97. – P. 80–91. – DOI: 10.1016/j.dsr.2014.12.002.

6. **Kubryakov A.A.** Dynamics of Batumi anticyclone from the satellite measurements / A.A. Kubryakov, S.V. Stanichny // Physical Oceanography. – 2015. – №. 2. – С. 59–68. – DOI: 10.22449/1573-160X-2015-2-59-68. (**Кубряков А.А.** Динамика Батумского антициклона по спутниковым данным / А.А. Кубряков, С.В. Станичный // Морской гидрофизический журнал. – 2015. – № 2. – С. 67–78. – DOI: 10.22449/0233-7584-2015-2-67-78).

7. **Kubryakov A.** Mesoscale eddies in the Black Sea from satellite altimetry data / A. Kubryakov, S. Stanichny // *Oceanology*. – 2015. – Vol. 55, № 1. – P.56–67. – DOI: 10.1134/S0001437015010105. (**Кубряков А.А.** Синоптические вихри в Черном море по данным спутниковой альтиметрии / А.А. Кубряков, С.В. Станичный // *Океанология*. – 2015. – Т. 55, № 1. – С. 65–77. – DOI: 10.7868/S0030157415010104).

8. Zatselin A.G. Propagation and transformation of waters of the surface desalinated layer in the Kara Sea / A.G. Zatselin, V.V. Kremenetskiy, **A.A. Kubryakov**, S.V. Stanichny, D.M. Soloviev // *Oceanology*. – 2015. – Vol. 55, №4. – P. 450–460. – DOI: 10.1134/S0001437015040153. (Зацепин А.Г. Распространение и трансформация вод поверхностного опресненного слоя в Карском море / А.Г. Зацепин, В.В. Кременецкий, **А.А. Кубряков**, С.В. Станичный, Д.М. Соловьев // *Океанология*. – 2015. – Т. 55, № 4. – С. 502–513. – DOI: 10.7868/S0030157415040152).

9. Garmashov A.V. Comparing satellite and meteorological data on wind velocity over the Black Sea / A.V. Garmashov, **A.A. Kubryakov**, M.V. Shokurov, S.V. Stanichny, Y.N. Toloknov, A.I. Korovushkin // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. – 2016. – Vol. 52, No 3. – P. 309–316. – DOI: 10.1134/S000143381603004X. (Гармашов А.В. Сопоставление скорости ветра над Черным морем по спутниковым и метеорологическим данным / А.В. Гармашов, **А.А. Кубряков**, М.В. Шокуров, С.В. Станичный, Ю.Н. Толокнов, А.И. Коровушкин // *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*. – 2016. – Т. 52, № 3. – С. 351–360. – DOI: 10.7868/S0002351516030044).

10. **Kubryakov A.A.** Long-term variations of the Black Sea dynamics and their impact on the marine ecosystem / A.A. Kubryakov, S.V. Stanichny, A.G. Zatselin, V.V. Kremenetskiy // *Journal of Marine Systems*. – 2016. – Vol. 163. – P. 80–94. – DOI: 10.1016/j.jmarsys.2016.06.006.

11. **Kubryakov A.** River plume dynamics in the Kara Sea from altimetry-based lagrangian model, satellite salinity and chlorophyll data / A. Kubryakov, S. Stanichny, A. Zatselin // *Remote Sensing of Environment*. – 2016. – Vol. 176. – P. 177–187. – DOI: 10.1016/j.rse.2016.01.020.

12. Stanichny S.V. Parameterization of surface wind-driven currents in the Black Sea using drifters, wind, and altimetry data / S.V. Stanichny, **A.A. Kubryakov**, D.M. Soloviev // *Ocean Dynamics*. – 2016. – Vol. 66, Iss. 1. – P. 1–10. – DOI: 10.1007/s10236-015-0901-3.

13. Matveev A.Y. Modeling of oil spreading in a problem of radar multiangle diagnostics of Sea surface pollutions / A.Y. Matveev, **A.A. Kubryakov**, A.G. Boev, D.M. Bychkov, V.K. Ivanov, S.V. Stanichny, V.N. Tsymbal // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. – 2016. – Vol. 52. – P. 940–950. – DOI: 10.1134/S0001433816090188 (Матвеев А.Я. Моделирование растекания нефти в задаче радиолокационной многоугловой диагностики загрязнений морской поверхности / А.Я. Матвеев, А.А. Кубряков, А.Г. Боев, Д.М. Бычков, В.К. Иванов, С.В. Станичный, В.Н. Цымбал // *Исследование Земли из космоса*. – 2016. – №. 1-2. – С. 213-213. – DOI: 10.7868/S0205961416010097).

14. Aleskerova A.A. Propagation of waters from the Kerch Strait in the Black Sea / A.A. Aleskerova, **A.A. Kubryakov**, Y.N. Goryachkin, S.V. Stanichny // *Physical Oceanography*. – 2017. – №. 6. – P. 47–57. – DOI: 10.22449/1573-160X-2017-6-47-57. (Алескерова А.А. Распространение вод из Керченского пролива в Черное море / А.А. Алескерова, **А.А. Кубряков**, Ю.Н. Горячкин, С.В. Станичный // *Морской гидрофизический журнал*. – 2017. – № 6. – С. 53–64. – DOI: 10.22449/0233-7584-2017-6-53-64)

15. **Kubryakov A.A.** Quantifying the impact of basin dynamics on the regional sea level rise in the Black Sea / A.A. Kubryakov, S.V. Stanichny, D.L. Volkov // *Ocean Science*. – 2017. – Vol. 13, Iss. 3. – P. 443–452. – DOI: 10.5194/os-13-443-2017.

16. Mikaelyan A.S. Phenology and drivers of the winter-spring phytoplankton bloom in the open Black Sea: the application of Sverdrup's hypothesis and its refinements / A.S. Mikaelyan, V.K. Chasovnikov, **A.A. Kubryakov**, S.V. Stanichny // *Progress in Oceanography*. – 2017. – Vol. 151. – P. 163–176. – DOI: 10.1016/j.pocean.2016.12.006.

17. **Kubryakov A.A.** Interannual variability of Danube waters propagation in summer period of 1992–2015 and its influence on the Black Sea ecosystem /

A.A. Kubryakov, S.V. Stanichny, A.G. Zatsepin // *Journal of Marine Systems*. – 2018. – Vol. 179. – P. 10–30. – DOI: 10.1016/j.jmarsys.2017.11.001.

18. **Kubryakov A.A.** Thermohaline structure, transport and evolution of the Black Sea eddies from hydrological and satellite data / A.A. Kubryakov, A.V. Bagaev, S.V. Stanichny, V.N. Belokopytov // *Progress in Oceanography*. – 2018. – Vol. 167. – P. 44–63. – DOI: 10.1016/j.pocean.2018.07.007.

19. **Kubryakov A.** Reconstructing large-and mesoscale dynamics in the Black Sea Region from satellite imagery and altimetry data – a comparison of two methods / A. Kubryakov, E. Plotnikov, S. Stanichny // *Remote Sensing*. – 2018. – Vol. 10, Iss. 2. – 239. – DOI: 10.3390/rs10020239.

20. **Kubryakov A.A.** Three-dimensional identification of the Black Sea mesoscale eddies according to Nemo numerical model calculations / A.A. Kubryakov, A.I. Mizyuk, O.S. Puzina, M.V. Senderov // *Physical Oceanography*. – 2018. – Vol. 25, №. 1. – P. 18–26. – DOI: 10.22449/1573-160X-2018-1-18-26. (**Кубряков А.А.** Трехмерная идентификация синоптических вихрей Черного моря по расчетам численной модели NEMO / А.А. Кубряков, А.И. Мизюк, О.С. Пузина, М.В. Сендеров // *Морской гидрофизический журнал*. – 2018. – № 1. – С. 20–28. – DOI: 10.22449/0233-7584-2018-1-20-28).

21. Kubryakova E.A. Impact of winter cooling on water vertical entrainment and intensity of phytoplankton bloom in the Black Sea / E.A. Kubryakova, **A.A. Kubryakov**, S.V. Stanichny // *Physical oceanography*. – 2018. – Vol. 25, №. 3. – С. 191–206. – DOI: 10.22449/1573-160X-2018-3-191-206. (**Кубрякова Е.А.** Влияние зимнего выхолаживания на вертикальное вовлечение вод и интенсивность цветения фитопланктона в Черном море / Е.А. Кубрякова, **А.А. Кубряков**, С.В. Станичный // *Морской гидрофизический журнал*. – 2018. – Т. 34, № 3. – С. 206–222. – DOI: 10.22449/0233-7584-2018-3-206-222).

22. Mikaelyan A.S. Regional climate and patterns of phytoplankton annual succession in the open waters of the Black Sea / A.S. Mikaelyan, **A.A. Kubryakov**, V.A. Silkina, L.A. Pautova, V.K. Chasovnikov // *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. – 2018. – Vol. 142. – P. 44–57. – DOI: 10.1016/j.dsr.2018.08.001.

23. **Kubryakov A.A.** Anomalous summer-autumn phytoplankton bloom in 2015 in the Black Sea caused by several strong wind events / A.A. Kubryakov, A.G. Zatsepin, S.V. Stanichny // *Journal of Marine Systems*. – 2019. – Vol. 194. – P. 11–24. – DOI: 10.1016/j.jmarsys.2019.02.004.

24. **Kubryakov A.A.** Propagation of the Azov Sea waters in the Black sea under impact of variable winds, geostrophic currents and exchange in the Kerch Strait / A.A. Kubryakov, A.A. Aleskerova, Y.N. Goryachkin, S.V. Stanichny, A.A. Latushkin, A.V. Fedirko // *Progress in Oceanography*. – 2019. – Vol. 176. – P. 102119. – DOI: 10.1016/j.pocean.2019.05.011.

25. **Kubryakov A.A.** Summer and winter coccolithophore blooms in the Black Sea and their impact on production of dissolved organic matter from Bio-Argo data / A.A. Kubryakov, A.S. Mikaelyan, S.V. Stanichny // *Journal of Marine Systems*. – 2019. – Vol. 199. – P. 103220. – DOI: 10.1016/j.jmarsys.2019.103220.

26. **Kubryakov A.** Wind velocity and wind curl variability over the Black Sea from QuikScat and ASCAT satellite measurements / A. Kubryakov, S. Stanichny, M. Shokurov, A. Garmashov // *Remote sensing of environment*. – 2019. – Vol. 224. – P. 236–258. – DOI: 10.1016/j.rse.2019.01.034.

27. Kubryakov A.A. The Black Sea mixed layer depth variability and its relation to the basin dynamics and atmospheric forcing / **A.A. Kubryakov**, V.N. Belokopytov, A.G. Zatsepin, S.V. Stanichny, V.B. Piotukh, // *Physical oceanography*. – 2019. – Vol. 26, №. 5. – P. 397–413. – DOI: 10.22449/1573-160X-2019-5-397-413. (**Кубряков А.А.** Изменчивость толщины перемешанного слоя в Черном море и ее связь с динамикой вод и атмосферным воздействием / А.А. Кубряков, В.Н. Белокопытов, А.Г. Зацепин, С.В. Станичный, В.Б. Пиотух, // *Морской гидрофизический журнал*. – 2019. – Т. 35, №. 5. – С. 449–468. – DOI: 10.22449/0233-7584-2019-5-449-468).

28. Zatsepin A.G. Physical mechanisms of submesoscale eddies generation: evidences from laboratory modeling and satellite data in the Black Sea / A. Zatsepin, **A. Kubryakov**, A. Aleskerova, D. Elkin, O. Kukleva // *Ocean Dynamics*. – 2019. – Vol. 69, Iss. 2. – P. 253–266. – DOI: 10.1007/s10236-018-1239-4.

29. **Kubryakov A.A.** Seasonal Stages of Chlorophyll-a Vertical Distribution and Its Relation to the Light Conditions in the Black Sea from Bio-Argo

Measurements / A.A. Kubryakov, A.S. Mikaelyan, S.V. Stanichny, E.A. Kubryakova // *Journal of Geophysical Research: Oceans.* – 2020. – Vol. 125(12). – e2020JC016790. – DOI: 10.1029/2020JC016790.

30. Podymov O. Seasonal and interannual variability of vertical turbulent exchange coefficient in the Black Sea pycnocline in 2013–2016 and its relation to variability of mean kinetic energy of surface currents / O. Podymov, A. Zatsepin, **A. Kubryakov**, A. Ostrovskii // *Ocean Dynamics.* – 2020. – Vol. 70, №. 2. – P. 199–211. – DOI: 10.1007/s10236-019-01331-w.

31. Mikaelyan A.S. The impact of physical processes on taxonomic composition, distribution and growth of phytoplankton in the open Black Sea / A.S. Mikaelyan, S.A. Mosharov, **A.A. Kubryakov**, L.A. Pautova, A. Fedorov, V.K. Chasovnikov // *Journal of Marine Systems.* – 2020. – Vol. 208. – P. 103368. – DOI: 10.1016/j.jmarsys.2020.103368.

32. **Kubryakov A.A.** Extremely strong coccolithophore blooms in the Black Sea: The decisive role of winter vertical entrainment of deep water / A.A. Kubryakov, A.S. Mikaelyan, S.V. Stanichny // *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers.* – 2021. – 173, 103554. – DOI: 10.1016/j.dsr.2021.103554.

33. **Kubryakov A.A.** Spatial distribution and interannual variability of cyanobacteria blooms on the North-Western shelf of the Black Sea in 1985–2019 from satellite data / A.A. Kubryakov, P.N. Lishaev, A.A. Aleskerova, S.V. Stanichny, A.A. Medvedeva // *Harmful Algae.* – 2021. – 110, 102128. – DOI: 10.1016/j.hal.2021.102128.

34. Kubryakova E.A. Winter coccolithophore blooms in the Black Sea: Interannual variability and driving factors / E.A. Kubryakova, **A.A. Kubryakov**, A.S. Mikaelyan // *Journal of Marine Systems.* – 2021. – Vol. 213. – DOI: 10.1016/j.jmarsys.2020.103461.

35. Mikaelyan A.S. Effect of Mesoscale Eddy Dynamics on Bioproductivity of the Marine Ecosystems (Review) / A.S. Mikaelyan, A.G. Zatsepin, **A.A. Kubryakov** // *Physical Oceanography.* – 2020. – Vol. 27, No 6. – P. 590-618 – DOI: 10.22449/1573-160X-2020-6-590-618. (Микаэлян А.С. Воздействие мезомасштабной вихревой динамики на биопродуктивность морских

экосистем (обзор) / А.С. Микаэлян, А.Г. Зацепин, **А.А. Кубряков** // Морской гидрофизический журнал. – 2021. – Т. 36, №. 6. – С. 646–675. – DOI: 10.22449/0233-7584-2020-6-646-675).

36. Stanichny S.V. Quasi-tropical cyclone caused anomalous autumn coccolithophore bloom in the Black Sea / S.V. Stanichny, E.A. Kubryakova, **A.A. Kubryakov** // Biogeosciences. – 2021. – Vol. 18, №. 10. – P. 3173–3188. – DOI: 10.5194/bg-18-3173-2021.

37. **Kubryakov A.A.** Cross-Slope Buoyancy Fluxes Cause Intense Asymmetric Generation of Submesoscale Eddies on the Periphery of the Black Sea Mesoscale Anticyclones / A.A. Kubryakov, O.S. Puzina, A.I. Mizyuk // Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2022. – Vol. 127, №. 6. – P. e2021JC018189. – DOI: 10.1029/2021JC018189.

38. Yurovsky Y.Y. Submesoscale Currents from UAV: An Experiment over Small-Scale Eddies in the Coastal Black Sea / Y.Y. Yurovsky, **A.A. Kubryakov**, E.V. Plotnikov, P.N. Lishaev // Remote Sensing. – 2022. – Vol. 14, №. 14. – P. 3364. – DOI: 10.3390/rs14143364.

39. **Kubryakov A.A.** Sinking velocity of small particles in the Black Sea: Vertical distribution and seasonal variability from continuous Bio-Argo measurements of backscattering / A.A. Kubryakov, S.V. Stanichny // Journal of Marine Systems. – 2022. – Vol. 227. – P. 103695. – DOI: 10.1016/j.jmarsys.2021.103695.

Цитирования материалов и отдельных результатов других авторов в диссертации оформлены соответствующим образом.

Диссертация «Изменчивость динамики вод Черного моря на сезонных и межгодовых масштабах и её влияние на морскую экосистему», выполненная Кубряковым Арсением Александровичем, рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.17 – океанология.

Заключение принято на заседании Общеинститутского научного семинара Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН».

Присутствовало на заседании 39 членов Общеинститутского научного семинара. Результаты голосования: «за» 39 – человек, «против» 0 – человек, «воздержалось» 0 – человек, протокол № 16 от 17 ноября 2021 г.

Заместитель председателя
Общеинститутского научного семинара
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Федеральный исследовательский центр
«Морской гидрофизический институт РАН»,
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник и
заведующий отделом теории волн

С.Г. Демышев

Ученый секретарь
Общеинститутского научного семинара
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Федеральный исследовательский центр
«Морской гидрофизический институт РАН»,
кандидат физико-математических наук,
ученый секретарь

Д.В. Алексеев

