

На правах рукописи



КУРНОСОВА Анна Сергеевна

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ФОСФАТОВ В ЭСТУАРИЯХ ЯПОНСКОГО МОРЯ

1.6.17 – океанология

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата географических наук

Владивосток

2023

Работа выполнена в лаборатории промышленной океанографии Тихоокеанского филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ТИНРО)

Научный руководитель:

доктор географических наук

Зуенко Юрий Иванович

Заведующий лабораторией промышленной океанографии Тихоокеанского филиала федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ТИНРО»), г. Владивосток

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук

Христофорова Надежда Константиновна

профессор кафедры экологии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток

кандидат географических наук

Петрова Евгения Александровна

Старший научный сотрудник лаборатории гидрологических процессов и климата Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток

Ведущая организация: Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение "Дальневосточный региональный научно - исследовательский гидрометеорологический институт" (ФГБУ "ДВНИГМИ"), г. Владивосток

Защита состоится «24» ноября 2023 г. в 15 час. 00 мин на заседании Диссертационного совета Д 24.1.214.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Тихоокеанском океанологическом институте им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук по адресу: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук и на сайте <https://www.poi.dvo.ru/ru/edu/disslist>

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 24.1.214.02

кандидат географических наук

Храпченков Федор Фомич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Эстуарии выполняют функцию граничных структур, через которые осуществляется обмен веществом и энергией между океанами и континентами, при этом биологическая продуктивность эстуариев выше продуктивности прилегающих к ним акваторий. Несмотря на очевидный источник поступления биогенных элементов в эстуарии – материковый сток, из многочисленных наблюдений за распределением этих элементов внутри эстуариев известно, что их концентрации не просто постепенно снижаются по мере разбавления речных вод морскими, но могут резко и разнонаправленно меняться под действием процессов в самой эстуарии. Это происходит либо во время продуцирования органического вещества, в ходе которого из воды изымаются минеральные формы некоторых химических элементов, либо при деструкции органики, в результате чего в воду поступают регенерированные биогенные вещества (Eyre et al., 1999; Boonphakdee et al., 2008; Süzal et al., 2008; Sarma et al., 2010; Лапин, 2011; Statham et al., 2012; и др.).

Соотношение продукции и деструкции в эстуариях отличается большой пространственной и сезонной изменчивостью, а вариации баланса продукционно-деструкционных процессов в эстуариях могут быть экологической основой для формирования в них разных экотопов, принципиально различающихся по структуре и функционированию (Богатов, 1995). Интенсивность и баланс продукционно-деструкционных процессов могут быть оценены по разным показателям: по количеству хлорофилла или углерода в составе органического вещества (Lee, 1996; Marra, 2007), по росту или убыванию содержания растворенного кислорода (Винберг, 1960), по отношению валовой первичной продукции к суммарной деструкции планктона (Хромов, Семин, 1975), по состоянию карбонатной системы (Johnson et al., 1975; Тищенко и др., 2005); для такого анализа могут быть использованы экосистемные модели, оценивающие влияние какого-либо одного или нескольких факторов на процессы продукции и деструкции. Знак и интенсивность продукционных или деструкционных процессов могут быть определены также по балансу растворенного неорганического углерода DIC и по балансу биогенных элементов в эстуарных водах. Такой подход основывается на допущении, что соотношение извлекаемых сообществом фитопланктона биогенных элементов между собой и связываемым в процессе продуцирования углеродом существенно не меняется и все эти элементы потребляются и высвобождаются соответственно стехиометрическому соотношению их содержания в составе органического вещества. Известно (Doering et al., 1995), что в зоне смешения речных и морских вод (до солености 25 ‰) веществом, лимитирующим продукционные процессы, обычно является фосфор, поэтому настоящая работа основана на лимитации первичной продукции фосфатами.

Универсальность процессов, происходящих в эстуариях при смешении пресных и морских вод, даёт возможность на примере отдельных рек рассмотреть основные закономерности изменчивости продукционно-деструкционного баланса в эстуариях, чтобы понять причины их высокой продуктивности. Такие попытки активно предпринимаются в последнее время (Звалинский и др., 2005; Семкин и др., 2012; Regnier et al., 2013; Гаретова и др., 2016). Особо следует отметить исследование коллектива Тихоокеанского океанологического института под руководством В.И. Звалинского и П.Я. Тищенко (Звалинский и др., 2005). Им исследованы особенности распределения биогенных элементов в эстуарии одной из крупнейших рек бассейна Японского моря – р. Раздольной, анализ которых позволил получить ориентировочные оценки первичной продукции (Звалинский и др., 2008, 2016). По неконсервативному поведению растворенного углерода в эстуарии были отмечены также процессы деструкции, влияющие на продукционно-деструкционный баланс (Тищенко и др., 2005). Однако и в этих работах, а также в нескольких более современных работах этого коллектива не были определены черты пространственной и сезонной изменчивости баланса продукционно-деструкционных процессов. В известной концепции эстуария как трёхступенчатого маргинального фильтра, предложенной А.П. Лисицыным (1994), деструкция органического вещества вообще не учитывается. Данное исследование направлено на поиск фундаментальных закономерностей продукционно-деструкционных процессов в эстуариях, которые проявились бы на примере всех исследованных рек, находящихся в одной природной зоне, но различных по своим размерам и гидрологическому режиму, исходя из предположения, что наиболее общие закономерности являются универсальными для эстуариев вообще, несмотря на различия между реками.

Цель работы: выявить основные черты продукционно-деструкционных процессов в эстуариях и сформулировать закономерности пространственно-временной изменчивости их баланса (на примере разнотипных эстуариев рек Раздольная, Суходол, Киевка).

Для достижения этой цели решались следующие **задачи:**

- рассмотрена зависимость кажущегося потребления кислорода и концентраций биогенных элементов от степени смешения речных и морских вод и процессов утилизации/регенерации кислорода и биогенов в эстуариях и на этом основании определён знак продукционно-деструкционного баланса на различных участках эстуариев;
- выполнены количественные оценки величин продукции и деструкции на разных участках эстуариев, определены их сезонные изменения, выявлены зоны и периоды максимальных величин;
- ориентировочно оценены величины суточной первичной продукции в эстуариях.

Для оценки возможного практического применения полученных результатов рассмотрено влияние пространственно-временной изменчивости продукционно-деструкционных процессов в эстуариях на биотические компоненты эстуарных экосистем разных рек, используя результаты комплексного обследования экосистем эстуариев рек зал. Петра Великого, выполненного в 2010-е гг. в ТИНРО (Колпаков, 2018; и др.).

Положения, выносимые на защиту:

- Закономерная смена знака продукционно-деструкционного баланса вдоль оси эстуариев (по градиенту солёности) от преобладания процессов деструкции органического вещества к преобладанию продукционных процессов.
- Увеличение продукции эстуариев относительно потенциального уровня, обеспечиваемого терригенным ионным стоком рек, за счёт рециклинга биогенных элементов.
- Гидрохимическая природа нелинейности изменений биологических процессов по градиенту солёности и первой зоны критической солёности.

Научная новизна. В работе впервые определены пространственная локализация продукции и деструкции в эстуарных зонах и характер сезонных изменений этих процессов; применена новая схема расчета первичной продукции по утилизации биогенных элементов при прохождении речной водой эстуария, учитывающая использование регенерированных биогенных веществ; показан значительный вклад рециклинга биогенных элементов в биопродуктивность эстуариев; сформулированы гидрохимические основы для распространения речного континуума циклически сменяющихся автотрофных и гетеротрофных сообществ гидробионтов на эстуарии, раскрыты механизмы смены знака продукционно-деструкционного баланса внутри эстуариев.

Практическая значимость настоящей работы состоит в том, что принципиальное различие продукционно-деструкционных процессов в разных частях эстуариев, проявляющееся в разных знаках продукционно-деструкционного баланса, является научной основой для формирования различных подходов к исследованию экосистем разных частей эстуариев, оценке их продукции, экосистемному моделированию и других видов научного обеспечения рациональной эксплуатации эстуарных биоресурсов. Количественные оценки продукции эстуарных экосистем, превышающие прежние, должны учитываться при оценке экологической ёмкости эстуариев.

Фактические материалы. В работе проведен анализ результатов экспедиционных исследований в эстуариях рек Раздольная и Суходол (зал. Петра Великого, Японское море) в разные сезоны за период 2010–2013 гг. и в эстуарии р. Киевка (бухта Киевка, Японское море)

весной 2020 г., выполненных с личным участием автора на всех этапах работ: от организации выездов и отбора проб до лабораторного анализа собранных проб, расчётов гидрохимических показателей и интерпретации полученных результатов. В этих комплексных экспедициях помимо гидрохимических наблюдений выполнялись также измерения гидрологических параметров и обловы планктона, нектона и бентоса с тщательным разбором и анализом всего собранного материала, что позволило сопоставить результаты гидрохимических работ с данными о термохалинной структуре вод и об обилии и видовом составе гидробионтов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационное исследование соответствует п. 6 паспорта специальности 1.6.17 – «Океанология»: «Биологические процессы в океане, их связь с абиотическими факторами среды и хозяйственной деятельностью человека, биопродуктивность районов Мирового океана». Соответствие содержания диссертационной работы специальности, по которой она представляется к защите, подтверждается апробацией работы, ее научной новизной и практической полезностью.

Апробация работы. Результаты и основные положения работы были представлены и обсуждены на научных семинарах и межлабораторных коллоквиумах ТИНРО (2013, 2014, 2015 гг.), на XVI конференции по промысловой океанологии в г. Калининграде (2014 г.), на Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование MARESEDU–2015» в г. Москве (2015 г.), на 8-й конференции по Международной программе PEACE «Современные проблемы океанографии окраинных морей Азии» в г. Владивостоке (2016 г.), на научных семинарах ВНИРО (2015, 2016 гг.), ДВНИГМИ (2016 г.), ТОИ ДВО РАН (2016 г.), ИБМ ДВО РАН (2016 г.), кафедры гидрометеорологии ДВФУ (2016 г.), на X Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса» в г. Москве (2022 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, из них 5 статей в журналах из списка ВАК, 1 статья в международном сборнике (из базы данных рецензируемой научной литературы SCOPUS).

Структура и объем диссертации. Работа состоит из Введения, Описания основных определений, 4 глав, Заключение и Выводов, а также Списка литературы, содержащего 177 источников, в том числе 61 иностранного. Работа изложена на 114 страницах, содержит 28 рисунков, 4 таблицы, приложение.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность д-ру биол. наук Н.В. Колпакову и д-ру хим. наук П.Я. Тищенко за важные замечания, сделанные в процессе

подготовки диссертации, которые помогли улучшить понимание полученных результатов и более корректно их изложить, и научному руководителю д-ру геогр. наук Ю.И. Зуенко за всестороннюю помощь, ценные советы и рекомендации на всех этапах исследования. Техническую помощь оказывали сотрудники лаборатории промышленной океанографии ТИПРО и сотрудник ННЦМБ ДВО РАН М.А. Шульгина.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, отражена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава содержит обзор состояния проблемы, в ней рассмотрены природные условия эстуарных зон и физические и химические процессы, протекающие в эстуариях, которые оказывают влияние на продукционно-деструкционный баланс. Приведена схема зонирования эстуариев с зоной внутреннего эстуария, где у дна распространяется клин солоноватых вод, и зоной внешнего эстуария с шлейфом эстуарных вод в поверхностном слое, которая отделяется от прибрежных морских вод поверхностным эстуарным фронтом. Подробно рассмотрены прямые и расчетные методы оценки первичной продукции и результаты их применения для продукционной характеристики эстуариев разных типов. Описаны концепции продукционных процессов в эстуариях, объясняющие с разных позиций феномен их высокой продуктивности.

Во второй главе представлено физико-географическое описание района исследований и рассмотрены использованные материалы и методики. В основу работы положены результаты, полученные автором в ходе 14 съемок в эстуариях рек Раздольная (30 августа 2010 г., 30 июня 2011 г., 22 мая, 31 октября 2012 г., 10 сентября 2013 г.), Суходол (4–5 августа 2010 г., 5 июля, 25 августа 2011 г., 25 апреля, 8 августа, 4 сентября, 25 октября, 25 декабря 2012 г.) и Киевка (13 мая 2020 г.), с последующим анализом собранных проб в гидрохимической лаборатории (рис. 1). Температуру и соленость измеряли океанологическим зондом YSI–6600V2 или ASTD-102 Rinko с интервалом по глубине 0,5 м, прозрачность – диском Секки, пробы для лабораторных определений отбирали на поверхности и у дна (при глубине более 1 м) при помощи батометра Нискина. Лабораторные гидрохимические определения выполнены по стандартным методикам (Руководство..., 2003). Спектрофотометрические определения проводили на спектрофотометре Shimadzu UV–1800 (Япония). Концентрации биогенных элементов приведены в микромолях на литр (мкМ/л), содержание растворенного кислорода – в миллилитрах на литр (мл/л).

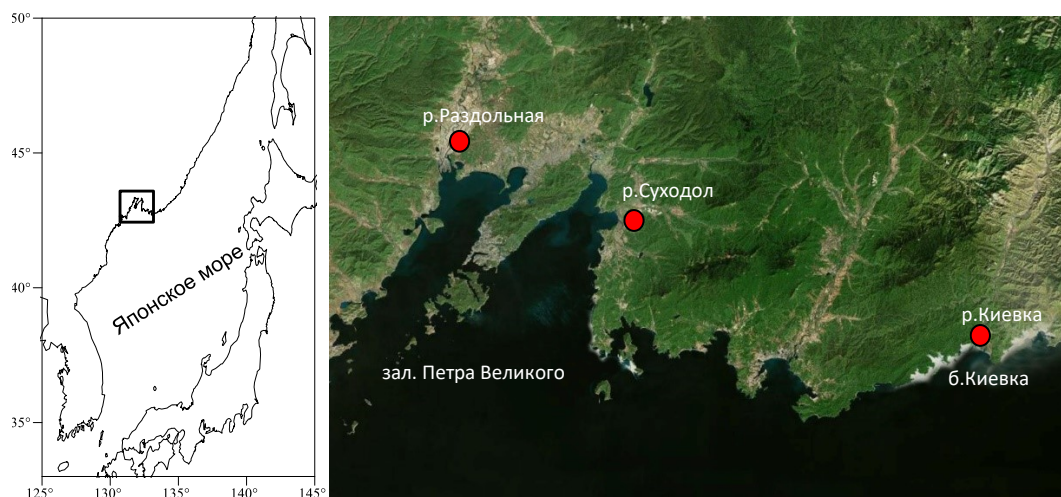


Рисунок 1 – Карта-схема района исследований

В этой же главе представлены методы оценки знака и величины продукционно-деструкционного баланса и расчёта первичной продукции. Знак баланса определён по динамике изменений кажущегося потребления растворенного кислорода и концентрации фосфора вдоль градиента солёности. Кажущееся потребление кислорода (AOU, мл/л) определяли как разницу между расчетной концентрацией кислорода в состоянии равновесия с атмосферой при температуре и солёности *in situ* и фактически измеренной концентрацией кислорода. Если AOU больше нуля, то принято считать, что в водах преобладают деструкционные процессы, если меньше нуля – то продукционные процессы. При анализе вариаций концентрации фосфора вдоль градиента солёности определяли отклонения наблюдаемых концентраций от прямой линейной зависимости от солёности: отклонения вниз указывают на наличие продукционных процессов, вверх – деструкционных процессов.

Для количественной оценки продукционно-деструкционного баланса использована методика, основанная на анализе неконсервативных изменений концентрации неорганического фосфора в зоне смешения речных и морских вод (Liss, 1976; Михайлов, 1997; Звалинский и др., 2005; Гордеев, 2012) и усовершенствованная авторами для учета возможного влияния на концентрацию фосфора водообмена эстуария с богатыми биогенными веществами подповерхностными морскими водами. Суть метода состоит в расчёте отклонений фактически наблюдаемых концентраций фосфора от «потенциальных» концентраций, обусловленных только смешением вод. Превышение на каком-либо участке эстуария фактических концентраций фосфора над его потенциальной концентрацией интерпретировано как результат преобладания процесса деструкции органики, а недостаток фосфора относительно потенциальных значений – как результат преобладания продукции органического вещества, т.е. по направленности отклонений определяли знак продукционно-деструкционного баланса.

Если же пренебречь деструкцией на участках преобладания продукции и продукцией на участках преобладания деструкции, то можно получить минимальные оценки величин продукции и деструкции на этих участках. В случае если в эстуарии, помимо речной воды, имелся дополнительный источник биогенных элементов – подповерхностная морская вода, предварительно методом TS-анализа для каждой станции по температуре и солёности оценивали вклад этой водной массы в смесь и, соответственно, в величину потенциальной концентрации фосфора. Для анализа использовали значения потенциальной концентрации с вычетом вклада подповерхностных морских вод. Такая поправка имеет значение для внешней периферии эстуария, где поступление фосфатов с морскими водами может значительно завышать потенциальную концентрацию, игнорирование этого процесса приводит к завышению оценок величины деструкции. Концентрацию фосфатов в ядрах водных масс определяли по экстремальным измеренным значениям, TS-индексы ядер водных масс – «графическим» методом по треугольникам смешения, где доли водных масс в смеси на каждой станции обратно пропорциональны евклидову расстоянию в TS-координатах от точки, соответствующей температуре и солёности на станции, до углов треугольника смешения, соответствующих ядрам трёх водных масс.

По разностям между рассчитанными потенциальными и измеренными реальными концентрациями фосфора для каждой станции (i) с использованием соотношения Редфилда ($C : P = 106 : 1$) получены значения *урожайности* (b), которая характеризует массу органического вещества, образованную в результате утилизации биогенных веществ в единичном объёме воды (m^3), наблюдаемом в конкретной точке эстуария:

$$b_i = R \cdot (C_{i\ potential} - C_i) \cdot M(C) \text{ [гC/м}^3\text{]}, \quad (1)$$

где b – урожайность, масса органического вещества; C – фактическая концентрация фосфатов; $C_{i\ potential}$ – потенциальная концентрация фосфатов; R – соотношение Редфилда; $M(C)$ – молярная масса углерода.

Далее оценен урожай органического вещества, продуцированного из единичного объёма (m^3) речной воды (Y) к моменту достижения им станции i , с учётом разбавления речной воды в эстуарии. Урожай с $1\ m^3$ речной воды дает возможность определить динамику утилизации терригенных биогенных элементов речной воды при прохождении эстуария, выявить и точно локализовать зоны максимально активной утилизации (либо регенерации) терригенных биогенных элементов, вне зависимости от степени разбавления речной воды и, соответственно, абсолютных величин получаемой при этом продукции. Оценки урожая органического вещества на разных участках эстуария приводили к изначальному $1\ m^3$ речной воды путём деления их на долю речной воды в смеси:

$$Y_i = b_i / \mu_i \quad [\text{гС/м}^3 \text{ речной воды}], \quad (2)$$

где Y – урожай органического вещества из 1 м³ речной воды; b – урожайность, масса органического вещества; μ – доля речной воды (определенная методом TS–анализа).

Величина Y по определению может только возрастать вниз по течению, поскольку она относится к постоянному начальному объёму речной воды. Случаи локального роста концентрации фосфатов в этом объёме вниз по течению, когда формальный расчёт даёт «отрицательную продукцию», интерпретированы как преобладание деструкции. На таких участках урожайность Y обнуляли путём добавления к наблюдаемой концентрации C_i величины $C_{i\text{-recycling}}$, обусловленной деструкцией:

$$\begin{aligned} b_i = 0 &= R \cdot (C_{i\text{potential}} + C_{i\text{-recycling}} - C_i) \quad [\text{гС/м}^3], \\ d_i &= R \cdot C_{i\text{-recycling}} \quad [\text{гС/м}^3], \end{aligned} \quad (3)$$

где $C_{i\text{-recycling}}$ – концентрация минерализованного фосфора; R – соотношение Редфилда.

Свойство монотонности роста урожая из единичного объёма речной воды даёт возможность получить её минимальные оценки урожайности на участках преобладания продукции, где обратным процессом можно пренебречь. Аналогично получены минимальные оценки деструкции для участков преобладания этого процесса, пренебрегая продукцией на этих участках. Следует иметь в виду, что таким способом оцениваются именно минимальные объёмы обоих процессов. Нельзя исключать, что даже на участке преобладания какого-нибудь из них, например продукции, обратный процесс (деструкция) также происходит. В таком случае реальная продукция на этом участке больше минимальной оценки на величину неучитываемой деструкции.

Основным продукционным показателем в данной работе является *первичная продукция эстуария на единицу его протяжённости* (p), которую определяли по разности урожайности речных вод к моменту достижения ими разных участков эстуария:

$$p_i = \frac{Y_i - Y_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} \times \mu_{\text{ср}} \quad [\text{гС/м}^3 \text{ км}], \quad (4)$$

где p – удельная продукция на единицу протяженности эстуария; $(L_i - L_{i-1})$ – расстояние между станциями; $(Y_i - Y_{i-1})$ – разница урожая между станциями; $\mu_{\text{ср}}$ – доля речной воды, средняя между станциями.

Полученную продукцию эстуария на единицу его протяжённости (p , гС/м³ км), зная скорость течения реки, можно перевести в размерность продукции в единицу времени (P , гС/м³ сут), которая обычно используется для характеристики *первичной продукции*:

$$P = p \cdot v \quad [\text{гС/м}^3 \text{ сут}], \quad (5)$$

где v – скорость речного потока; p – первичная продукция на единицу протяженности эстуария.

В настоящей работе в ходе выполненных съёмок скорость течения исследованных рек не измерялась, но она может быть оценена приближенно по данным о расходе рек:

$$v = Q / (b \cdot h) \text{ [см/с или км/сут]}, \quad (6)$$

где Q – расход реки; b – ширина русла эстуария; h – толщина слоя речной воды.

По вышеописанной методике оцениваются величины продукции при утилизации как терригенных фосфатов, принесённых в эстуарий речной водой, так и минерализованного в эстуарии фосфора (фосфаты рециклинга). Предполагается, что в зону эстуария органическое вещество поставляется только с речным стоком (в отличие от фосфатов, которые поставляются также из подповерхностных морских вод, вклад которых был исключён в ходе расчёта потенциальных концентраций). При таком расчёте не учитывается возможность неоднократного рециклинга за время прохождения речной водой эстуария, из-за чего оценки деструкции и «продукции рециклинга» могут быть завышенными, особенно для мористой периферии эстуария. Завышение оценки продукции рециклинга может происходить также, если часть минерализующегося в эстуарии органического вещества ранее была синтезирована на основе нетерригенных (подповерхностных морских) фосфатов.

В данном исследовании особое внимание уделено пространственной локализации продукции и деструкции в разных частях эстуария и её сезонным изменениям, поскольку в ходе работы было выявлено, что участки активного продуцирования и минерализации в эстуариях пространственно разобщены. Благодаря этой особенности продукционно-деструкционных процессов в эстуариях величины продукции и деструкции оценены отдельно, что позволило избежать методического занижения оценок первичной продукции.

В третьей главе показаны результаты исследования продукционно-деструкционных процессов в эстуариях Японского моря.

Для этого сначала было проведено зонирование эстуариев по вертикальной структуре вод – определены зоны со структурой вод, характерной для внутреннего и внешнего эстуариев, по сезонам (рис. 2, 3). Затем осредняли данные для групп съёмок в каждом эстуарии со сходными погодными и гидрохимическими условиями – сезонов (величины коэффициентов корреляции пространственных изменений гидрохимических параметров между съёмками в каждом сезоне составили 0,55–0,95). По осреднённым данным прослежено сезонное перемещение границ зон внутреннего и внешнего эстуариев на разрезах вдоль основных русел исследованных рек.

Характер изменений солёности на поверхности эстуариев исследованных рек схож, несмотря на различия её величин. На поверхности эстуариев рек Суходол и Киевка солёность возрастала от 0 до 33 ‰, на поверхности обследованной части эстуария р.

Раздольной – от 0 до 25 ‰. Границы эстуарных зон смещались вверх по течению от весны к лету и обратно от лета к осени, что не обнаруживает связи с сезонными изменениями водности рек и, по-видимому, обусловлено сезонными изменениями уровня моря: его повышением летом и понижением зимой (в зал. Петра Великого средний годовой ход уровня моря превышает 0,3 м, колебания уровня усиливаются во время сгонов и нагонов, высота которых может превышать 1 м, причём летом преобладают нагоны, а зимой – сгоны).

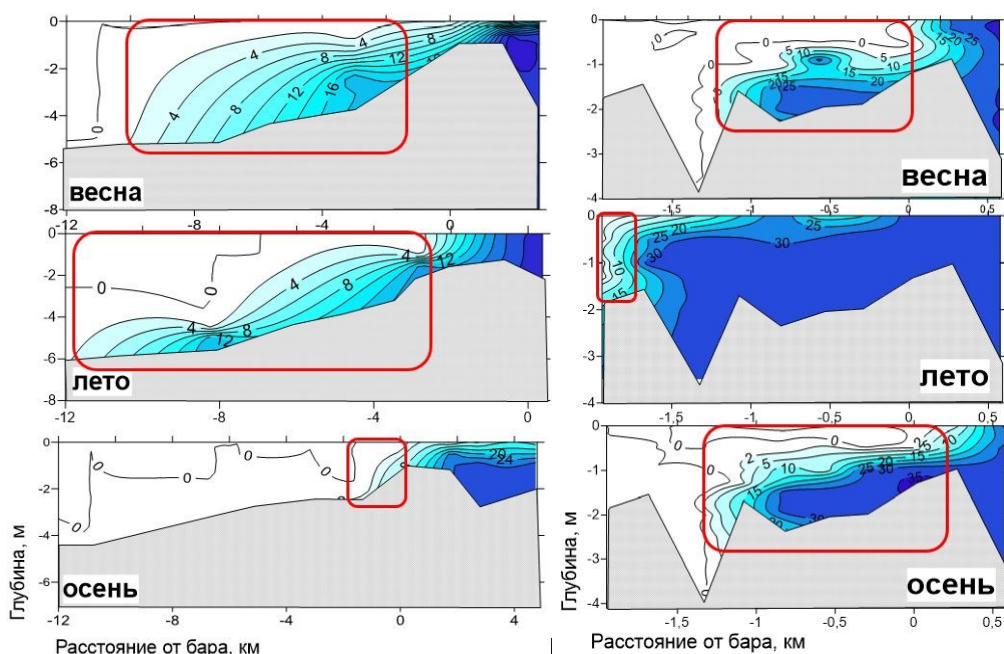


Рисунок 2 – Среднее по сезонам распределение солёности вдоль эстуариев рек Раздольная (слева) и Суходол (справа), от реки к морю (слева направо). Выделена зона внутреннего эстуария

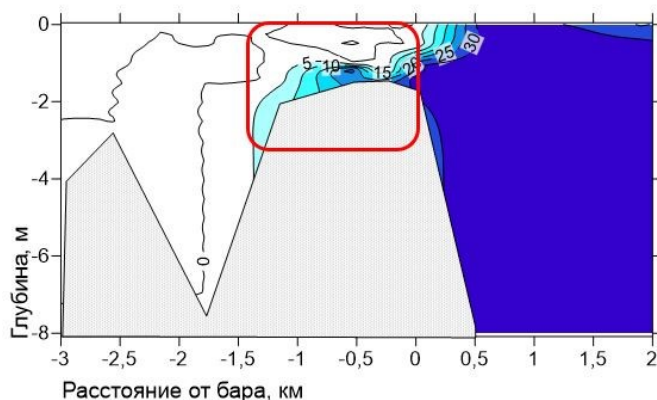


Рисунок 3 – Распределение солёности вдоль эстуария р. Киевка в весенний сезон от реки к морю (слева направо). Выделена зона внутреннего эстуария

Оценка знака продукционно-деструкционного баланса сделана двумя способами: по характеру изменений кажущегося потребления растворенного кислорода и концентрации фосфора вдоль эстуариев, по градиенту солёности.

Кажущееся потребление кислорода (АОУ) на поверхности эстуариев сильно меняется по сезонам, причём сходно во внутренней и внешней зонах (рис. 4). Для весны в эстуариях типичны отрицательные значения кажущегося потребления кислорода, что указывает на преобладание продукционных процессов. Летом значения АОУ нестабильны (меняются от съёмки к съёмке), но в среднем во всём эстуарии р. Суходол и во внешней эстуарии р. Раздольной по-прежнему наблюдаются отрицательные значения, а во внутреннем эстуарии р. Раздольной АОУ – положительные, что указывает на развитие деструкционных процессов. Осенью в обеих зонах обеих рек преобладают положительные величины АОУ, т.е. процессы деструкции. Резкие сезонные изменения АОУ, вероятно, могут быть связаны не только с изменениями продукционно-деструкционного баланса, но и с динамикой температуры воды, поскольку растворимость кислорода зависит от температуры.

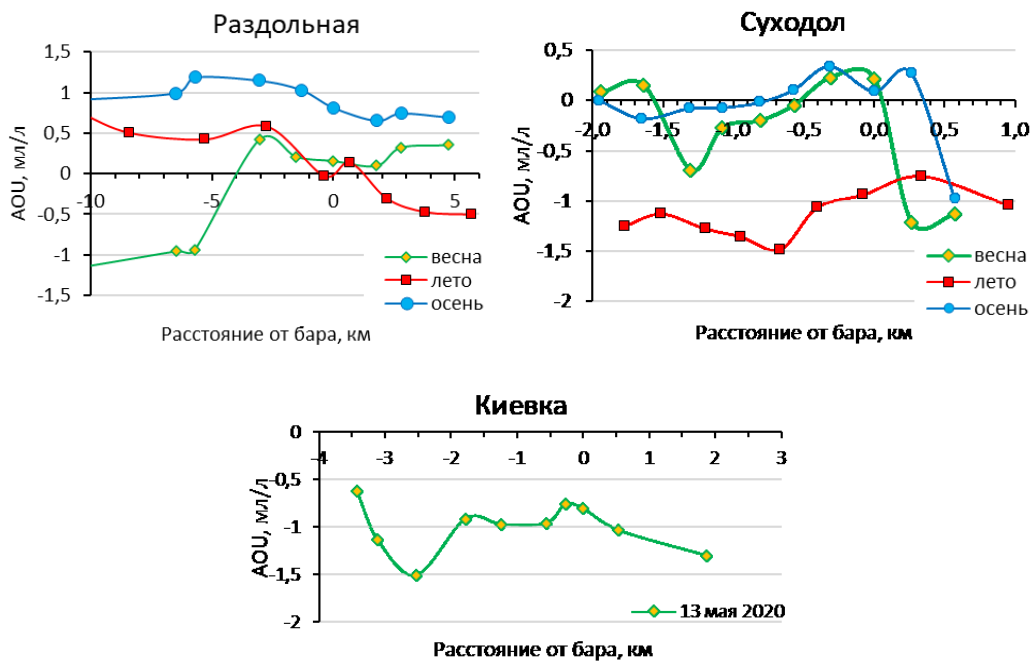


Рисунок 4 – Средние по сезонам изменения кажущегося потребления растворенного кислорода вдоль эстуариев рек Раздольная, Суходол и Киевка

В отличие от сезонной динамики АОУ, изменения концентрации минерального фосфора (фосфатов) на поверхности эстуариев вдоль градиента солёности имеют схожий характер во всех исследованных водоёмах, который не меняется принципиально по сезонам. Сопоставление графиков изменения концентрации фосфора в зависимости от солёности с линейной зависимостью показывает, что во внутренних эстуариях концентрация убывает медленнее, чем убывает солёность, иногда даже растёт (исключение – весенняя съёмки в эстуарии р. Суходол), а во внешних эстуариях быстро убывает. Это интерпретируется как преобладание во внутренних эстуариях деструкционных процессов, высвобождающих

минеральный фосфор, а во внешних эстуариях – продукционных процессов, утилизирующих минеральный фосфор (рис. 5). Вместе с тем в эстуариях в целом весной преобладают продукционные процессы, а осенью – деструкционные.

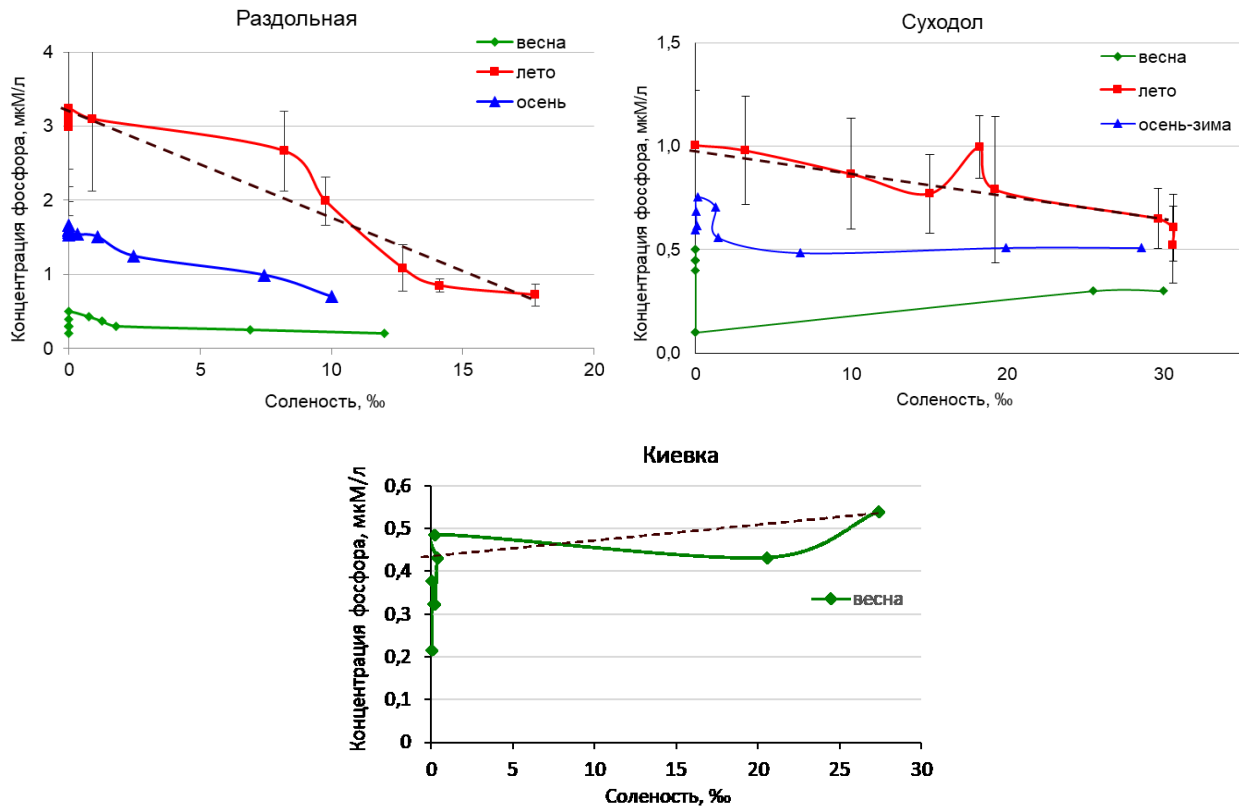


Рисунок 5 – Средние по сезонам концентрации минерального фосфора относительно солёности на поверхности эстуариев. Пунктиром показаны примеры прямых консервативного поведения

Для количественной оценки продукции и деструкции в эстуариях на первом этапе произведен расчет урожайности речных вод и деструкции терригенного органического вещества. Для этого были рассчитаны потенциальные концентрации фосфора и определены отклонения его реальных концентраций от потенциальных (рис. 6). При этом вклад фосфатов, которые поступают в эстуарии с подповерхностными морскими водами, был оценен с помощью TS-анализа и удалён из анализа. Во внешних эстуариях реальные концентрации были ниже потенциальных, особенно весной и летом (в 2–4 раза). Наоборот, во внутренних эстуариях реальные концентрации, как правило, были выше потенциальных.

По изменениям разности между потенциальными и реально наблюдаемыми концентрациями фосфора по мере прохождения речной водой эстуариев для каждой съёмки рассчитаны величины урожая органического вещества из единичного объёма речной воды за счет утилизации терригенных фосфатов (рис. 7). Этот показатель означает, сколько органического вещества образовалось из 1 м^3 речной воды с учетом того, что объём смеси

постепенно увеличивается в результате смешения с морской водой. Величина урожая речных вод монотонно возрастает вниз по течению вплоть до полной утилизации содержавшихся в речной воде терригенных биогенных веществ. По данным расчётов, урожайность речных вод существенно возрастает летом: каждый кубический метр речной воды при прохождении эстуариев летом продуцирует 3–5 гС против 0,5–1,0 гС весной и примерно 1,0 гС осенью. Одновременно с процессом продуцирования органического вещества с использованием фосфора из речной воды, преобладающим на одних участках эстуариев, на других участках преобладает деструкция органического вещества с минерализацией фосфатов, поступающих в ту же самую эстуарную воду и далее вновь используемых в продукционных процессах. Кумулятивный объём деструкции органического вещества с 1 м³ речной воды также монотонно возрастает по мере прохождения речной водой эстуариев.

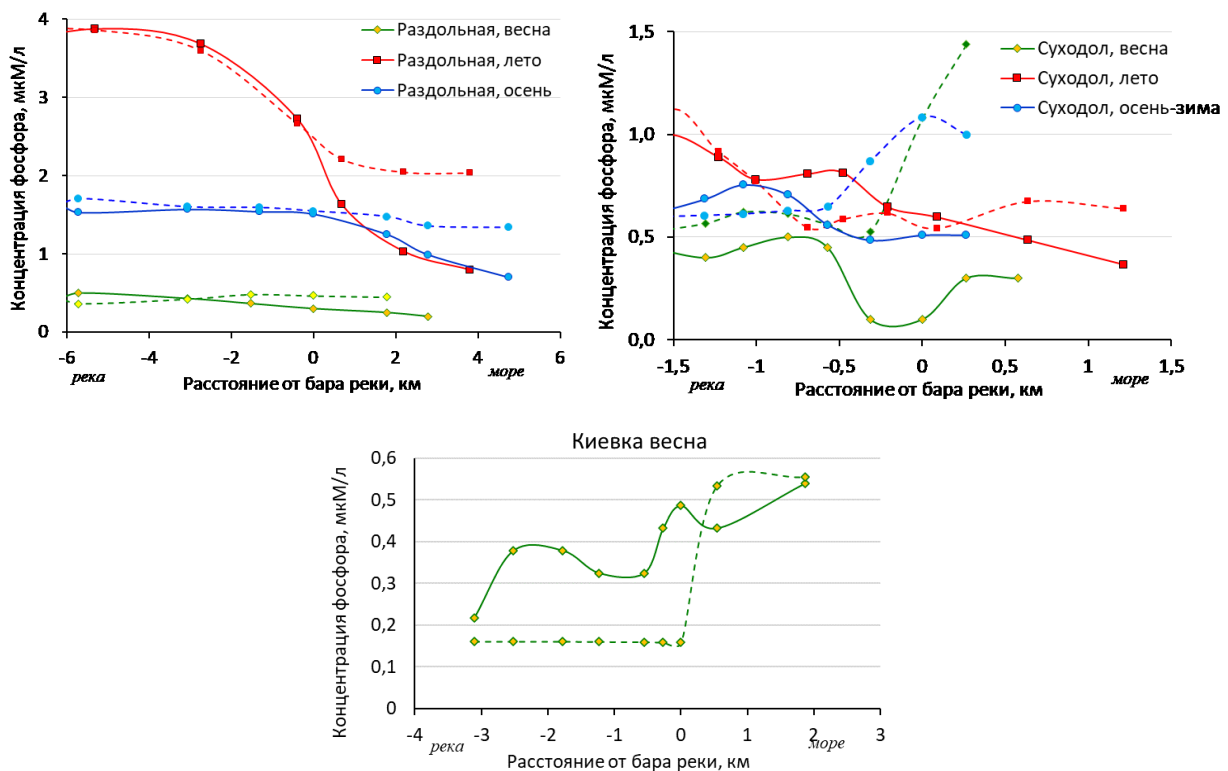


Рисунок 6 – Средние по сезонам концентрации минерального фосфора на поверхности эстуариев относительно их потенциальных концентраций (показаны пунктиром)

Для р. Раздольной летний рост урожайности, очевидно, связан с увеличением биогенной нагрузки на водосборном бассейне, особенно при паводках, затапливающих пойму. В водах горной р. Суходол содержание биогенных элементов летом возрастает не столь сильно. Однако сравнительно малая концентрация здесь терригенных биогенов в летний период компенсируется активным рециклингом, который в итоге обеспечивает более половины продукции, в то время как вклад рециклинга в продукцию вод р. Раздольной не

превышает 30 %. Деструкционные процессы во внутренней эстуарии р. Суходол летом настолько активны, что там формируется локальный максимум концентрации фосфатов: их концентрации здесь могут быть выше, чем в речных водах. Осенью-зимой и продукционные, и деструкционные процессы ослабевают.

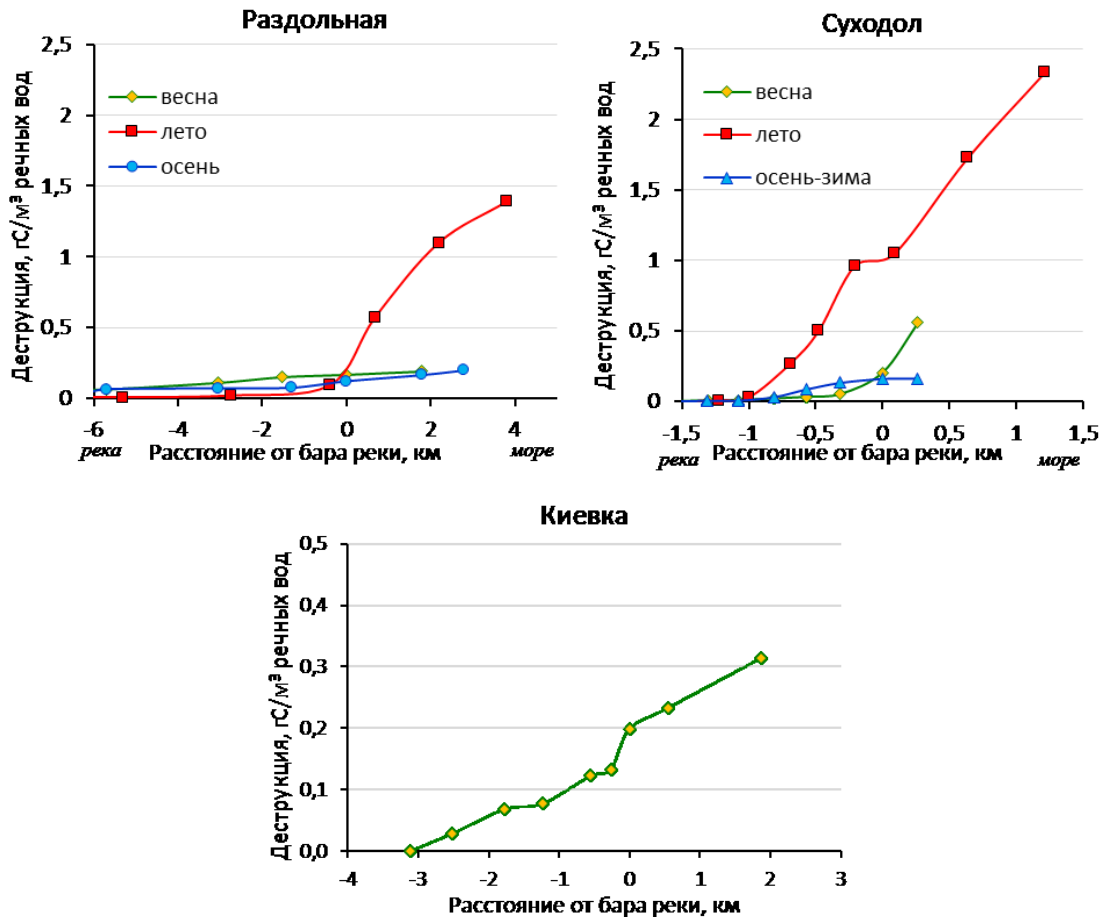


Рисунок 7 – Накопление урожая органического вещества (гС/м^3 речной воды) по мере прохода речной воды через эстуарии в среднем по сезонам

На основе полученных оценок урожайности и деструкции для речных вод определена продукция эстуарных вод и деструкция в них (минимальные оценки). Основной расчёт выполнен для продукции и деструкции на единицу протяжённости эстуария (рис. 8, 9). Оценки сезонных пиков продукции оказались сравнимыми для исследованных рек: $0,8\text{--}1,0 \text{ гС/м}^3 \text{ км}$ весной и осенью в р. Суходол и летом в р. Раздольной, с максимумом на границе между внутренней и внешней зонами эстуариев. Характер сезонных изменений продукции различается между реками: в эстуарии р. Раздольной весной и осенью, когда воды этой реки бедны фосфатами, продукция намного ниже (не более $0,2 \text{ гС/м}^3 \text{ км}$), чем летом, а в эстуарии р. Суходол, наоборот, летом продукция снижается по сравнению с весной и осенью, до $0,4 \text{ гС/м}^3 \text{ км}$. В эстуарии р. Киевка в весенний сезон величины первичной продукции (максимум $0,23 \text{ гС/м}^3 \text{ км}$) сопоставимы с рассчитанными для эстуария р. Раздольной. Наиболее активная

деструкция отмечена в эстуарии р. Суходол летом – до $1,4 \text{ гС/м}^3\text{км}$, в то время как во внутреннем эстуарии р. Раздольной её уровень в этом сезоне не превышает $0,3 \text{ гС/м}^3\text{км}$. В эстуарии р. Киевка весной также наблюдается довольно активная деструкция ($0,7 \text{ гС/м}^3\text{км}$). В эстуариях рек Суходол и Киевка количество регенерированного минерального фосфора превышает то небольшое количество фосфора, которое приносят эти горные реки, т.е. органическое вещество в эстуариях горных рек синтезируется большей частью на основе реминерализованных в эстуарии, а не терригенных фосфатов.

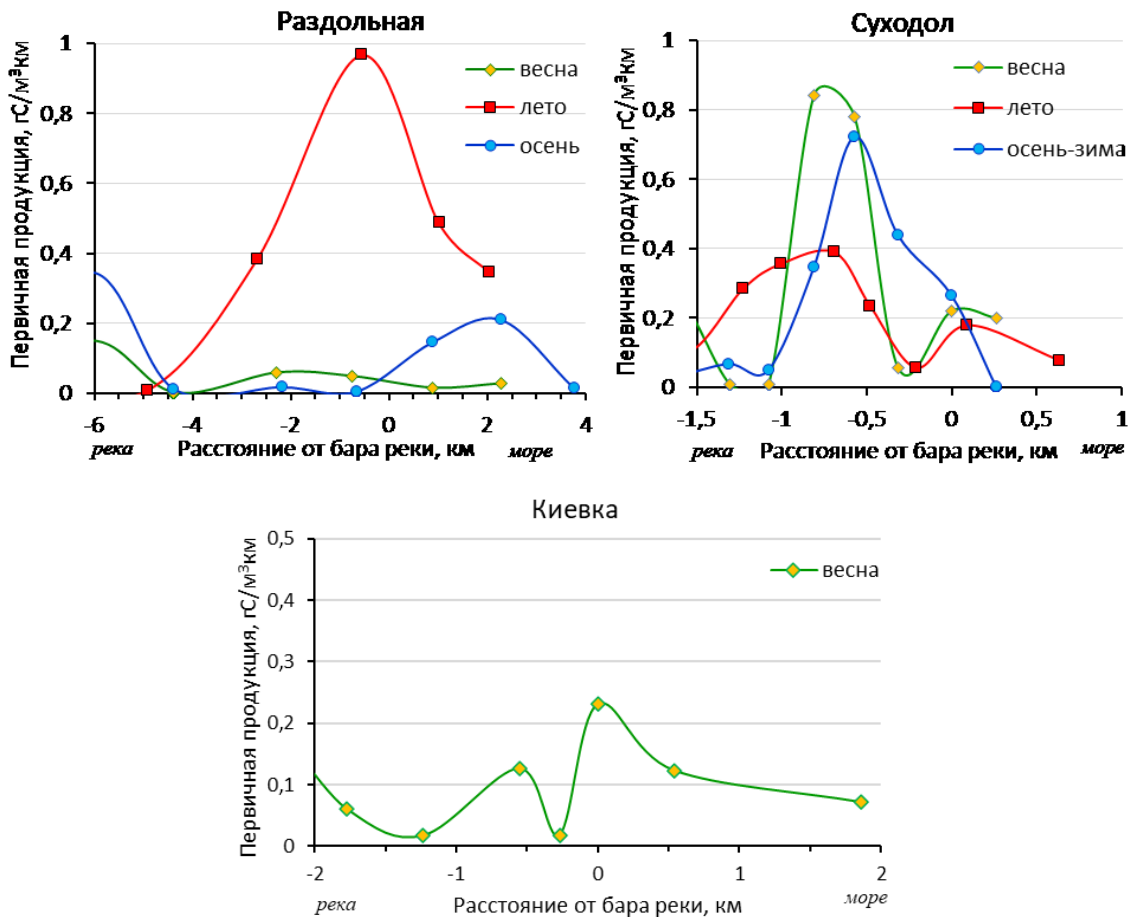


Рисунок 8 – Распределение продукции вдоль эстуариев в среднем по сезонам

Для летнего сезона (как для самого высокопродуктивного) сделана приближённая оценка первичной продукции в эстуариях рек Раздольная и Суходол в единицу времени. При типичных величинах летнего расхода этих рек соответственно в 110 и $10 \text{ м}^3/\text{с}$ полученные выше оценки первичной продукции на единицу протяженности эстуариев соответствуют $0\text{--}5,6$ и $0,1\text{--}4,8 \text{ гС/м}^3\text{сут}$ в разных частях эстуариев (рис. 10). Распределение величин первичной продукции по градиенту солёности в эстуариях обеих рек очень схоже: в обоих случаях максимум наблюдается при солёности $5\text{--}10 \%$, вблизи солёностного фронта, разделяющего слабосолёные воды внутреннего эстуария и солоноватые воды внешнего эстуария (шлейфа),

с мористой стороны от него. Этот участок эстуариев известен как зона критической солености (α -хорогалинная зона – 5–8 ‰) (Хлебович, 1974). При солености 5–8 ‰ мутность воды резко сокращается и далее по мере увеличения солёности почти не меняется. Кроме того, во внешнем эстуарии р. Суходол зафиксирован второй максимум продукции (~1,5 гС/м³сут), который примерно соответствует β -хорогалинной зоне – 22–26 ‰, по В.В. Хлебовичу (1974). При этом расположение участка максимальной продукции относительно речного бара различно, вероятно, из-за большего стока р. Раздольной, которая формирует обширный эстуарий, поэтому солёностный фронт находится мористее бара, в то время как в эстуарии р. Суходол солёность возрастает очень быстро и фронт между слабосолеными и солоноватыми водами часто смещается относительно бара в сторону реки, особенно летом, когда уровень моря повышается.

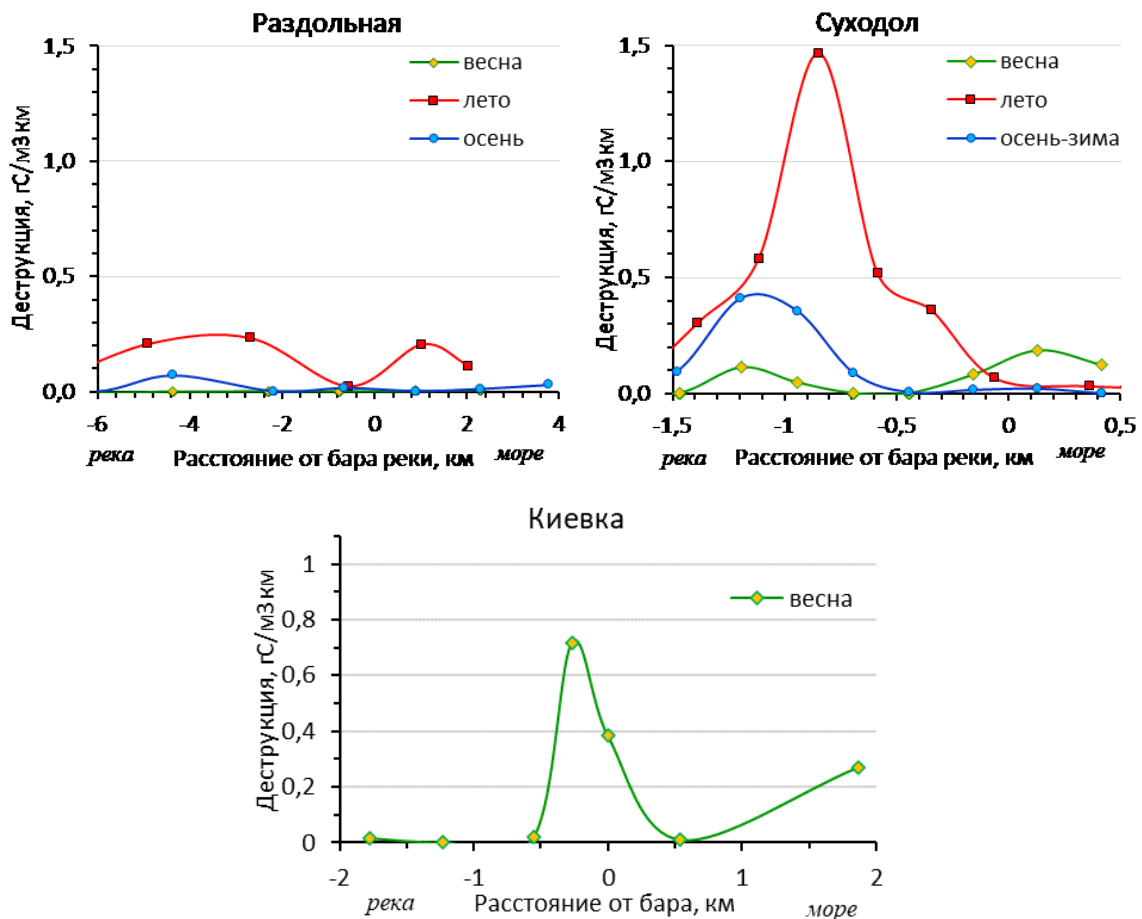


Рисунок 9 – Распределение деструкции вдоль эстуариев в среднем по сезонам

Таким образом, помимо вывода о сходстве пространственных изменений продукционно-деструкционного баланса в эстуариях рек и оценки величин их первичной продукции, удалось выявить важные особенности природы их высокой продуктивности.

Продуктивность эстуария р. Раздольной, воды которой в летний период отличаются высокими концентрациями биогенных элементов, обеспечивается в основном утилизацией этих биогенов терригенного происхождения. В эстуарии р. Суходол, воды которой менее минерализованы, терригенные биогены быстро расходуется, и продукция обеспечивается в значительной степени (до 50 %) за счёт рецилинга. Схожим образом происходит процесс в эстуарии р. Киевка в весенний сезон, где концентрации биогенов в речной воде крайне низкие и продукция обеспечивается фосфором, минерализованным внутри эстуария.

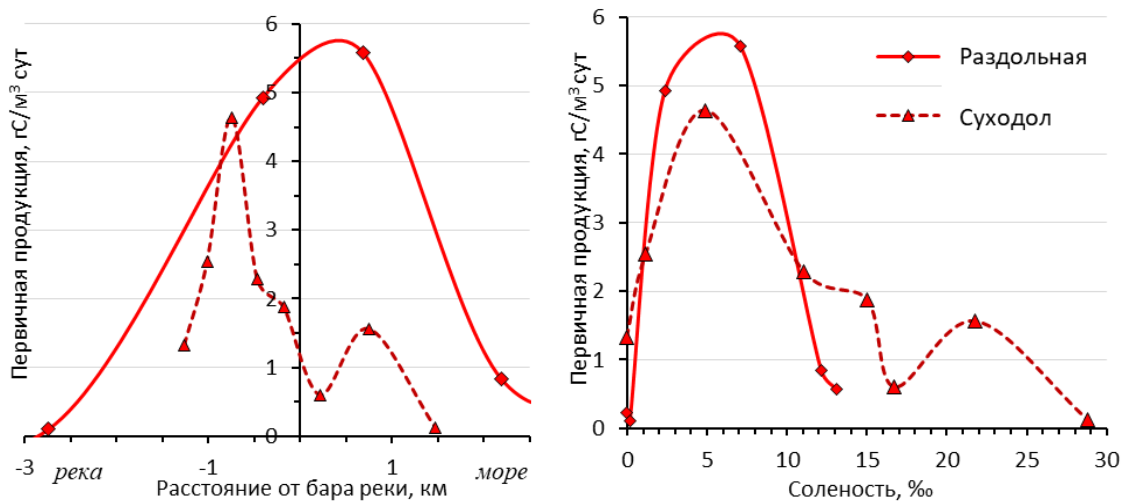


Рисунок 10 – Изменение средней за летний сезон первичной продукции вдоль эстуариев рек Раздольная и Суходол по расстоянию от бара (слева) и по градиенту солености (справа)

В четвертой главе выполнен анализ выявленных особенностей продукционно-деструкционных процессов в эстуариях и их влияния на функциональные характеристики эстуарных биоценозов. Основная закономерность локализации продукции и деструкции органического вещества во всех обследованных эстуариях состоит в том, что фосфаты, обычно содержащиеся в речной воде в большом количестве, расходуется на фотосинтез в основном во внешних частях эстуариев, в то время как в их внутренних частях происходит преимущественно регенерация фосфора при минерализации органического вещества, приносимого реками. Таким образом, во внутренних эстуариях преобладают процессы деструкции органического вещества, а во внешних – продукционные процессы.

Сезонные изменения продукционно-деструкционного баланса в структурных зонах эстуариев происходят на фоне сезонных перемещений самих структурных зон. Выявленные закономерности локализации продукционно-деструкционных процессов не противоречат известным для других эстуариев закономерностям, а подтверждают и уточняют их. Ранее на примерах других эстуариев неоднократно отмечалось, что наиболее продуктивная зона

располагается в их внешних частях или на солёностном фронте между внешней и внутренней частями. Это подтверждается прямыми измерениями продукции, высокими концентрациями хлорофилла *a* и растворенного кислорода (Звалинский и др., 2005; Тищенко и др., 2017, 2018; Семкин и др., 2018), а также особенностями распределения биогенных элементов вдоль градиента солености (Boonphakdee, Fujiwara, 1998; Cabecadas et al., 1999).

Высокая продуктивность внешней зоны эстуариев обусловлена осветлением речной воды после осаждения во внутренней эстуарии загрязняющих её минеральных и органических взвесей (Лисицын, 1994; McLusky, Elliott, 2004). В настоящем исследовании удалось точно локализовать участки продукции во внешних эстуариях и, кроме того, установить расположение участков преобладания деструкции во внутренних эстуариях, а также определить сезонные изменения расположения таких участков и величины продукции и деструкции в них. При этом отмечен не только сам факт активной деструкции в эстуариях, но и смена знака продукционно-деструкционного баланса от деструкции во внутренних частях эстуариев к продукции в их внешних частях. Эта закономерность оказалась общей для эстуариев рек разных типов, причём не только Японского моря, но исследованных в последнее время эстуариев рек бассейна Охотского моря (Курносова и др., 2022), а также подтверждается литературными источниками, цитированными выше. Можно предположить, что она справедлива для эстуариев вообще. Это означает, что эстуарии одновременно являются и утилизаторами терригенного ионного стока, и источниками минеральных форм биогенных элементов. Причём переработка поступающего с речным стоком органического вещества и утилизация ионного стока – это важнейшие экологические функции любого эстуария.

Этот вывод принципиально решает кажущееся противоречие между двумя концепциями экологической роли эстуариев: концепцией «маргинального фильтра» (по выражению А.П. Лисицына, 1994), согласно которой эстуарии утилизируют терригенный ионный сток рек, и концепцией «фабрики биогенов» (по выражению В.В. Сапожникова, ВНИРО), согласно которой эстуарии снабжают морские экосистемы восстановленными минеральными формами биогенных элементов. Как оказалось, эстуарии – одновременно и маргинальные фильтры, и фабрики биогенов, но на разных своих участках.

Важно отметить, что в работе сделаны отдельные оценки показателей продукции и деструкции органического вещества. В ранее выполненных исследованиях продукционных процессов в эстуариях не оценивался вклад рециклинга биогенных элементов внутри самих эстуариев и все переносимые рекой биогенные элементы рассматривались как терригенные (например, Ефимова, Цыцарин, 2002; Звалинский и др., 2005; Лапин, 2011; Statham, 2012).

Новые результаты, полученные для эстуариев рек Раздольная, Суходол и Киевка, показывают неточность такого подхода для эстуарных экосистем, поскольку во всех этих эстуариях выявлены участки активной деструкции, вследствие чего до половины фосфатов, используемых в пределах эстуариев для продукции органического вещества, имеют местное, эстуарное, а не терригенное происхождение. Локализация деструкции именно в этих частях эстуариев обусловлена аккумуляцией там выносимого реками органического вещества в условиях замедления течения и осаждения взвеси, в том числе благодаря её флокуляции при контакте с солёной водой. По данным А.А. Марьяш с соавторами (2010) и В.А. Надточего с соавторами (2010) содержание органического углерода $C_{орг}$ в донных осадках р. Раздольной максимально именно в области внутреннего эстуария. Исследования содержания $C_{орг}$ в донных отложениях по всей длине эстуариев рек Суходол и Киевка не проводились (исследованы только внешние области этих эстуариев), но аккумуляция массы разлагающейся органики на дне внутренней части этих эстуариев визуальным образом наблюдалась во время выполнения съёмки.

Новые представления об экологической функции эстуариев близки к концепции «речного континуума», возникшей в пресноводной гидробиологии на основе наблюдений за чередованием вдоль течения реки участков с гетеротрофным и автотрофным режимами функционирования водных экосистем (Vannote et al., 1980; Богатов, 1995). Впоследствии, на основе изменчивости в эстуариях вдоль градиента солёности видовой структуры биологических сообществ, а также нелинейного (неравномерного) изменения их обилия, продукции, P/B -коэффициентов, соотношения продукции и метаболизма и пр., Н.В. Колпаковым (2018) это понятие дополнено концепцией эстуарного континуума – эстуарного биома, в котором вдоль градиента солёности сменяют друг друга олигогалинная, мезогалинная и полигалинная экосистемы. С позиции этих концепций циклическая смена режимов функционирования экосистем продолжается и в эстуариях, во внутренних частях которых условия среды благоприятствуют функционированию гетеротрофов, а во внешних частях – автотрофов. Заметим, что авторами концепций речного и эстуарного континуумов не раскрыты механизмы циклических изменений условий среды. Но для эстуариев такие механизмы известны и описаны в фундаментальной работе А.П. Лисицына (1994) и работах, развивающих его представления, в том числе в настоящей диссертационной работе.

Особый интерес вызывает положение границы, разделяющей зоны преобладания продукции и деструкции в эстуариях. В исследованных эстуариях она проходит примерно по изогалинам 8–12 ‰. Согласно представлениям о нелинейности изменения биологических процессов вдоль градиента солёности, скорости (или даже направления) которых резко

меняются в определённых узких солёностных диапазонах, первая зона критической солёности привязана примерно к этому диапазону (Хлебович, 1974; Telesh, Khlebovich, 2010). Для сравнения: смена знака продукционно-деструкционного баланса в эстуарии р. Уда отмечена при солёности 5–10 ‰, в эстуарии р. Усалгин – 5–12 ‰ (Курносова и др., 2022). За солёностным фронтом во внешних эстуариях этих рек, помимо снижения концентрации фосфора и роста концентрации хлорофилла *a*, отмечены и другие явления, связанные с высокой продуктивностью, как высокий рН, пониженное парциальное давление углекислого газа, избыточное насыщение воды кислородом, низкое АОУ (Семкин и др., 2020).

Для оценки влияния продукционно-деструкционных процессов на структурно-функциональные характеристики эстуарных биоценозов сделан анализ данных гидробиологических наблюдений в эстуариях рек Раздольная, Суходол и Киевка, выполнявшихся параллельно с гидрохимическими работами (Колпаков, Милованкин, 2010, 2011; Колпаков и др., 2010; Надточий и др., 2010; Гусарова и др., 2011; Барабанщиков, Колпаков, 2012; Колпаков, Надточий, 2012; Колпаков, 2013, 2015, 2016; Колпаков, Бегун, 2014; Курносова, Шульгина, 2022). Установлено, что распределение состава и обилия автотрофных организмов вдоль градиента солёности в исследованных эстуариях хорошо соотносится с выявленными особенностями локализации продукции и деструкции. Особо стоит отметить, что биомасса и видовой состав фитопланктона в эстуариях рек Киевка и Суходол оказались сходны, как и величины первичной продукции, рассчитанные по утилизации фосфатов в поверхностном слое. Такое сходство показателей для двух изолированных экосистем указывает на то, что основным фактором, определяющим состояние эстуарных экосистем, является биопродуктивность их вод. В обоих этих случаях биопродуктивность оказалась довольно высокой благодаря значительному вкладу процессов рециклинга в баланс биогенных веществ.

В Заключение отмечено, что анализ полученных результатов позволил объединить казавшиеся противоречивыми концепции продуктивности эстуарных зон и прийти к выводу, что эстуарии являются не только утилизаторами терригенного ионного стока, но и источниками минеральных форм биогенных элементов, т.е. одновременно и «маргинальным фильтром», и «фабрикой биогенов». Смена знака продукционно-деструкционного баланса вдоль градиента солёности в эстуариях соответствует известной в экологии концепции функционирования речного континуума, при этом результаты эстуарных исследований раскрывают механизмы циклической смены автотрофных и гетеротрофных зон. Высказано предположение, что деструкция органического вещества, поступающего с речным стоком, и продукция нового органического вещества – это важнейшие экологические функции любого

эстуария. Закономерности пространственных и сезонных изменений продукционно-деструкционного баланса в эстуариях должны учитываться как при анализе гидрохимического режима, так и в экологических и гидробиологических исследованиях этих водных объектов.

Сформулированы **выводы** исследования:

1. Вдоль оси эстуариев происходит последовательная смена участков с преобладанием процессов деструкции органического вещества (внутренний эстуарий) на участки с преобладанием продукционных процессов (внешний эстуарий).

2. Сезонные изменения продукционно-деструкционных процессов в эстуариях имеют тенденцию ослабления продукции и усиления деструкции от весны к осени с постепенным расширением зоны преобладания деструкционных процессов.

3. Рециклинг биогенных элементов внутри эстуариев значительно увеличивает их продуктивность относительно уровня, обеспечиваемого терригенным ионным стоком. Вклад рециклинга в продукцию эстуариев может достигать 50 %.

4. Годовые максимумы первичной продукции в исследованных эстуариях сравнимы по величине и оцениваются в 0,8–1,0 гС/м³км, что соответствует примерно 5 гС/м³сут, но наблюдаются в разные сезоны в зависимости от водного режима рек (обычно в период паводков). Зона максимальной продукции располагается в верхней части внешних эстуариев, близ солёностного фронта, соответствующего критической солёности.

5. Особенности пространственной локализации и сезонных изменений продукционно-деструкционных процессов определяют наиболее общие особенности структуры и функционирования эстуарных экосистем, такие как трофность и сезонную динамику обилия и продукции консументов.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. **Важова А.С.**, Зуенко Ю.И. Особенности распределения биогенных элементов вдоль градиента солёности в эстуариях рек Суходол и Раздольная (залив Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. – 2015. – Т. 180. – С. 226–235. DOI: 10.26428/1606–9919–2015–180–226–235.

2. **Важова А.С.**, Зуенко Ю.И. Оценка первичной продукции в эстуариях рек Раздольная и Суходол (залив Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. – 2015. – Т. 182. – С. 132–143. DOI: 10.26428/1606–9919–2015–182–132–143.

3. **Важова А.С.** Сезонные изменения концентраций биогенных веществ и содержания растворенного кислорода в реках южного Приморья // Изв. ТИНРО. – 2017. – Т. 191. – С. 210–222. DOI: 10.26428/1606–9919–2017–191–210–222.

4. **Важова А.С.** Влияние структуры вод и особенностей продукционно-деструкционных процессов в эстуариях на структурно-функциональные характеристики биоценозов // Проблемы региональной экологии. – 2019. – № 4. – С. 14–22.

5. **Курносова А.С.,** Зуенко Ю.И., Швецова М.Г. Локализация продукционно-деструкционных процессов по распределению фосфатов в эстуариях рек Уда и Усалгин (Охотское море) // Изв. ТИНРО. – 2022. – Т. 202, № 4. – С. 917–932. DOI: 10.26428/1606–9919–2022–202–917–932. EDN: IZYFHO.

Другие статьи и материалы конференций:

6. **Vazhova A.,** Zuenko Y. Localization of the organic matter production and degradation in two different estuaries // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 244. – Art. 01010.

7. **Важова А.С.,** Зуенко Ю.И. Оценка продуктивности эстуариев залива Петра Великого (Японское море) // Мат-лы XVI конф. по промышленной океанологии. – Калининград, 2014. – С. 43–45.

8. **Vazhova A.S.** Changes in dissolved oxygen and nutrient concentrations on the surface of estuaries along the salinity gradient // Proceed. Academic Conf. in English of School of Natural Sciences Students. – Vladivostok, 2014. – P. 36–37.

9. **Важова А.С.,** Зуенко Ю.И. Оценка первичной продукции эстуариев рек Раздольная и Суходол (залив Петра Великого, Японское море) // Тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. «Морские исследования и образование: MARESEDU–2015». – М. : Феория, 2015. – С. 94–97.

10. **Vazhova A.S.** Physical and chemical processes related to bioproductivity in estuaries: case of the Suufen/Razdolnaya and Sukhodol Rivers (Peter the Great Bay, Japan Sea) // Тез. докл. 8-й конф. по Международной программе PEACE «Современные проблемы океанографии окраинных морей Азии». — Владивосток, 2016. — P. 42.

11. **Важова А.С.** Сезонная изменчивость гидрохимических параметров некоторых рек южного Приморья // PontusEuxinus 2017 : тез. докл. X Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых по проблемам водных экосистем, в рамках проведения Года экологии в Российской Федерации (11–16 сен. 2017 г., г. Севастополь). – Севастополь : DigitPrint, 2017. – С. 42–44.

12. **Курносова А.С.,** Шульгина М.А. Первичная продукция в эстуарии р. Киевка в весенний сезон // Мат-лы X междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов «Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса». – М. : ВНИРО, 2022. – С. 390–393.

КУРНОСОВА Анна Сергеевна

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ФОСФАТОВ В ЭСТУАРИЯХ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Автореферат диссертации

Подписано в печать 21.09.2023 г. Формат 60x84/16. 1 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. Заказ № 10.

Отпечатано в типографии издательства ТИНРО

г. Владивосток, ул. Западная, 10.