

На правах рукописи

Бубнова Екатерина Сергеевна

**РОЛЬ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В ИЗМЕНЧИВОСТИ
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

**Специальность 25.00.36. – Геоэкология (науки о Земле)
(географические науки)**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Калининград
2019

Работа выполнена на кафедре географии океана Института природопользования, территориального развития и градостроительства Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта.

Научный руководитель: **Сивков Вадим Валерьевич,** кандидат геолого-минералогических наук.

Официальные оппоненты: **Гогоберидзе Георгий Гививич,** доктор экономических наук, Мурманский арктический государственный университет, информационно-аналитический центр междисциплинарных исследований развития Арктической зоны Российской Федерации, директор.

Ершова Александра Александровна, кандидат географических наук, доцент, Российский государственный гидрометеорологический университет, управление научных и инновационных исследований, директор.

Ведущая организация: ФГБУН "Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН".

Защита состоится «19» декабря 2019 г. в 10.00 на заседании диссертационного совета Д 212.084.09 при ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» по адресу: 236022, г. Калининград, ул. Зоологическая, д.2, ауд. 304, e-mail: tikuznetsova@kantiana.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Балтийского федерального университета им. И. Канта (г. Калининград, ул. Университетская, д. 2). Электронные версии диссертации и автореферата размещены на официальном сайте ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»: <https://old.kantiana.ru/postgraduate/dis-list/259249/>

Автореферат разослан «___» _____ 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук

Т.Ю. Кузнецова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Как водосборный бассейн Балтийское море испытывает значительную антропогенную нагрузку. Основные экологические проблемы Балтики — эвтрофикация, загрязнение, уменьшение биоразнообразия и разрушение морского дна [HELCOM, 2018]. В береговой зоне моря сосредоточена основная хозяйственная деятельность, включая дноуглубление, строительство портовых и берегозащитных сооружений. Одна из важнейших функций Хельсинкской комиссии по защите экосистемы Балтики — геоэкологический мониторинг, охватывающий источники и показатели природного и антропогенного воздействия и различные параметры состояния бассейна.

Наиболее острая экологическая проблема Балтийского моря — эвтрофикация. Прогрессирующее увеличение первичной продукции не сопровождается пропорциональным повышением вторичной продукции. Взвешенное вещество — главный компонент круговорота осадочного материала в водной толще, источник донных осадков [Лисицын, 1978, 2008]. В геоэкологическом отношении аквальный седиментогенез изучен крайне неравномерно и недостаточно. В данной работе впервые сделана попытка оценить влияние взвешенного вещества на геоэкологическое состояние Юго-Восточной Балтики.

Известно, что избыток взвешенного органического вещества выводится из морской экосистемы путем седиментации, что приводит к увеличению его содержания в донных осадках, увеличению биогеохимического потребления кислорода и возникновению гипоксии [Исследование экосистемы Балтийского моря..., 1985]. К зонам максимальной концентрации и активизации взвешенного вещества отнесены границы океан–атмосфера, океан–берег, вода–дно. Кроме того, по [Spellman, 2014], высокие концентрации взвешенных частиц вызывают дополнительное повышение температуры воды и усиливают процесс эвтрофирования.

Взвесь — один из ключевых параметров оценки состояния морской природной среды, в частности — «взвешенные вещества» входят в перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры

государственного регулирования (Распоряжение Правительства РФ от 8 июля 2015 г. N 1316-р). Вместе с тем, взвесь — транспортный агент для других загрязняющих веществ, способных адсорбироваться на поверхности частиц [Лебедев, 1986]. Суммарная площадь поверхности частиц взвеси в 10 раз больше поверхности вода–живое вещество и в тысячу раз больше раздела океан–атмосфера [Айзатуллин и др., 1976]. Важно с этой точки зрения изучение процессов переноса, разрушения и накопления загрязняющих веществ, а также изучение динамики распределения состава и скорости их осаждения [Израэль и Цыбань, 2009]. При определенных условиях и уровнях содержания в воде взвесь способна вызывать вредные (стрессовые) эффекты, вплоть до гибели организмов. Воздействие на морские организмы экстремальных (природных и техногенных) концентраций взвеси проявляется в снижении интенсивности фотосинтеза, поражений органов фильтрации, ухудшении условий питания и размножения, изменения поведения, а при физиологических стрессах даже гибели [Патин, 2001]. Помимо этого, взвешенные частицы являются центрами активных микробных процессов, так как на поверхности частиц происходит окисление и трансформация многих органических соединений [Израэль и Цыбань, 2009].

Объект исследования — взвешенное вещество юго-восточной части Балтийского моря.

Предмет исследования — закономерности изменчивости распределения и состава взвеси как индикатора геоэкологического состояния морской среды.

Степень изученности научной проблемы

Изучение специфики изменений состава и распределения взвешенного вещества в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря, его гранулометрического, минерального и химического состава началось более полувека назад — в середине XX века [Емельянов, 1968; Емельянов, Пустельников, 1976]. Современные данные о распределении и вещественном составе взвеси в изученной акватории представлены в работах [Emelyanov, 2002; Сивков, 2012; Сивков и др., 2017; Лукашин и др., 2018; Kowalczyk et al., 2005; Wozniak et al., 2011; Vaiciute et al., 2012].

Согласно Руководству по мониторингу ХЕЛКОМ, взвешенное вещество входит в число гидрологических характеристик водной толщи, измерение которых

необходимо для контроля уровня эвтрофикации и морского природопользования. В рамках мониторинга ХЕЛКОМ в юго-восточной части Балтийского моря расположена только одна точка наблюдений — ВУ8, что недостаточно для такой акватории. С 2003 г. в исследуемой акватории ООО «Лукойл-КМН» ведется геоэкологический мониторинг, включающий изучение и оценку состояния взвешенного вещества. Данные мониторинга обобщены лишь частично [Нефть и окружающая среда..., 2012]. В связи с этим проведение регионального мониторинга с дальнейшей интеграцией результата в международную систему исключительно актуально.

Цель исследования. Оценка роли взвешенного вещества как индикатора геоэкологического состояния юго-восточной части Балтийского моря.

Для достижения цели решались следующие **задачи**:

1. Выявление пространственной неоднородности циркумконтинентальной и вертикальной зональности распределения взвеси по данным геоэкологического мониторинга.

2. Оценка влияния изменчивости гидролого-гидрохимических условий открытого моря на вертикальное распределение взвешенного вещества.

3. Выявление изменчивости органического и минерального состава взвеси на характерных участках района исследований методом электронной сканирующей микроскопии.

4. Анализ трендов изменения концентрации взвеси в береговой зоне моря.

Научная новизна

На основе авторских карт распределения взвешенного вещества за период 2003–2018 гг. в российском секторе Юго-Восточной Балтики были выделены зоны повышенной концентрации (северное побережье Калининградского полуострова). Анализ вертикального распределения взвеси для акватории впервые был выполнен на основе комплексных гидрофизическо-гидрохимических данных в условиях ассимиляции вод, поступивших в результате затоков североморских вод. Наблюденные плотностные седиментационные барьеры не были достаточно резки, чтобы вносить осложнения в распределение взвешенного вещества. Впервые для района исследования вещественный состав минеральной и биогенной фракций взвеси был исследован с помощью электронной сканирующей микроскопии, что

выявило основные взвесеобразующие минералы (кварц, полевые шпаты и глинистые минералы) и позволило обнаружить скопление бактериальной взвеси на границе окислительно-восстановительных условий.

Практическая значимость работы

Модернизирована схема геоэкологического мониторинга, которая позволяет оптимизировать затраты на его проведение, в том числе, на выявление зон рискованного рыболовства (гипоксии и сероводородного заражения) и абразии берега. Результаты исследования могут найти применение при разработке региональной системы комплексного управления прибрежной зоной в районе национального парка «Куршская коса» – объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО и дополнить международную сеть мониторинга геоэкологического состояния Балтийского моря под эгидой Хельсинкской комиссии.

Личный вклад автора

Полевая и камеральная обработка проб взвешенного вещества в 11 экспедициях ИО РАН и их анализ методом сканирующей электронной микроскопии, статистическая обработка первичных данных, их интерпретация и картографическое представление выполнены лично автором. Сформирована база данных АО ИО РАН по весовой концентрации взвеси и модернизирована существующая схема геоэкологического мониторинга юго-восточной части Балтийского моря.

Защищаемые положения:

1. Сезонная и межгодовая изменчивость концентрации и состава взвеси в поверхностном и придонном слоях Гданьского бассейна определяется, главным образом, биопродуцированием в слое 0–40 м; ослаблена роль плотностных барьеров (термоклина и галоклина), препятствующих выводу взвеси из водной толщи в донные осадки.

2. Межгодовая изменчивость количества и состава взвеси в придонном слое Гданьской впадины зависит от противоположно направленного влияния эвтрофикации и импульсных затоков североморских вод; вызванная этим противодействием миграция верхней границы зоны сероводородного заражения (редоксклин) сопровождается соответственным перемещением взвеси, насыщенной бактериопланктоном.

3. Орография берега, соответствующие ей течения и локальные источники антропогенной взвеси в районе Куликовской бухты и Калининградского янтарного комбината приводят к осложнению циркумконтинентальной зональности ее распределения в юго-восточной части Балтийского моря — увеличению ширины прибрежной градиентной зоны ее концентрации.

4. Положительный тренд концентрации взвеси, сформировавшийся в 2003–2018 гг. между Куршской косой и Калининградским полуостровом, обусловлен действием комплекса факторов: усилением эвтрофикации, штормовой активности и береговой абразии и активизацией хозяйственной деятельности в береговой зоне моря.

Апробация работы. Материалы диссертации были представлены на международных и национальных конференциях, в том числе: EGU General Assembly 2016 (апрель 2016 г. Вена, Австрия); EMECS'11 — Sea Coasts XXVI Joint Conference (август 2016 года, Санкт-Петербург, Россия); II Всероссийская научная конференция молодых ученых (апрель 2017 г., Москва, Россия); XXII Международная Научная конференция (Школа) по морской геологии (ноябрь 2017 г., Москва, Россия), 7th IEEE/OES Baltic Symposium (июнь 2018 г., Клайпеда, Литва), Школа летняя, 14-й Коллоквиум по морской геологии Балтийского моря (сентябрь 2018 г., Стокгольм, Швеция), GeoHab 2019 (май 2019 г., Санкт-Петербург, Россия). Работа в рамках диссертации была поддержана РФФИ (грант мол_a № 18-35-00656, 2018-2019 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, из них 5 — статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, 1 раздел в монографии и 4 статьи в международных сборниках.

Структура и объем диссертации.

Диссертация включает 134 страницы, 3 таблицы и 74 рисунка.

Глава 1 посвящена описанию геоэкологического состояния Юго-Восточной Балтики, характеристике проблем акватории, роли взвешенного вещества и истории его изучения. Глава 2 включает описание примененных методик и собранных материалов. В главе 3 представлена пространственно-временная изменчивость концентрации и состава взвеси в Юго-Восточной Балтике за 2003–2018 гг. В главе 4 сформулирован геоэкологический анализ распределения,

изменчивости и состава взвешенного вещества в меняющихся геоэкологических условиях. Логическим итогом служит усовершенствованная схема геоэкологического мониторинга.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю В.В. Сивкову за помощь на всех этапах исследований, критические замечания и полезные советы, а также своим коллегам из ИО РАН, в частности: М.В. Капустиной – за поддержку и ценные замечания, В.А. Кречику — за помощь в сборе и описании гидрологических данных, А.В. Креку — за конструктивную критику и помощь в организации экспедиций, М.О. Ульяновой за всестороннюю поддержку, Е.В. Крек за помощь в сборе натурных данных и спутниковые снимки, В.Н. Лукашину, Т.В. Букановой и В.А. Гриценко — за сотрудничество и совместные публикации. Автор также благодарит А. Битинаса и Г. Жалюдене за сотрудничество при освоении и использовании сканирующей электронной микроскопии, Е.В. Краснова, И.И. Волкову и Т.В. Шаплыгину за ценные замечания. За предоставленные материалы и организацию экспедиций автор особо благодарит ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» и ООО «Морское венчурное бюро».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения.

Глава 1 посвящена описанию геоэкологического состояния Юго-Восточной Балтики, характеристике проблем акватории, роли взвешенного вещества и истории его изучения. Балтийское море считается одним из наиболее чувствительных к загрязнению, так как принимает бытовые и промышленные стоки густонаселенных районов Европы. Главным фактором, формирующим специфику и изменчивость придонных условий Балтики, являются периодические затопки соленых североморских вод. Небольшой объем воды в море и медленный водообмен через Датские проливы с Северным морем способствует концентрированию в Балтике загрязняющих веществ с высокой химической и биохимической устойчивостью. Солоноватые водные массы стратифицированы в течение всего года. Эти свойства в сочетании с некоторыми биологическими особенностями делают море подверженным многим формам антропогенного воздействия [Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т.Ш..., 1994]. Согласно [HELCOM, 2018], основными экологическими проблемами Балтийского моря на

2018 год являются эвтрофикация, загрязнение (воды и затопленное химическое оружие), обеднение биоразнообразия, морской мусор, виды-вселенцы, перевылов рыбы и потеря донных ландшафтов.

Юго-Восточная Балтика активно используется человеком и является местом пересечения интересов рыбного промысла, морского транспорта, национальной обороны, добычи полезных ископаемых (нефть, янтарь) и рекреации. Пока не полностью нашли решение вопросы очистки бытовых отходов, сбрасываемых в море. В настоящее время, особенно в прибрежной зоне, отмечается устойчивая тенденция к увеличению различных видов антропогенной нагрузки на геоэкологическую среду.

Изменчивость состава и распределения взвешенного вещества соответствует изменчивости геоэкологического состояния юго-восточной части Балтийского моря, поскольку взвесь играет роль в процессах эвтрофикации и загрязнения региона. Таким образом, предметом исследования является изменчивость распределения и состава взвешенного вещества, которые являются индикатором состояния морской среды. В общем виде роль взвешенного вещества в геоэкологическом состоянии Юго-Восточной Балтики и практическую значимость этого можно выразить с помощью схемы (Рисунок 1).



Рисунок 1. Роли взвешенного вещества в геоэкологическом состоянии Юго-Восточной Балтики и связанные с ними типы хозяйственной активности

Проведенный обзор предшествующих исследований взвеси в Балтийском море выявил пробел в рассмотрении ее с геоэкологической, а не геологической

точки зрения. В то же время, в контексте современных изменений климата, растущих эвтрофикации и антропогенной нагрузки, именно недостаток комплексного подхода выбрать направление диссертационного исследования и сформулировать его цель и задачи.

Глава 2 включает описание примененных методик и собранных материалов. В процессе работы над диссертационным исследованием основным источником данных служили результаты геоэкологического мониторинга юго-восточной части Балтийского моря. При сборе натуральных данных были использованы следующие методики: принудительная фильтрация морской воды, гидрофизическое зондирование водной толщи, определение кислорода методом Винклера и сканирующая электронная микроскопия. Пост-обработка полученных данных велась статистическими методами в STATISTICA и картографическими методами в QGIS, ArcGis и OceanData View [Schlitzer, 2018].

Основными источниками данных для исследования послужили результаты экологического мониторинга ООО «ЛУКОЙЛ-КМН», АО ИО РАН и дополнительные единичные исследования в районе значимого источника антропогенной взвеси — Калининградского янтарного комбината. Схема точек наблюдений, на которых были отобраны пробы морской воды за период с 2003 по 2018 гг., представлена на рисунке 2.

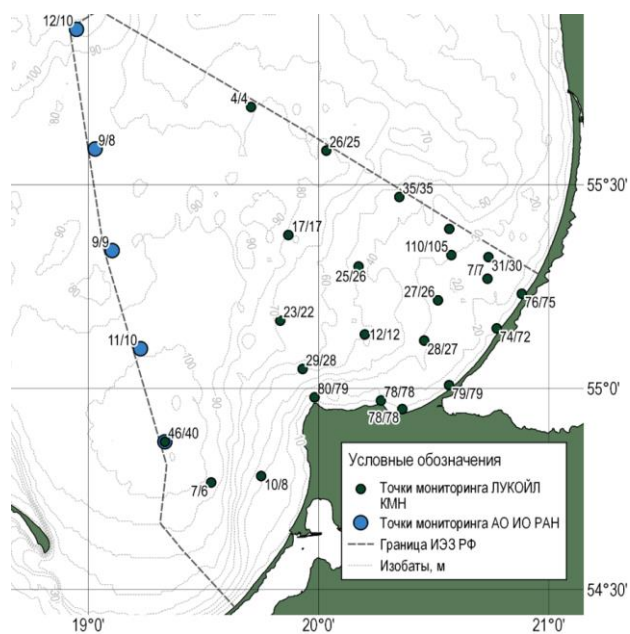


Рисунок 2. Карта фактического материала. Количество измерений в точках мониторинга в поверхностном/придонном слое

В главе 3 представлена пространственно-временная изменчивость концентрации и состава взвеси в Юго-Восточной Балтике за 2003–2018 гг. Среднегодовое (2003–2018) пространственное распределение взвешенного вещества в *поверхностном слое* (Рисунок 3А), соответствует циркумконтинентальной зональности [Айзатуллин и др., 1976], поскольку абсолютные максимальные значения концентрации взвеси наблюдались в прибрежной зоне Калининградского полуострова. Пространственное распределение взвешенного вещества в *придонном слое* Гданьского бассейна также следует закону циркумконтинентальной зональности, как и в поверхностном слое (Рисунок 3Б). Тем не менее, ширина градиента концентрации взвеси на разных участках берега отличается, маркируя зоны абразии и источники антропогенной взвеси.

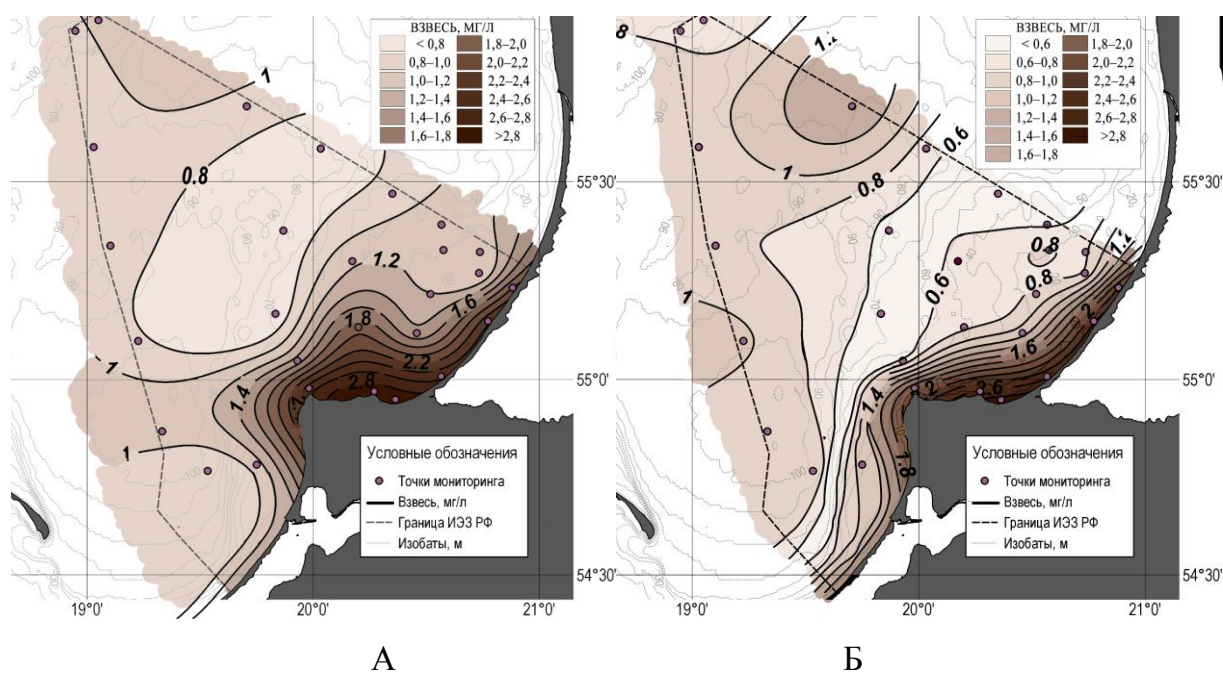


Рисунок 3. Среднегодовое распространение взвешенного вещества в поверхностном (А) и придонном (Б) слоях юго-восточной части Балтийского моря

Таким образом, можно заключить, что естественная циркумконтинентальная зональность на акватории Юго-Восточной Балтики осложняется орографией берега и господствующими направлениями течений, создавая благоприятные условия для выноса взвешенного вещества (как органического, так и терригенного происхождения) в открытую часть моря. Существующая схема мониторинга не

является исчерпывающей, так как упускает важные техногенные источники взвешенного вещества на западном побережье Калининградского полуострова.

В распределении концентрации взвешенного вещества в поверхностном слое моря самые высокие значения ($>2,8$ мг/л) наблюдались в береговой зоне моря в Куликовской бухте. Вертикальное распределение взвешенного вещества вдоль северного побережья Калининградской области неоднородно: прибрежная зона Куршской косы не стратифицирована по вертикали (Рисунок 4). Минимальные значения концентрации взвеси приурочены к побережью Куршской косы, где происходит аккумуляция осадочного материала, и придонному слою в районе мыса Таран, где не развит процесс абразии.

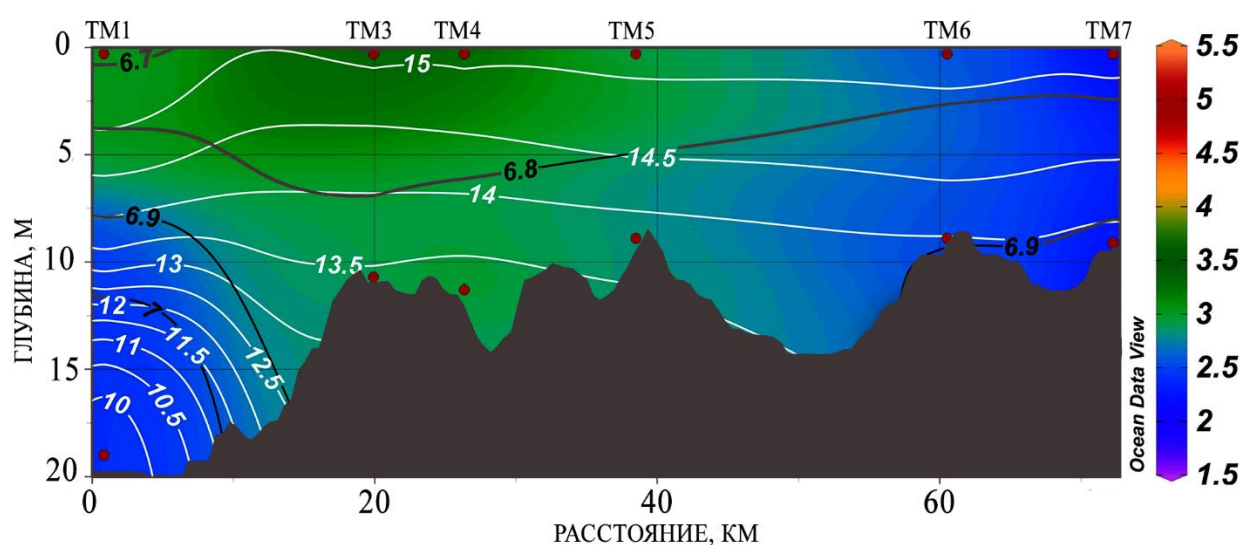


Рисунок 4. Среднее многолетнее распределение взвеси (мг/л) вдоль северного побережья Калининградской области за период 2003-2018 гг. Белые изолинии — температура ($^{\circ}\text{C}$), черные — соленость (ПЕС), красные точки — точки пробоотбора

Пространственное распределение взвешенного вещества вдоль северного побережья Калининградской области указывает на наличие зоны размыва берега в районе м. Гвардейский (точка мониторинга 3) и Куликовской бухты (точка мониторинга 4), а также на наличие зоны аккумуляции в районе Куршской косы. Направление потока взвешенного вещества от района с высокой антропогенной нагрузкой (Калининградский полуостров) к национальному парку и объекту Всемирного наследия ЮНЕСКО может негативно сказываться на экологическом состоянии последнего в зависимости от состава переносимых и отлагаемых взвешенных частиц.

Наряду с концентрацией взвешенного вещества в береговой зоне были выявлены особенности вещественного состава взвеси с помощью метода сканирующей электронной микроскопии. По сравнению с береговой зоной калининградского полуострова, у побережья Куршской косы уменьшилось количество минеральных зерен и минеральных агрегатов, однако в их составе стало больше глинистых минералов с высоким содержанием железа, в связи с чем точная идентификация частиц оказалась затруднена. Источником дополнительного железа в пробах взвеси могут служить как природные (размыв ожелезненных гидроокислами железа слоев палеогенового песчаника — «земли Кранта»), так и антропогенные источники (судоходство, берегозащитные мероприятия, строительство в береговой зоне). Необходимо отметить, при промышленной добыче янтаря ожелезненные песчаники разрушаются и попадают в море, что может служить дополнительным источником железа во взвеси.

Изучение вертикального распределения взвешенного вещества в открытой части акватории позволило заметить некоторые особенности, некоторые из которых связанные с современным изменением климата, затоками североморских вод и усилением эвтрофикации. Во-первых, вертикальное распределение взвеси в Юго-Восточной Балтике как в сезонном, так и в межгодовом масштабе содержит в себе основные черты, характерные для всех морских бассейнов, а именно повышенные значения концентрации взвеси у поверхности моря ($>0,8$ мг/л) и у его дна ($>1,0$ мг/л) и промежуточный слой минимальных концентраций ($<0,4$ мг/л), расположенный на глубине 50–70 м. Во-вторых, сезонные колебания концентрации взвеси весьма значительны и обусловлены, главным образом, сезонным ходом биопродуцирования в поверхностном слое моря и стока рек. Концентрация взвеси в придонном слое моря не показала сколь-либо заметных аномалий, связанных с влиянием затоков североморских вод и вызванных ими перемещений «старых» (с низкой концентрацией кислорода) придонных вод из западных бассейнов Балтики. Полученная нами картина вертикального распределения взвеси относится, в основном, к условиям активизации затоков североморских вод, которые хотя и слабо, но обеспечивают вентиляцию придонных вод в Юго-Восточной Балтике. Можно предположить, что при длительном отсутствии затоков над Гданьско-Готландским порогом будет существовать придонный нефелоидный слой,

обусловленный выпадением во взвесь растворенных соединений железа и марганца на окислительно-восстановительном геохимическом барьере (в редоксклине). В-третьих, не получено подтверждения барьерной роли плотностных границ (термоклина и галоклина) в седиментационных и геохимических процессах. На этих потенциальных геохимических барьерах не обнаружено замедления седиментации и возникновения скоплений взвешенного вещества, а значит нет оснований говорить об интенсификации здесь биогеохимических процессов, связанных с деятельностью фито-, бактерио- и зоопланктона и разложением органических частиц. Возможно, для выявления барьерного эффекта «скачков плотности» в толще воды требуется более детальное их опробование.

В главе 4 сформулирован геоэкологический анализ распределения, изменчивости и состава взвешенного вещества в меняющихся условиях. Экологические условия в придонном слое Гданьской впадины значительно зависят от затоков североморских вод: они часто характеризуются недостатком содержания растворенного кислорода (Рисунок 5) и наличием сероводорода даже в периоды активизации за托ковых явлений.

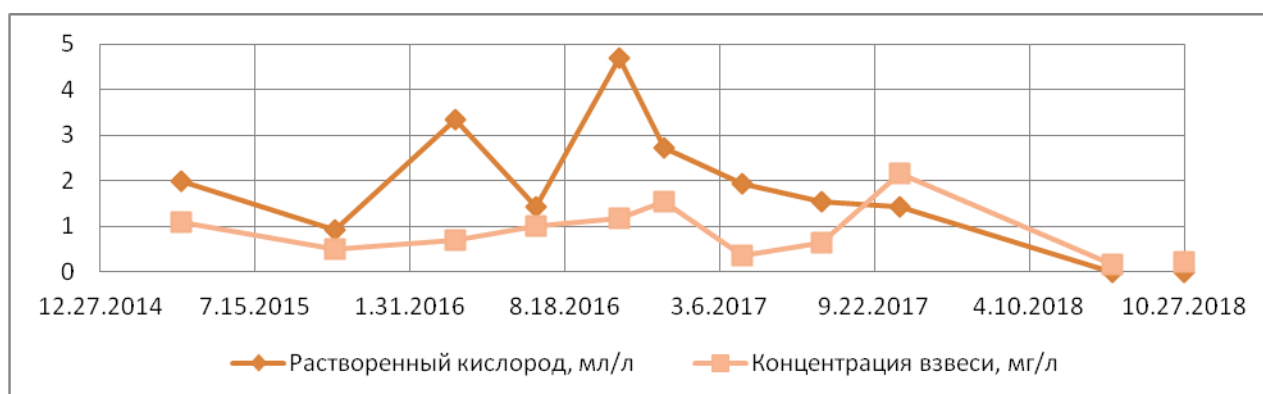


Рисунок 5. Ход концентраций растворенного кислорода и взвешенного вещества после Большого Рождественского затока 2014 г.

Затоковые явления и формирование зон гипоксии оказывают значительное влияние на вещественный состав взвеси в придонном слое, что хорошо иллюстрируют данные электронной сканирующей микроскопии. Пробы взвеси для анализа были отобраны с декабря 2017 г. по ноябрь 2018 г., в период перехода от окислительных условий в глубинных водах к восстановительным.

В декабре и апреле 2017 г. в пробах наблюдалось большое количество органического вещества и частиц вернадита (Рисунок 6), который является

бактериогенным минералом, образующимся на границе окислительно-восстановительных условий. Преобладающим минералом являлся кварц, затем шли полевые шпаты (ортоклаз и альбит), глинистые минералы и амфиболы.

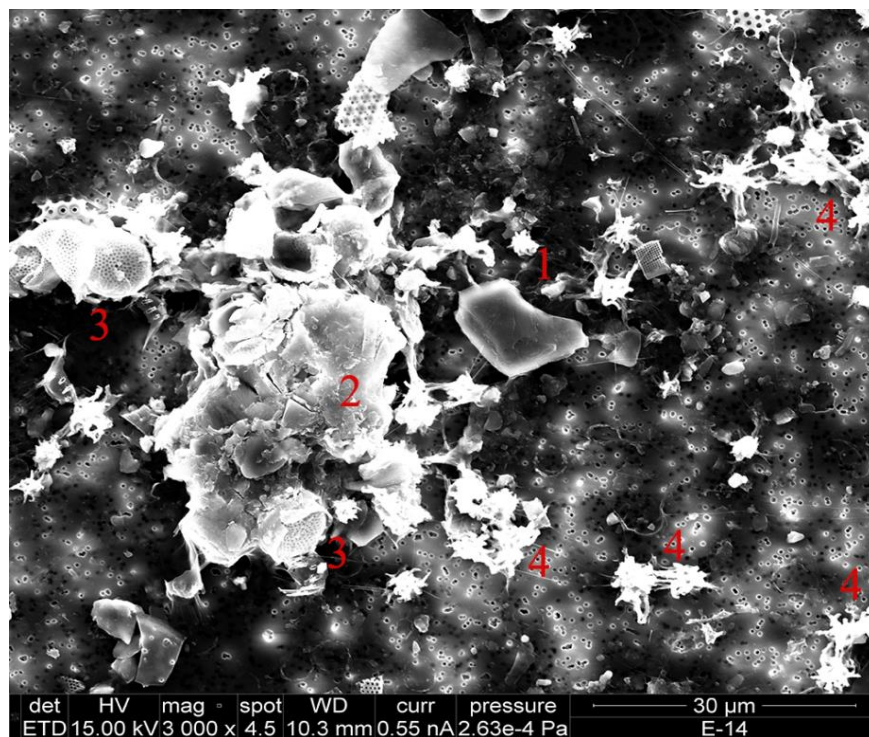


Рисунок 6. Проба взвеси E14, Гданьская впадина, дата отбора 01.04.2017 г., горизонт пробоотбора 103 м. 1 — частица гедрита, 2 — агрегат из частиц иллита и смектита, 3 — обломки диатомей, 4 — вернадит

При увеличении содержания сероводорода в придонном слое и толщины слоя сероводородного заражения к октябрю 2018 г. граница смены окислительных условий на восстановительные переместилась выше, на глубину 80–77 м. Таким образом, условия, благоприятные для бактериального окисления растворенных форм марганца также сместились на эту глубину. Пробы, отобранные в августе 2017 г., показывают уже не начальные стадии развития вернадита, а процесс агрегации его с минеральными частицами (кварцем и глинистыми минералами) (Рисунок 7).

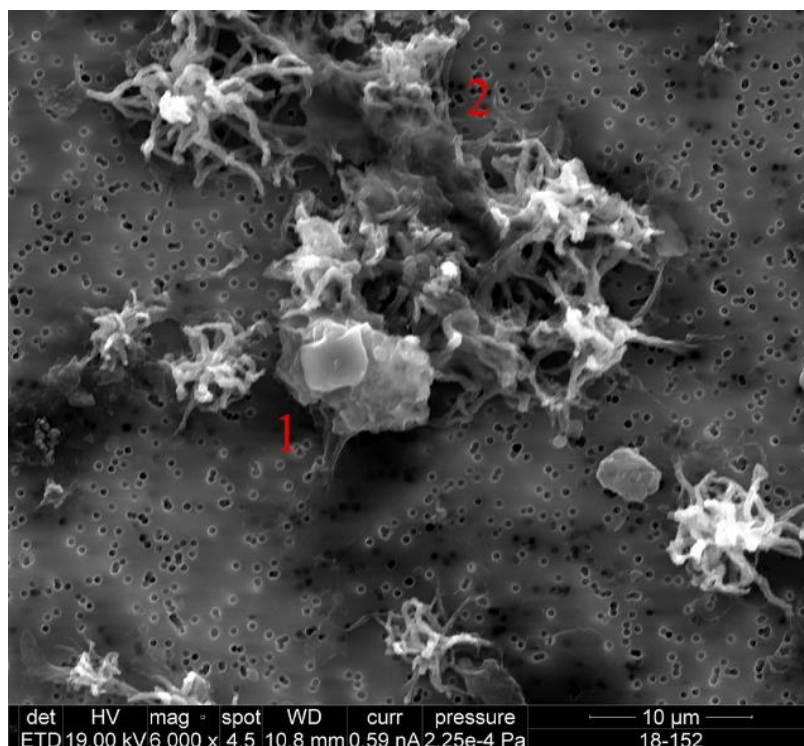


Рисунок 7. Проба взвеси 18-152, Гданьская впадина, дата отбора 02.08.2018 г., горизонт пробоотбора 80,2 м. 1 — частица ортоклаза, 2 — вернадит

Таким образом, межгодовой ход гидрологических параметров, растворенного кислорода и состава взвешенного вещества в придонном слое Гданьской впадины указывает не только на нерегулярное поступление затоковых североморских вод, но также и на общую для Балтийского моря тенденцию к высокой скорости ассимиляции растворенного кислорода. Наличие перехода от окислительных условий к восстановительным в придонном слое Гданьской впадины вызывает развитие слоя повышения концентрации взвешенных форм марганца, образованных в процессе бактериального окисления. Образовавшиеся частицы не вносят большого вклада в весовую концентрацию взвеси, поэтому зафиксировать наличие аутигенных нефелоидных слоев можно лишь с помощью оптических методов (мутность на мультипараметрическом зонде). Кроме того, в процессе жизнедеятельности сульфид-окисляющих бактерий в придонном слое Гданьской впадины образуется взвешенная сера.

Межгодовой ход концентрации взвешенного вещества в береговой зоне моря связан с большим количеством параметров: биопродуцирование, штормовая активность, хозяйственная деятельность. Как следствие, он с трудом поддается прогнозу и моделированию. В частности, для всех точек мониторинга,

расположенных вдоль северного побережья Калининградской области от м. Таран до центральной части Куршской косы, был посчитан линейный тренд концентрации взвеси за период с 2003 по 2018 гг. По результатам значимости тренда береговая зона была разделена на 2 типа (Рисунок 8).

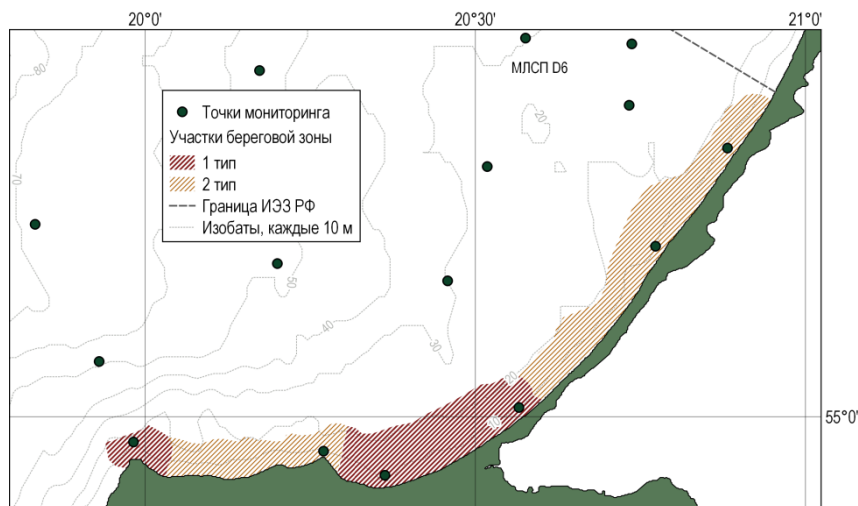


Рисунок 8. Карта-схема участков береговой зоны Калининградской области, где выражен положительный тренд в концентрации взвеси (тип 1) и где тренд незначителен (тип 2)

1 тип — участки береговой зоны, где наблюдается положительный тренд (от 0,016 до 0,025 мг/л за 15 лет) по взвешенному веществу. Это, в первую очередь, зона высокой первичной продукции: бухта у корня Куршской косы [Кудрявцева, 2017]. Тенденция увеличения концентрации взвеси может быть связана как с изменениями в биопродуктивности, так и с гидрометеорологическими параметрами и связанной с ними абразией берега. Данный тренд косвенно указывает на рост уровня эвтрофированности на этих участках акватории региона. Положительный тренд в концентрации взвеси наблюдается в районе м. Таран, где значительно действие апвеллингов и вихреобразование. Кроме того, эта зоны испытывает влияние западного побережья Калининградского полуострова и, не в последнюю очередь, деятельности Калининградского янтарного комбината. 2 тип — участки без выраженного повышения концентрации взвеси, что позволяет обозначить их как устойчивые.

Таким образом, в зону с наибольшим риском повышения концентрации взвешенного вещества при существующих высоких концентрациях попадает обширная акватория между Калининградским полуостровом и Куршской косой,

хозяйственное использование представлено, в основном, рекреацией, и часть акватории, открытой к воздействию западного побережья полуострова.

Несмотря на то, что объемы сброса твердого вещества Калининградского янтарного комбината (КЯК) в море несопоставимы с объемами речного твердого стока для региона — 30 км³/год для р. Висла [Majewski, 1994] и 3,7 км³/год [Dubra, 1994] для Вислинского залива, КЯК является важным элементом антропогенной нагрузки на акваторию. Поступление взвешенного вещества со сбросом комбината происходит нерегулярно по времени. В частности, с 1991 г. объемы добычи янтаря существенно снизились, уменьшился и объем рыхлого материала, сбрасываемого в море с 1,2 млн.м³ в 1991 г. до 0,8 млн.м³ в 2001 г. Применялся способ сброса пульпы через хвостохранилище, поэтому поступление взвешенного вещества в море было минимальным. Тем не менее, в 2019 г. предприятие приняло решение об изменении способа сброса вскрышных пород. На какой?

Так, при исследовании распределения пятна антропогенной взвеси 29 апреля 2019 г., были обнаружены экстремальные концентрации до 360 мг/л в поверхностном слое и 460 мг/л в придонном в непосредственной близости от места сброса пульпы (Рисунок 9).

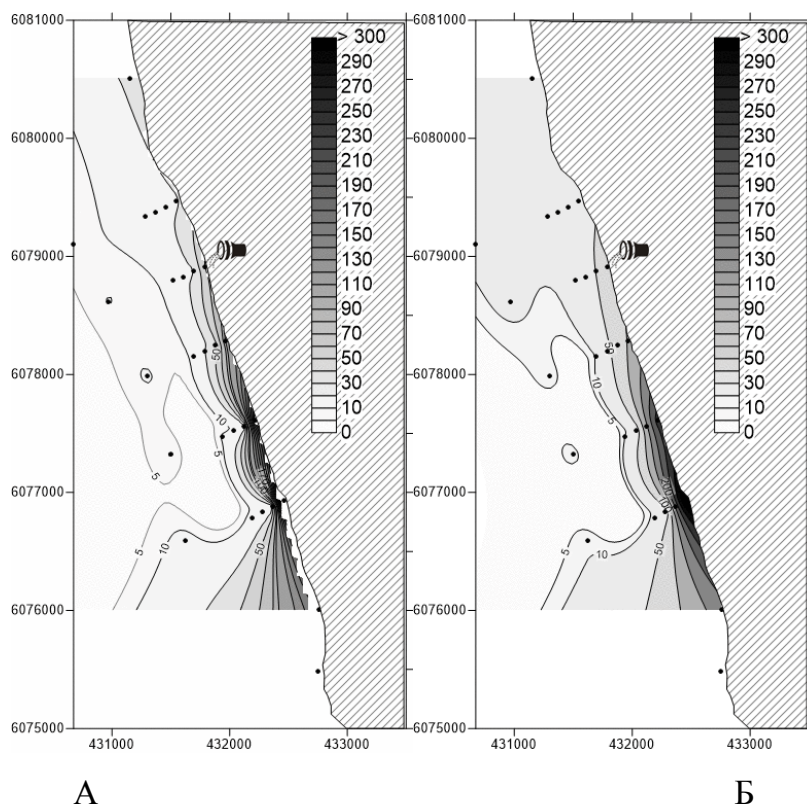


Рисунок 9. Концентрация взвеси (мг/л) в поверхностном (А) и придонном (Б) слоях

29.04.2019 г

За сутки до съемки преобладали ветра северных румбов, что способствовало перемещению пятна максимальных (за весь апрель–июль 2019 г.) концентраций взвеси южнее от места выпуска вод. Тем не менее, пятно воды с концентрациями взвеси более 10 мг/л достигало городского пляжа пос. Янтарный.

Таким образом, необходимо модернизировать существующую объединенную схему геоэкологического мониторинга Юго-Восточной Балтики, принимая во внимание несколько экологических рисков. Во-первых, выделение зон рискованного рыболовства, вызванных существованием зон бескислородных и малоокислородных условий. По данным работы (п. 4.2), слой перехода от окислительных условий к восстановительным расположен на границе 80 м. Сероводородные условия начинают развиваться глубже, на глубине 90 м. Таким образом, на изобате 90 м следует разместить несколько точек геоэкологического мониторинга, чтобы иметь возможность не только знать толщину слоя сероводородного заражения, но и его пространственные особенности (Рисунок 10).

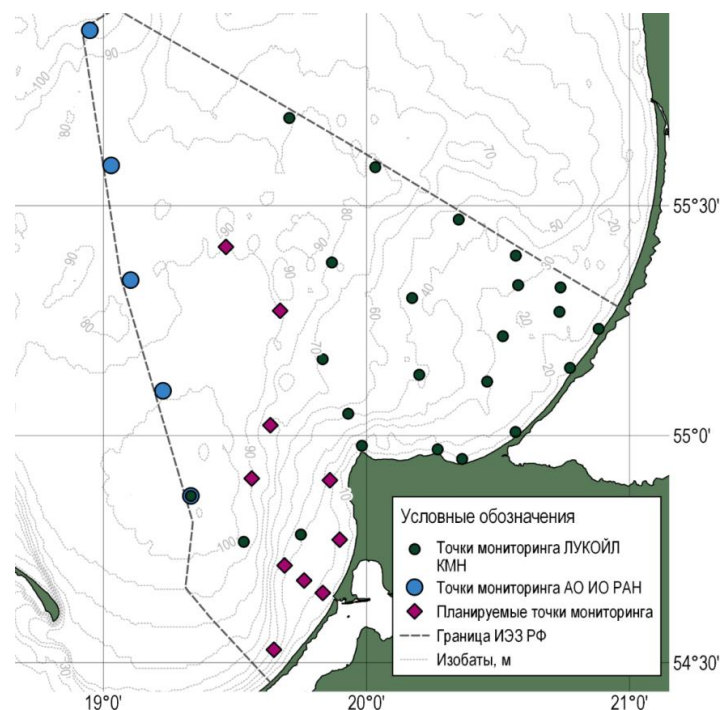


Рисунок 10. Предлагаемая схема геоэкологического мониторинга в российском секторе Юго-Восточной части Балтийского моря

Новая схема геоэкологического мониторинга призвана более детально изучить западное побережье Калининградской области, где расположен мощный антропогенный источник взвеси — Калининградский янтарный комбинат. Новая схема геоэкологического мониторинга призвана более детально изучить западное побережье Калининградской области, где расположены мощные антропогенные и природные источники взвеси — Калининградский янтарный комбинат и Вислинский залив, а также значительно влияние стока р. Висла

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поскольку пространственно-временная неоднородность распределения и состава взвешенного вещества вносит изменения в геоэкологическое состояние, проведенное исследование рассматривает взвесь как индикатор геоэкологического состояния морской среды региона. По результатам исследования были получены следующие выводы.

1. Циркумконтинентальная зональность распределения взвеси в российском секторе Юго-Восточной Балтики нарушается циркуляцией вод, вызванной орографией берега, хозяйственной деятельностью и наличием локального источника абразионной взвеси на Калининградском полуострове. Максимум среднесуточной концентрации взвеси в Юго-Восточной Балтике составляет 3,0 мг/л в поверхностном слое и 2,85 мг/л в придонном в районе пос. Куликово, где кроме активного развития фитопланктона, наблюдается абразионное разрушение берега. В открытой части моря концентрации взвешенного вещества в поверхностном слое не превышают 1,2 мг/л, но и не опускаются ниже 0,6 мг/л. Максимальные значения концентрации взвеси в придонном слое открытой части моря располагаются в центральной части Гданьской впадины (до 1,0 мг/л). Основным направлением транспорта взвешенного вещества является вдольбереговой перенос взвеси от полуострова в сторону Куршской косы.

2. В вогнутой части береговой зоны в восточной части Калининградского полуострова существует положительный тренд для концентрации взвеси на временном отрезке 2003–2018 гг., который является следствием действия комплекса факторов: усиления эвтрофикации, штормовой активности и связанной с ней береговой абразией, и активизацией хозяйственной деятельности в береговой

зоне моря, а также вносит вклад в потенциально неблагоприятные изменения геоэкологического состояния береговой зоны.

3. Сезонная изменчивость вертикального распределения взвеси определяется, главным образом, биопродуктивностью, которая вызывает повышение концентрации взвешенного вещества по всей глубине. Вертикальное распределение взвешенного вещества в Юго-Восточной Балтике как в сезонном, так и в межгодовом масштабе содержит в себе основные черты, характерные для всех морских бассейнов, а именно повышенные значения концентрации взвеси у поверхности моря ($>0,8$ мг/л) и у его дна ($>1,0$ мг/л) и промежуточный слой минимальных концентраций ($<0,4$ мг/л), расположенный на глубине 50-70 м. Не получила подтверждения барьерная роль плотностных границ (термоклина и галоклина) в седиментационных и геохимических процессах. На этих потенциальных геохимических барьерах не обнаружено замедления седиментации и возникновения скоплений взвешенного вещества, а значит нет оснований говорить об интенсификации здесь биогеохимических процессов, связанных с деятельностью фито-, бактерио- и зоопланктона и разложением органических частиц. Таким образом, не происходит задержки в седиментации избытка органических частиц и загрязнителей на дно Гданьской впадины. Возможно, для выявления барьерного эффекта «скачков плотности» в толще воды требуется более детальное их изучение.

4. Межгодовой ход гидрологических параметров, растворенного кислорода и состава взвешенного вещества в придонном слое Гданьской впадины указывает не только на нерегулярное поступление затоковых североморских вод, но также и на общую для Балтийского моря тенденцию к высокой скорости ассимиляции растворенного кислорода. Наличие перехода от окислительных условий к восстановительным в придонном слое Гданьской впадины и вертикальная миграция переходной зоны вызывают развитие слоя повышения концентрации взвешенных форм марганца, образованных в процессе бактериального окисления. Образующийся слой повышенной мутности является своего рода специфичным промежуточным бактериальным биотопом.

Предложенная усовершенствованная схема геоэкологического мониторинга для российского сектора Юго-Восточной Балтики позволяет более детально

изучить процессы, связанные с развитием сероводородного заражения в глубоководных впадинах моря, хозяйственной деятельностью на западном побережье и выносом Вислинского залива и р. Вислы. Проведенные исследования позволили наметить дальнейшие направления работы, которые включают изучение трансформации взвешенного вещества в береговой зоне, в том числе процесс биоминерального агрегирования, и исследования формирования специфического придонного или промежуточного бактериального биотопа, образующегося в нефелоидном слое на границе окислительных и восстановительных условий.

Список публикаций

Публикации, индексируемые в системах цитирования

Scopus и Web of Science

1. Alexandrov S.V., Krek A.V., **Bubnova E.S.**, Danchenkov A.R. Eutrophication and effects of algal bloom in the Curonian Lagoon alongside the southwestern part of the Curonian Spit (Russia) // *Baltica*. 2018. Vol. 31, №1. P. 1–12.
2. Bukanova T., Kopelevich O., Vazyulya S., **Bubnova E.**, Sahling I. Suspended matter distribution in the south-eastern Baltic Sea from satellite and in situ data // *International Journal of Remote Sensing*. 2018. Vol. 39, № 24. P. 9317-9338.

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

3. Кречик В.А., Капустина М.В., **Бубнова Е.С.**, Гриценко В.А. Абиотические условия придонных вод Гданьской впадины Балтийского моря в 2016 году // *Ученые записки РГГМУ*. 2017. № 48. С.186-194.
4. Кречик А.В., Ульянова М.О., **Бубнова Е.С.**, Кречик В.А., Рябчук Д.В., Данченков А.Р., Чурин Д.А., Капустина М.В., Ткачева Е.С., Хатмуллина Л.И., Сергеев А.Ю. Геоэкологические условия в Балтийском море в 2017 г. // *Океанология*. 2019. Т. 59, № 1, С. 184–186.
5. Сивков В.В., Пейве А.А., **Бубнова Е.С.**, Ахмедзянов В.Р., Кречик В.А., Сухих Е.А. Комплексные исследования в 33-м рейсе НИС "Академик Николай Страхов" // *Океанология*. 2019. Т. 59, № 2. С. 305-307.

Публикации в иных изданиях

6. Лукашин В.Н., Кречик В.А., **Бубнова Е.С.**, Стародымова Д.П., Клювиткин А.А. Взвесь в Балтийском море: распределение и химический состав // Океанологические исследования. 2018. Т. 46. № 2. С. 145-166.

7. **Бубнова Е.С.**, Кречик В.А. Придонные условия седиментации в юго-восточной части Балтийского моря. В сборнике: Комплексные исследования Мирового океана материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых. 2017. С. 449-450.

8. Сивков В.В., Емельянов Е.М., **Бубнова Е.С.** Концентрация и гранулометрический состав взвеси // Система Балтийского моря /Ред. Лисицын А.П. и др. М.: Научный мир, 2017. С. 292–316.

9. Навазова О.А., **Бубнова Е.С.** Распространение взвешенного осадочного вещества в прибрежной зоне Калининградской области. В сборнике: Береговая зона моря: исследования, управление, перспективы Сборник материалов Международной молодежной летней школы: научное электронное издание. Под редакцией В.А. Гриценко. 2018. С. 48-55.

10. Власова Т.Е., **Бубнова Е.С.** Распространение взвешенного осадочного вещества к северу от Калининградского полуострова // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2018. № 3. С. 55-62.

11. **Bubnova E.**, Sivkov V., Zubarevich V. On suspended matter grain size in Baltic Sea // European Geosciences Union General Assembly 2016. Vienna, Austria, 17–22 April 2016. Abstract book. EGU2016-940. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-940-1.pdf>

12. **Bubnova E.**, Krechik V., Sivkov V. Suspended matter concentration alongside the northern coastline of Kaliningrad region (south-eastern part of the Baltic Sea) // EMECS'11 SeaCoasts XXVI. August 22-27, 2016, St. Petersburg, Russia. Joint conference. Managing risks to coastal regions and communities in a changing world. Abstract Book. P. 145.

Бубнова Екатерина Сергеевна

**РОЛЬ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В ИЗМЕНЧИВОСТИ
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Подписано в печать «__»_____.2019

Формат 60x90 1/11 Усл. печ. л. 1,3.

Уч.-изд. л 1,0. Тираж 100 экз. Заказ

Отпечатано в типографии

Издательства Балтийского федерального университета имени И. Канта
236022, г. Калининград, ул. Гайдара, 6