УТВЕРЖДАЮ:
Врио директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
кандидат географических наук

_____Горбунов Р.В.

«28» 08 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федеральный исследовательский центр "Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН"
на диссертационную работу
Кременчуцкого Дмитрия Александровича
«Формирование и эволюция поля концентрации Бериллия-7 (^{7}Be) в поверхностном слое вод Черного моря»,
представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности25.00.28 – океанология

Диссертация Кременчуцкого Д.А. «Формирование и эволюция поля концентрации Бериллия-7 (^{7}Be) в поверхностном слое вод Черного моря», выполненная в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Морской гидрофизический институт РАН».

Актуальность темы работы. Исследование посвящено актуальной теме – изучению радиоактивного космогенного естественного изотопа ^{7}Be в Черном море и возможностям его использования как радиоактивного трассера для изучения океанологических задач в морской экосистеме. Работа представлена по специальности океанология. В ней рассматриваются вопросы, касающиеся физических и химических, также частично

биологических (взвесь включает в себя биогенную и косную составляющие) процессов в отношении ^{7}Be в верхнем фотическом слое Черного моря. Представлено также изучение факторов влияющих на эти процессы, включая влияние атмосферы, как источника ^{7}Be для черноморских вод. Оцениваются потоки вещества: атмосферные потоки поступления и потоки элиминации ^{7}Be из поверхностного фотического слоя. Определяются сезонные поля концентраций активности радионуклида в виде натурных исследований, а также теоретического анализа и используется соответствующая модель, проводится ее параметризация и валидация для достижения поставленных задач. Все эти вопросы являются частью океанологических исследований, и поэтому работа полностью соответствует заявленной специальности.

С одной стороны, изучение радионуклидов, включая ^{7}Be, важно как носителей радиационного фактора (ионизирующего излучения). Поэтому представляет интерес изучение уровней его концентрационной активности в воде, особенно в верхнем фотическом слое, где фототрофными организмами производится основное количество первичной продукции. Также важны его миграция из верхнего водного слоя и соотношение потоков поступления ^{7}Be на водную поверхность из атмосферы и его элиминации из поверхностного слоя вод и выявление ведущих факторов влияющих на эти процессы. С другой стороны, знание особенностей перераспределения радионуклида в черноморских экосистемах и интенсивности его поступления позволяет определить круг задач океанологических исследований в Черном море и других морях, в которых ^{7}Be может использоваться как радиоактивный трассер природных процессов. Поскольку Черное море имеет ряд биогеохимических и гидрофизических особенностей как меромиктический глубоководный водоем, то исследования приобретают особую актуальность для дальнейшего развития методов океанологических исследований в Черном море.

Структура и объем диссертации. Представленная работа, содержит все обязательные структурные элементы: титульный лист, оглавление,

введение, 4 раздела, заключение и список литературы. Работа изложена на 142 страницах и включает 61 иллюстрацию в виде 50 рисунков и 11 таблиц, список литературы включает 203 источника из них 143 англоязычные.

Основные результаты, полученные в диссертации. *Первый раздел* работы представляет литературный обзор и посвящен описанию современного состояния изученности уровней концентрационной активности ^{7}Be в атмосфере и морской воде, его источников поступления в объекты окружающей среды и факторов, влияющих на потоки переноса этого радионуклида, а также возможностям имеющихся моделей, описывающих процессы переноса ^{7}Be в морской среде. По итогам первого раздела можно сделать заключение, что источником поступления ^{7}Be служит атмосфера и его поток тесно связан с атмосферными выпадениями на морскую поверхность в основном с влажными осадками. Сухие осадки играли незначительную роль в миграции ^{7}Be. Данные по исследованию уровней этого радионуклида в Черном море отсутствовали, как и его способности в море сорбироваться на взвешенном веществе, что могло влиять на его потоки из поверхностного слоя вод. Согласно литературным данным также отсутствовала трехмерная модель описания переноса ^{7}Be в морской среде. Что подтверждает необходимость и актуальность исследований по данной теме.

Второй раздел диссертации посвящен описанию материалов и методам обработки. При этом он включает не только метаданные отбора проб, но и первичные результаты обработки проб по определению концентрации активности ^{7}Be в морской воде и приземной атмосфере Севастопольского региона, а также потоки радионуклида из атмосферы на подстилающую поверхность. В разделе 2 также отражен личный вклад автора в отборе проб для определения концентрации активности ^{7}Be в морской воде во время морских экспедициях и работах на берегу по отбору проб в приземном слое атмосферы и атмосферных осадков.

Описана трехмерная термодинамическая модель, которая использована в работе для численного моделирования поля концентрации ^{7}Be в морской воде в Черном море и ее дополнение в виде блока переноса пассивной примеси. Выполнена валидация модели по данным температуры и солености.

В *Разделе 3* описаны результаты, полученные по натурным данным по определению ^{7}Be в воде Черного моря и приземном слое атмосферы, включая пространственно-временную изменчивость концентрации ^{7}Be в морской воде, вертикальное его распределение в море, поле концентрации радионуклида в квазиоднородном слое черноморских вод и поток ^{7}Be на поверхность моря из атмосферы. Проведенные исследования позволили установить, что при средней концентрации ^{7}Be в квазиоднородном слое поверхностных вод Черного моря равной 5.7± 1.9 Бк/м^{3}, она варьировала во времени и пространстве от 1.2 до 9.5Бк/м^{3}. На ее изменчивость оказывали влияние такие факторы: изменчивость потока радионуклида из атмосферы и количество взвешенного вещества, а также адвективный перенос водных масс и местоположение акватории (глубоководный или прибрежный район).

Выдвинуто предположение, что пятнистость концентрации ^{7}Be в поверхностной воде может быть обусловлена пятнистостью выпадения атмосферных осадков и их переносом на большие расстояния.

Проведена оценка резидентного времени пребывания радионуклида в поверхностном слое вод, которая составляла от 6 до 155 суток.

Показано, что на взвешенном веществе может адсорбироваться до 10% радионуклида, при этом максимальные значения наблюдали в глубоководных районах. Коэффициент распределения ^{7}Be между растворенной и взвешенной формой в среднем составлял $1.7 \cdot 10^{5}$ л/кг.

Использование модели пассивной примеси позволило провести параметризацию с последующим воспроизведением динамики поступления радионуклида на подстилающую поверхность.

В *Разделе 4* представлены результаты, полученные с использованием метода математического моделирования, по пространственно-временной

изменчивости поля концентрации ^{7}Be в Черном море и влиянию на нее различных факторов. Это позволило преодолеть недостаточность и неравномерность полученных эмпирических данных, охарактеризовать структуру поля и получить количественные оценки влияния разных факторов на изменчивость уровня ^{7}Be в воде Черного моря.

Численные эксперименты показали, что применяемая модель с достаточной степенью точности описывает изучаемые процессы. Адекватность модели подтверждалась значениями количественных параметров, которые согласуются с натурными данными. Проведенные численные эксперименты позволили описать пространственную изменчивость поля концентрации ^{7}Be в глубоководных и прибрежных районах Черного моря, а также его вариации в зависимости от сезона.

Анализ влияния факторов на изменчивость поля концентрации ^{7}Be позволил установить, что основное воздействие оказывали, прежде всего, изменения величины потока ^{7}Be из атмосферы на подстилающую поверхность, глубина залегания квазиоднородного слоя в толще вод и концентрация взвешенного вещества в морской воде. Так как радионуклид короткоживущий, то радиоактивный распад – важная составляющая изменчивости поля концентрации. Доминирование влияния радиоактивного распада или диффузионного переноса радионуклида на поле концентрации его в морской воде определялось вариациями глубины перемешивания вод и потоком поступления радионуклида из атмосферы. Повышенные концентрации ^{7}Be в морской воде обеспечивались повышением потока поступления радионуклида из атмосферы и понижением его выноса из слоя поверхностных вод за счет снижения концентрации взвеси в морской воде и уменьшения глубины залегания верхней границы квазиоднородного слоя вод.

Обоснованность и достоверность результатов. Обоснованность полученных в работе результатов вытекает из получения натурных данных с использованием методов, являющихся общепринятыми в области

радиоэкологии. А также благодаря успешной валидации модели, выполненной по натурным данным температуры и солености. При модельных исследованиях средняя относительная погрешность в разы меньше погрешности определения концентрации ^{7}Be в морской воде, что позволило применить математическуюмодель для решения задач исследования. Это обеспечило корректное воспроизводство пространственно-временной изменчивости поля концентрации ^{7}Be в исследуемый период. Полученные модельные оценки содержания радионуклида согласуются с натурными данными в пределах погрешности определения его концентрации в пробах морской воды.

Научная и практическая значимость. Полученное в ходе натурных исследований и численного моделирования количественное описание влияния на внутригодовую изменчивость поля концентрации ^{7}Be в Черном море различных физических и биогеохимических процессов в системе атмосфера–морская поверхность может быть использовано для дальнейшего применения радиоизотопа ^{7}Be как трассера в исследованиях океанологических процессов, а также дальнейшего изучения факторов, влияющих на содержание и распределение его в морской среде.

Рекомендации по использованию результатов диссертации. Полученные в работе параметризации коэффициента вымывания ^{7}Be атмосферными осадками и коэффициента распределения радиоизотопа между растворенной и взвешенной формами ^{7}Be в морской воде позволяют провести оценки потока этого радиоизотопа из атмосферы на подстилающую поверхность и его концентрации на взвеси в Черном море. Эти количественные показатели могут быть использованы при дальнейшем исследовании переноса радиоизотопа в атмосфере и морской средеметодом математического моделирования.

Замечания по диссертации. Несмотря на все достоинства выполненной работы можно сделать несколько замечаний.

В качестве критерия выбора методики указана только ее простота, что, несомненно, важно, хотя чувствительность методики, химический выход или полнота сорбции, постоянство получаемых результатов при сравнении методик представляются более значимыми. Описан метод измерения активности образцов и приборы, на которых проводили измерения, но не указана организация, в которой проводили эти измерения. В методическом разделе приведены данные по потокам радиоизотопа из атмосферы на подстилающую поверхность, что на наш взгляд относится к разделу о полученных результатах исследования.

В выводах к разделу по натурным наблюдениям (раздел 3) автор утверждает, что ^{7}Be обнаруживается в Черном море в глубоководной части моря до глубин 60-70 м, хотя в разделе 2 указано, что на глубине 60-65 м концентрация ^{7}Be была равна 0.2-0.4 Бк/м^{3}, что составляет достаточно значимую величину. Ни в методической части, ни при описании эмпирических результатов не указано до какой глубины проводили измерения ^{7}Be. На рисунке 3.2, где по описанию представлены вертикальные профили ^{7}Be в воде Черного моря, нет данных глубже 65 м. К тому же большинство рисунков содержит 2-3 точки значения концентрации ^{7}Be и такие данные весьма затруднительно назвать вертикальными профилями и тем более определить по этим натурным наблюдениям границу глубинного распространения ^{7}Be.

В обсуждении вклада сухих выпадений в поток ^{7}Be из атмосферы во главу угла ставится тот факт, что в акватории Черного моря он может достигать 100%, хотя по данным, приведенным на Рисунке 3.19 очевидно, что вклад сухих выпадений на поверхность Черного моря не выше, чем в других морских акваториях, а увеличение его процентного вклада обусловлено отсутствием влажных осадков или крайне низким их уровнем.

Приходится отметить наличие опечаток, несогласованность падежных окончаний, стилистических погрешностей (например, на стр. 15, 94), отсутствие указания в отдельных случаях размерностей величин (особенно в

методической части стр. 36-38) или их неточность. Штриховые лини на ряде рисунков названы пунктирными, аппроксимационная линия – функцией, а не кривой (рис. 3.16) и другие неточности.Указанные замечания не снижают научной и практической ценности выполненного исследования.

Заключение. Диссертационная работа, представленная на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.28 – океанология (географические науки) выполнена на хорошем научно-методическом уровне исочетает в себе натурные исследования и численные эксперименты, что позволило получить новые значимые результаты по теме исследования. Автор показал себя как сложившийся специалист-исследователь, владеющий современными научными методами.

В диссертации имеются необходимые ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в том числе – на научные работы соискателя. Результаты работы прошли апробацию на научных международных и отечественных конференциях, семинарах и симпозиумах. Полученные результаты в полной мере опубликованы в рецензируемых научных изданиях, 9 из опубликованных работнапечатаны в изданиях, удовлетворяющих требованиям ВАК Российской Федерации.

Автореферат диссертации в достаточной мере отражает ее содержание и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842. Диссертация полностьюсоответствует паспорту специальности 25.00.28 – «Океанология» и удовлетворяет всем требованиям действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Кременчуцкий Дмитрий Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и утвержден на совместном заседании Общеинститутского научного семинара и Семинара отдела радиационной и химической биологии Федерального

государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН» протокол № 8 от 28.06.2019 г.

Научный руководитель Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН»,
академик РАН, профессор, доктор биологических наук
Егоров Виктор Николаевич

Ведущий научный сотрудникОтдела радиационной и химической биологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН»,
старший научный сотрудник,
кандидат биологических наук
Терещенко Наталия Николаевна

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ)
просп. Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011,
телефон: +7 (8692) 54-06-49; E-mail: uchsecr@imbr-ras.ru

Подписи В.Н. Егорова и Н.Н. Терещенко заверяю.
Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения наукиФедеральный исследовательский центр «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН»,
кандидат биологических наук
Поспелова Наталья Валерьевна

«28» 08 2019 г.