

О Т З Ы В

на автореферат и диссертацию на соискание ученой степени кандидата географических наук **КРЕМЕНЧУЦКОГО ДМИТРИЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА** «ФОРМИРОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БЕРИЛЛИЯ-7 (^7Be) В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ» по специальности 25.00.28 – Океанология

Слежу за интересными работами Кременчуцкого Д.А. с 2009 г. и появление его в роли кандидата географических наук по специальности 25.00.28 – Океанология вполне закономерный акт, также можно объяснить обилие текстуальных совпадений с текстом диссертации и моего текста, в этом случае нельзя рассматривать как покушение на авторские права Кременецкого Д.А.

Актуальность темы исследования и степень ее разработки. В настоящее время радиоактивные изотопы являются исключительно информативными трассерами в окружающей среде и одним из таких радионуклидов является ^7Be . Его относительно небольшой период полураспада (53,3 суток) и высокие активности в морской воде (1–12 Бк м⁻³), способность адсорбироваться на взвешенном веществе и отсутствие источников радионуклида в морской среде делают ^7Be полезным трассером в исследовании физических процессов на масштабах времени от синоптического до сезонного. В частности, характеристики пространственно-временной изменчивости концентрации ^7Be в морской среде используются для: исследования субдукции поверхностных вод; вычисления скоростей апвеллинга и коэффициентов вертикальной турбулентной диффузии; оценки потоков питательных веществ; изучения переноса взвешенного вещества и оценки скорости осадконакопления; валидации моделей переноса примесей, что делали только иностранные исследователи, по словам автора. В Черном море характеристики пространственно-временной изменчивости концентрации ^7Be ранее не исследовались, что было благоприятно для диссертанта. Результаты исследования открывают возможность к использованию радионуклида в качестве трассера при изучении процессов, влияющих на его содержание и распределение в Черноморском регионе.

Объект и предмет исследования. Объект исследования – поверхностный слой вод Черного моря. **Предмет исследования** – характеристики и факторы формирования поля концентрации ^7Be в поверхностном слое вод Черного моря.

Цель и задачи исследования. Целью данного исследования являлось выявление особенностей и факторов формирования и эволюции поля концентрации ^7Be в поверхностном слое вод Черного моря. Цель достигалась решением следующих задач: получить данные о пространственно-временной изменчивости концентрации ^7Be в водах Черного моря. Исследовать влияние взвеси на трансформацию поля концентрации ^7Be ; получить данные временной изменчивости содержания ^7Be в приземной атмосфере и в атмосферных выпадениях в Черноморском регионе, как граничного условия и единственного источника данного изотопа. Оценить поток ^7Be на поверхность Черного моря; изучить формирование и эволюцию поля концентрации ^7Be в водах Черного моря методами численного моделирования переноса пассивной примеси и физико-химических процессов с использованием региональной трехмерной термогидродинамической модели циркуляции Черного моря [Демьшев, Коротаев, 1996; Чудиновских, Дымова, 2010]; получить количественные оценки влияния факторов формирования и эволюции поля концентрации ^7Be в поверхностном слое вод Черного моря.

Научная новизна полученных результатов: впервые получены данные о среднесуточных значениях концентрации ^7Be в приземной атмосфере и величине его потока с влажными атмосферными выпадениями в Черноморском регионе; рассчитаны суточные величины потока ^7Be из атмосферы на поверхность Черного моря; данные о концентрации ^7Be в водах Черного моря; исследования распределения ^7Be между растворенной и адсорбированной на взвеси формами в водах Черного моря, установлена функциональная связь с концентрацией взвеси; исследования внутригодовой изменчивости поля концентрации ^7Be в Черном море. Получены количественные оценки влияния адвективного и диффузионного переносов, радиоактивного распада и седиментации ^7Be со взвешенным веществом на эволюцию поля концентрации радионуклида.

Теоретическая и практическая значимость работы. В работе получены количественные оценки влияния различных физических процессов (поступления ^7Be из атмосферы на поверхность Черного моря, адвективного и диффузионного переносов в морской среде, радиоактивного распада и седиментации радионуклида со взвешенным веществом) на внутригодовую изменчивость поля концентрации ^7Be в поверхностном слое вод Черного моря. Эти оценки могут стать основой для дальнейшего использования ^7Be как трассера в исследованиях физико-химических процессов, влияющих на его содержание и распределение в морской среде. Полученные в работе параметризации коэффициента вымывания ^7Be атмосферными осадками и коэффициента распределения радионуклида между растворенной и взвешенной формами в морской воде позволяют провести оценки потока ^7Be из атмосферы на подстилающую поверхность и его концентрации на взвеси. Эти параметризации могут быть использованы при построении моделей переноса радионуклида в атмосфере и морской среде.

Методология и методы исследования. Основным методическим подходом в данной работе являлось получение и комплексный анализ разнородной информации: данных наблюдений (содержания ^7Be в морской воде, на атмосферных аэрозолях и в атмосферных выпадениях, концентрации взвеси, метеоданные) и результатов численных экспериментов. Основным инструментом исследования было численное моделирование с использованием региональной трехмерной гидродинамической модели циркуляции Черного моря (модель МГИ) [Демьшев, Коротаев, 1996]. Исходная модель была дополнена блоком переноса пассивной примеси и параметризациями физико-химических процессов с участием ^7Be , а также параметризациями граничных условий поступления ^7Be с атмосферными выпадениями и его потока на морское дно. Параметризация потока ^7Be на подстилающую поверхность в Черноморском регионе проводилась на массивах данных многолетних наблюдений за поступлением ^7Be с атмосферными выпадениями. Валидация результатов численного моделирования и полноты процесса эволюции поля ^7Be в поверхностных водах Черного моря проводилась по натурным данным содержания и распределения ^7Be в водах моря. Полученные в работе результаты анализировались с привлечением методов математической статистики.

Положения, выносимые на защиту: метод оценки потока ^7Be из атмосферы на поверхность Черного моря; количественные оценки характеристик пространственно-временной изменчивости поступления ^7Be на подстилающую поверхность в Черноморском регионе, а также поля концентрации этого радионуклида в водах Черного моря; количественные оценки влияния различных факторов (поступления ^7Be из атмосферы на поверхность Черного моря, адвективного и диффузионного переносов в морской среде, радиоактивного распада и седиментации радионуклида со взвешенным

веществом) на внутригодовую изменчивость поля концентрации ^7Be в поверхностном слое вод Черного моря.

Степень достоверности результатов проведенных исследований Натурные данные были получены с использованием методов, являющихся общепринятыми в области радиоэкологии. Валидация результатов численных экспериментов, полученных с использованием термогидродинамической модели циркуляции Черного моря (модель МГИ), дополненной блоком распространения пассивной примеси, проводилась на основе натурных данных о концентрации ^7Be . Установлено, что модель корректно воспроизводит пространственно-временную изменчивость поля концентрации ^7Be в исследуемый период: полученные оценки содержания радионуклида согласуются с натурными данными в пределах погрешности определения его концентрации в пробах морской воды.

Связь с научными программами, планами, темами. Работа выполнена в соответствии с научными планами и программами исследований Морского гидрофизического института НАН Украины и Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Морской гидрофизический институт РАН» в рамках следующих научно-исследовательских проектов и грантов, исполнитель: - «Стабильная экосистема», 2006–2010 гг.; - гранты РФФИ.

Апробация работы Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научных мероприятиях: Международная научная конференция (пос. Кацивели, 2010 г.); Международный научно-технический семинар «Системы контроля окружающей среды» (Севастополь, 2009 г., 2011 г., 2012 г.); Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносовские чтения» (Севастополь, 2012 г., 2015 г.); IV научно-практической конференции ЕЛІТ-2012 «Электроника и информационные технологии» (Львов, 2012 г.); Научная конференция (Киев, 2012 г.); Международная научная конференция (Севастополь, 2013 г.); Семинар кафедры радиохимии МГУ (Москва, 2013 г.); V фестиваль науки (Севастополь, 2014 г.); Научная конференция с международным участием проходили в Ростове-на-Дону, 2015 г.; Тарусе, 2016 г.; Москве, 2016 г.; Севастополе, 2016 г.; Севастополе, 10 2016 г.; Севастополе, 2017 г.; Севастополе, 2017 г.; Охриде, Македония, 2017 г.; Борке, 2017 г.; Париже, Франция, 2017 г.; Санкт-Петербурге, 2018 г.

Публикации по теме диссертации. Основные результаты диссертации представлены в 27 работах. Из них: - статей в научных журналах – 3; - статей в рецензируемых сборниках научных трудов – 8; - главы в коллективной монографии – 1; - материалы в сборниках научных конференций – 15. Требованиям ВАК при Минобрнауки России удовлетворяют 9 работ в рецензируемых научных изданиях. В том числе: 3 работы в изданиях, входящих в наукометрические базы Web of Science и SCOPUS; 6 в изданиях, соответствующих п. 10 Постановления Правительства Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 723 «Об особенностях присуждения ученых степеней и присвоения ученых званий лицам, признанным гражданами Российской Федерации в связи с принятием в Российскую Федерацию Республики Крым и образования в составе Российской Федерации новых субъектов – Республики Крым и города федерального значения Севастополя».

Личный вклад соискателя Соискателем совместно с научным руководителем проводилась постановка задач, разработка стратегии численных экспериментов и сбора натурных данных. Им лично осуществлялся выбор методов исследований и отбор проб морской воды в экспедициях. Соискатель принимал участие в мониторинге содержания

радионуклида на атмосферных аэрозолях и в атмосферных выпадениях. Измерения и расчет концентраций ^7Be в отобранных пробах проводились соискателем лично. Соискатель принимал участие в проведении численных экспериментов. Обсуждение основных выводов и результатов исследований осуществлялось соискателем совместно с научным руководителем и соавторами научных публикаций.

Содержание диссертации. Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, показывается ее связь с исследовательскими программами, планами, темами, раскрывается сущность и состояние научной проблемы. Формулируются цель и задачи работы, определяется объект и предмет исследования, приводятся методы исследования. Подчеркиваются результаты, несущие элементы научной новизны, описывается их практическая значимость. Дается краткое описание структуры и содержания диссертационной работы. **В первом разделе** дан краткий обзор современного состояния вопроса. Обсуждаются основные механизмы, управляющие пространственно-временной изменчивостью потока ^7Be на подстилающую поверхность и влияющие на эволюцию поля радионуклида в морской среде. Приводится анализ работ, посвященных моделированию ^7Be в водной среде. **Во втором разделе** описаны методики, используемые в работе для получения данных о содержании радионуклида в окружающей среде, и фактический материал наблюдений. Приведено описание модели переноса ^7Be в морской среде и математическая постановка численных экспериментов. **В третьем разделе** приведен анализ и обобщение натурных данных концентрации ^7Be в Черном море по материалам экспедиционных исследований, полученным на океанографической платформе в пос. Кацивели и в рейсах НИС «Профессор Водяницкий». Выделены основные особенности пространственно-временной изменчивости содержания ^7Be в морской воде, установлена функциональная зависимость коэффициента распределения концентрации ^7Be между растворенной и адсорбированной на взвеси формами. По результатам мониторинга содержания ^7Be на атмосферных аэрозолях и в выпадениях получена параметризация коэффициента вымывания радионуклида из атмосферы с осадками на подстилающую поверхность, проведена ее валидация. **В четвертом разделе** представлены результаты численных экспериментов, их валидация. Проанализирована сезонная изменчивость структуры поля концентрации ^7Be в поверхностном слое вод Черного моря на примере 2016 г. Выделены определяющие ее факторы и исследована их пространственно-временная изменчивость.

В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы. Автор благодарит своего научного руководителя и ближайших товарищей.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка использованных источников. Рукопись содержит 142 страницы, 50 рисунков и 11 таблиц, список литературы из 203 наименований.

Основные научные результаты представленной работы могут быть сформулированы следующим образом: впервые получены натурные данные о пространственно-временной изменчивости концентрации ^7Be в водах Черного моря. Установлено, что общее содержание ^7Be в верхнем квазиоднородном слое вод Черного моря изменяется по пространству и во времени от 1,2 до 9,5 Бк м⁻³, средняя величина составляет $(5,7 \pm 1,9)$ Бк м⁻³. Максимальные величины концентрации ^7Be отмечаются в глубоководной части моря, минимальные – в прибрежной. Резидентное время нахождения радионуклида в верхнем квазиоднородном слое изменяется от 6 до 155 суток. Изотоп обнаруживается в толще воды до глубин 60–70 м; по материалам численных

экспериментов описана и проанализирована сезонная изменчивость концентрации ^7Be в верхнем квазиоднородном слое Черного моря в период с января по декабрь 2016 г. Установлено, что концентрация ^7Be изменялась по пространству и во времени от 2 до 11 Бк м⁻³, относительное содержание радионуклида на взвеси и его концентрации на взвеси – от 6 до 27% и от 400 до 2100 Бк кг⁻¹ соответственно. Повышенные величины концентрации ^7Be были характерны для глубоководной части моря, пониженные – для прибрежной. Максимальные величины отмечались в летний период в юго-восточной части моря, минимальные – в зимний период в северо-западной; выполнен анализ влияния различных факторов на пространственно-временную изменчивость поля концентрации ^7Be в поверхностном слое вод Черного моря. Установлено, что эта изменчивость обусловлена вариациями потока ^7Be из атмосферы, глубины залегания границы верхнего квазиоднородного слоя и концентрации взвеси. Временные изменчивости глубины перемешивания и потока ^7Be на морскую поверхность определяют доминирующий механизм удаления радионуклида из верхнего квазиоднородного слоя – радиоактивный распад или диффузионный перенос.

Автореферат и диссертация логично скомпонованы, написаны легким языком, удачно иллюстрированы и в целом производят приятное впечатление. К сожалению, встретил ошибку в диссертации (стр. 116, 13 строка сверху, в тоЛще; пропущенная буква Л, показана мною полужирным шрифтом), в автореферате напечатано правильно, считать случайным недоразумением.

Автореферат и диссертация «ФОРМИРОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БЕРИЛЛИЯ-7 (^7Be) В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ» являются законченными работами, сделаны на актуальную тему, на высоком теоретическом и экспериментальном уровне, обладают новизной и практической ценностью, результаты имеют убедительную достоверность и отвечает всем требованиям ВАК по географическим наукам по специальности 25.00.28 – Океанология и полностью отражают основные результаты автореферата и диссертации, а **КРЕМЕНЧУЦКИЙ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ** заслуживает присуждения искомой степени.

Лаборатория Гидрологии и гидрофизики ЛИН СО РАН,

Ст.н.с., д.ф.-м.н.,



Шерстянкин Павел Павлович

19 августа 2019 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (ЛИН СО РАН) 664033, г. Иркутск, Улан-Баторская ул., д. 3, а/я 278.
[www:http://lin.irk.ru](http://lin.irk.ru)
ppsherst@lin.irk.ru
+7-964 549 27 59

Подпись П.П. Шерстянкина заверяю:

Учёный секретарь ЛИН СО РАН к.б.н.



(Н.В. Максимова)