

Научная статья

УДК 550.47;551.464.626

DOI: 10.31857/S0869769824020098

EDN: ldbvzv

Лосось как основа функционирования экосистемы залива Академии (Охотское море). Возможные угрозы ее деградации

П. Я. Тищенко✉, П. Ю. Семкин, П. П. Тищенко,
В. Б. Лобанов, А. Ф. Сергеев, М. О. Рогинская,
Р. С. Анохина, Ю. А. Барабанщиков, А. А. Рюмина,
С. Г. Сагалаев, М. Г. Швецова, Е. М. Шкирникова, О. А. Уланова

Павел Яковлевич Тищенко

доктор химических наук, главный научный сотрудник

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

travel@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3500-2861>

Павел Юрьевич Семкин

кандидат географических наук, старший научный сотрудник

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

pahmol@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4639-918X>

Петр Павлович Тищенко

кандидат географических наук, старший научный сотрудник

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

eq15@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2182-5477>

Вячеслав Борисович Лобанов

кандидат географических наук, заведующий лабораторией

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

lobanov@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9104-5578>

Александр Федорович Сергеев

старший научный сотрудник

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

sergeev@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4247-0791>

Мария Олеговна Рогинская

студентка

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

mari.dymka@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5168-5976>

Руслана Сергеевна Анохина

студентка

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

rusya.anoxina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5081-7620>

Юрий Александрович Барабаничиков

научный сотрудник

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

barabanshchikov.ya@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0922-5500>

Анна Александровна Рюмина

аспирантка

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

ryumina.aa@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1740-6029>

Сергей Григорьевич Сагалаев

научный сотрудник

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

sagalaev@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1831-5209>

Мария Геннадьевна Швецова

научный сотрудник

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

shvetsova.mg@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7561-7599>

Елена Михайловна Шкирникова

научный сотрудник

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

elmi@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2380-1049>

Ольга Анатольевна Уланова

кандидат биологических наук, научный сотрудник

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

shitkova@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4655-1329>

Аннотация. В сентябре 2022 г. в кутовой части Ульбанского залива (южная часть зал. Академии) экспедицией ТОИ ДВО РАН на НИС «Профессор Гагаринский» обнаружены значительно превышающие фон концентрации общего фосфора и общего азота, примерно 2,5 и 15 мкмоль/л соответственно. Эти гидрохимические данные, особенности воспроизводства лосося (девятимесячное созревание личинок, скат мальков, др.), с учетом олиготрофного характера зал. Академии и результатов наблюдений за гренландскими китами привели нас к мысли, что основой рациона гренландских китов в данном районе является молодь лососевых рыб. Данное обстоятельство определяет важность сохранения экосистемы зал. Академия, в основе которой лежит устойчивость популяций горбуши и кеты, приходящих на нерест в реки залива. Человеческая деятельность, а именно добыча золота и коксующегося угля, промысел лосося, строительство приливной станции в Тугурском заливе (в случае реализации этой идеи), способна привести к деградации экосистемы залива и уничтожению поголовья гренландских китов.

Ключевые слова: залив Академии, гренландские киты, лосось, эвтрофикация

Для цитирования: Тищенко П. Я., Семкин П. Ю., Тищенко П. П., Лобанов В. Б., Сергеев А. Ф., Рогинская М. О., Анохина Р. С., Барабаничиков Ю. А., Рюмина А. А., Сагалаев С. Г., Швецова М. Г., Шкирникова Е. М., Уланова О. А. Лосось как основа функционирования экосистемы залива

Благодарности. Авторы благодарят В.В. Мельникова за полезную дискуссию, экипаж и научный состав рейсов № 71 и 82 НИС «Профессор Гагаринский» за всестороннюю помощь в экспедиционных исследованиях, администрацию ФГБУ «Заповедное Приамурье» за возможность работы в национальном парке «Шантарские острова».

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, 21–55–53015-ГФЕН и госбюджетных тем 121-21500052-9 и 121021700346-7.

Original article

Salmon as the basis for the functioning of the ecosystem of the Academy Bay (Okhotsk Sea). Possible threats to its degradation

P. Ya. Tishchenko, P. Yu. Semkin, P.P. Tishchenko,
V.B. Lobanov, A.F. Sergeev, M.O. Roginskaya,
R.S. Anokhina, Yu.A. Barabanshchikov, A.A. Ryumina,
S.G. Sagalaev, M.G. Shvetsova, E.M. Shkirnikova, O.A. Ulanova

Pavel Ya. Tishchenko

Doctor of Sciences in Chemistry, Chief Researcher
Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia
tpavel@poi.dvo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3500-2861>

Pavel Yu. Semkin

Candidate of Sciences in Geography, Senior Researcher
Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia
pahnol@poi.dvo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4639-918X>

Petr P. Tishchenko

Candidate of Sciences in Geography, Senior Researcher
Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia
eq15@poi.dvo.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2182-5477>

Vyacheslav B. Lobanov

Candidate of Sciences in Geography, Head of the Laboratory
Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia
lobanov@poi.dvo.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9104-5578>

Alexander F. Sergeev

Senior Researcher
Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia
sergeev@poi.dvo.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4247-0791>

Mariya O. Roginskaya

Student

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
mari.dymka@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5168-5976>

Ruslana S. Anokhina

Student

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

rusya.anokhina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5081-7620>

Yuri A. Barabanshchikov

Researcher

Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

barabanshchikov.ya@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0922-5500>

Anna A. Ryumina

Graduate Student

Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

ryumina.aa@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1740-6029>

Sergey S. Sagalaev

Researcher

Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

sagalaev@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1831-5209>

Mariya G. Shvetsova

Researcher

Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

shvetsova.mg@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7561-7599>

Elena M. Shkirknikova

Researcher

Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

elmi@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2380-1049>

Olga A. Ulanova

Candidate of Sciences in Biology, Researcher

Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

shitkova@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4655-1329>

Abstract. In September 2022, high concentrations of total phosphorus and total nitrogen over background 2.5 and 15 $\mu\text{mol/l}$, respectively, were found by the expedition of POI FEB RAS on r/v “*Professor Gagarinskiy*” in the apex of the Ulban Bay (southern part of the Academy Bay). These hydrochemical data combined with physiological features of salmon reproduction (nine-month maturation of larvae, rolling of fry, transformation of fry into gregarious pelagic fish, their rapid growth), taking into account of the oligotrophic status of the Academy Bay and the results of observations over bowhead whales, led us to the idea that young salmonid fish are the main food of bowhead whales. The sustainability of the Academy Bay ecosystem strongly depends on the sustainability of pink and chum salmon populations that come to spawn in the rivers of the Academy Bay. Human activity caused by gold and coal mining, salmon fishing and implementation of the idea of creating a tidal power station in the Tugur Bay can lead to degradation of the Academy Bay ecosystem due to destruction of bowhead whales population.

Keywords: the Academy Bay, bowhead whales, salmon, eutrophication

For citation: Tishchenko P. Ya., Semkin P. Yu., Tishchenko P. P., Lobanov V. B., Sergeev A. F., Roginskaya M. O., Anokhina R. S., Barabanshchikov Yu. A., Ryumina A. A., Sagalaev S. G.,

Acknowledgments. The authors appreciate V. V. Melnikov for invaluable discussion, the crew of R/V *Professor Gagarinskiy* and the scientific groups of the cruises No 71 and 82 for their comprehensive assistance during expeditions and the administration of “Zapovednoe Priamurye” for the opportunity to work in the national reserved area “Shantar Islands”.

Funding. This study was partly supported by the Russian Foundation for Basic Research (21-55-53015-a) and Fundamental Programs of POI - 121-21500052-9 and 121021700346-7.

Введение

Акватория Шантарского архипелага является наименее изученной частью Охотского моря. Основной причиной такого состояния дел служат климатические и океанологические особенности этого района. Во-первых, акватория покрывается льдом во второй половине октября и полностью освобождается ото льда в конце июля, т.е. по прошествии девяти месяцев [1]. Во-вторых, здесь имеют место полусуточные приливы, чья высота в заливах Академии, Тугурском и Удской губе, в зависимости от положения Луны, может достигать 6, 10 и 9 м соответственно [1].

Следует отметить, что акватория Шантарского архипелага является эстуарным бассейном благодаря впадающим рекам (рис. 1), наиболее крупные из которых – Уда, Тугур, Усалгин, Сыран, Ульбан со среднегодовым расходом воды 823, 175, 37,4, 10,6, 9,6 м³/с соответственно [2]. В зал. Академии впадают также мелкие речки: Эльганде, Укурунру, Талги, Талим-1, Талим-2, Иткан. Все крупные и мелкие реки – нерестовые. Кета и горбуша являются основными видами лососевых рыб, которые заходят на нерест в эти реки, как правило, с первой декады июля по первую декаду августа [3–5].

Залив Академии интересен прежде всего тем, что его южная часть (Ульбанский залив, рис. 1) является местом нагула охотоморской популяции гренландских китов (ГК) в летне-осенний период [6–9]. В соответствии с общепринятой точкой зрения основой пищевого рациона ГК считается зоопланктон. Акватория Шантарского архипелага характеризуется большой плотностью мелкого зоопланктона (преобладают копеподы) и рассматривается как один из наиболее высокопродуктивных районов Охотского моря [10]. Биомасса зоопланктона формируется за счет употребления им в пищу фитопланктона, бактериопланктона, растворенного и взвешенного органического вещества [11], однако механизм формирования первичной продукции, который бы обеспечивал ежедневное потребление китом зоопланктона в объеме 1,5–2 т (2% от веса кита) [12], до сих пор неизвестен.

Для выяснения этого вопроса нами были проведены широкомасштабные гидрохимические исследования акватории Шантарского архипелага в июле 2016 г. [13], сентябре 2020 г. [14] и сентябре 2022 г. В отличие от 2016 и 2022 гг., в 2020 г. не выполнялись исследования эстуариев рек Ульбан и Сыран. В период наблюдений 2016 г. в акватории зал. Академии не было обнаружено ни одного ГК; установлено низкое содержание биогенных веществ в реках, впадающих в залив [2, 14]; гидрохимические результаты указывали, что залив был олиготрофным. В сентябре 2020 г. гидрохимические наблюдения проводили после массового нереста лосося, были установлены более высокие концентрации биогенных веществ в зал. Академии. На основе полученных результатов была выдвинута гипотеза, что в рацион ГК может входить лосось, который заходит на нерест в реки Ульбанского залива. После нереста лосось гибнет, и продукты его разложения поступают в речные воды и вершинную часть залива, вызывая цветение фитопланктона и тем самым

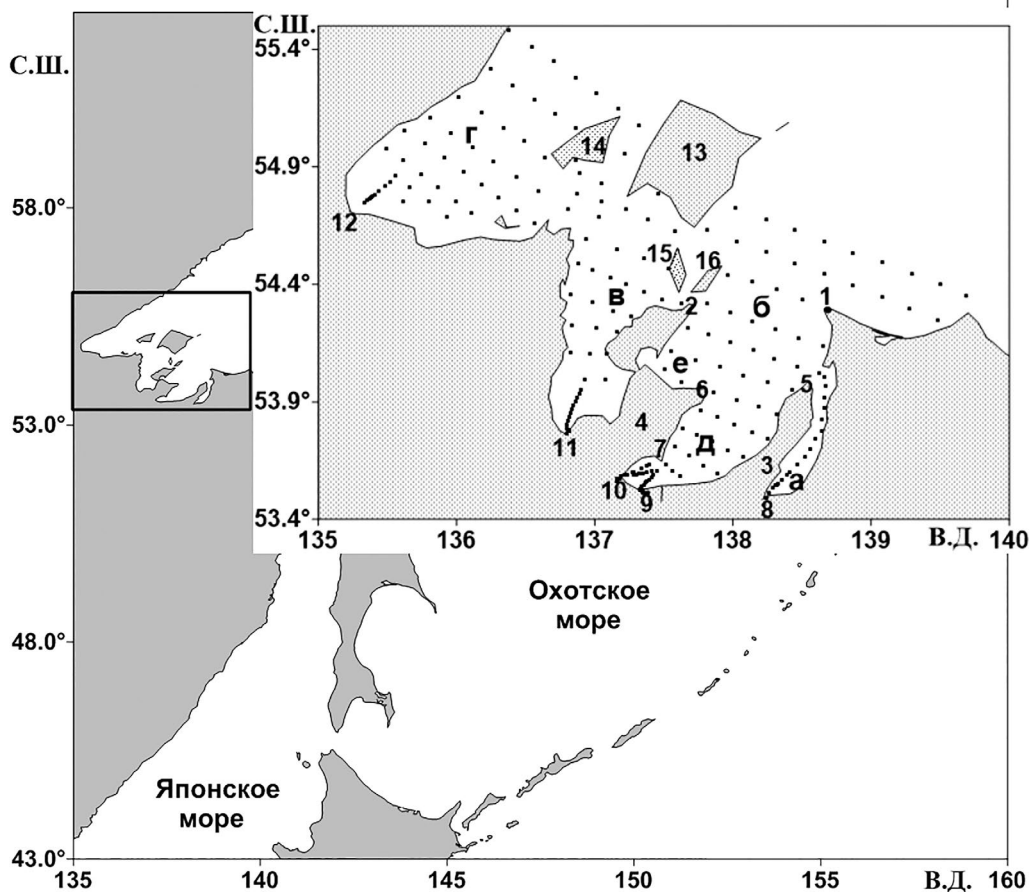


Рис. 1. Географическое положение Шантарского архипелага: 1 – мыс Врангеля, 2 – мыс Сенеки, 3 – п-ов Тохареу, 4 – п-ов Тугурский, 5 – мыс Тукургу, 6 – мыс Укурунру, 7 – коса Бетти, 8 – р. Усалгин, 9 – р. Ульбан, 10 – р. Сыран, 11 – р. Тугур, 12 – р. Уда, 13 – о-в Большой Шантар, 14 – о-в Феклистова, 15 – о-в Малый Шантар, 16 – о-в Беличий, а – зал. Николая, б – зал. Академии, в – зал. Тугурский, г – Удская губа, д – зал. Ульбанский, е – зал. Константина

формируя кормовую базу для развития зоопланктона [14]. Гидрохимические исследования вод Шантарского архипелага, рек и эстуариев в сентябре 2022 г. пришлось на период нагула ГК. Экспедиционные наблюдения проводили существенно позже времени массового нереста лосося. Одной из задач экспедиции было установление возможной роли лосося в формировании кормовой базы китов.

В данной статье приводятся результаты, указывающие на фундаментальную роль лосося в экосистеме зал. Академии и негативные последствия человеческой деятельности, которые могут разрушить эту экосистему.

Район и методы исследования

Акватория Шантарского архипелага расположена в северо-западной части Охотского моря и включает в себя три крупных залива: Академии, Тугурский, Удская губа (рис. 1). Залив Академии глубоко вдается в материк между мысом Врангеля ($54^{\circ}17'$ с. ш., $138^{\circ}40'$ в. д.) на востоке и мысом Сенека ($54^{\circ}19'$ с. ш., $137^{\circ}44'$ в. д.) на западе. С востока к нему прилегает зал. Николая. Южная и западная части зал. Академии называются соответственно заливами Ульбанский и Константина [1].

Глубины на входе в зал. Академии не превышают 52 м, в его средней части составляют 30–35 м, по мере приближения к берегам уменьшаются постепенно. Грунт представляет собой илистый песок с галькой и раковинами моллюсков. Ульбанский залив ограничен с востока п-овом Тохареу, с запада – п-овом Тугурский. Восточным входным мысом залива является мыс Тукургу, западным – мыс Укурунру. Глубины у входа в залив 30–35 м, в средней его части 25 м, у входа в его вершину 12–14 м. Северный берег вершины зал. Ульбанский на востоке заканчивается косой Бетти (53°39' с. ш., 137°30' в. д.). В вершину залива впадает несколько рек, наиболее крупные из которых Сыран и Ульбан длиной 77 и 81 км соответственно [5, 15]. Приливы в заливе неправильные полусуточные, в его вершине их обычная высота 3–6 м. Под влиянием приливов находится более 20 км нижнего течения рек Сыран и Ульбан, имеющих канавоподобные русла с мутной водой.

Экспедиционные работы в зал. Академии выполняли на НИС «Профессор Гагаринский» в июле 2016 г. [13] и сентябре 2022 г. Работы в вершине Ульбанского залива и эстуариях рек Ульбан и Сыран проводили на моторной лодке. Зондирование воды в обеих экспедициях осуществляли зондом SBE19plus V2, оснащенным датчиками температуры, давления, электропроводности (солёности), растворенного кислорода (DO), флуоресценции хлорофилла-а, мутности, фотосинтетически активной радиации (ФАР) в комплекте с пробоотборной системой SBE-55 из 6 батометров объемом 4 л каждый. Дополнительно в 2016 г. изучали эстуарии рек Сыран (14 июля) и Ульбан (26 июля), а в 2022 г. – Сыран (14 сентября), Ульбан (15 сентября) и Тугур (17 сентября) в соседнем Тугурском заливе (рис. 1, рис. 2, б). Отбирали воду для анализа на следующие гидрохимические параметры: солёность, DO, pH, общую щёлочность (ТА), хлорофилл-а, растворенный органический углерод (РОУ) и гумусовое вещество, биогенные вещества (фосфаты, силикаты, нитраты, нитриты, ион аммония, общий азот, общий фосфор). Методики измерения гидрохимических параметров приведены в работе [14].

Дополнительно в октябре–ноябре 2021 г. проведены эксперименты по разложению туш кеты в речных водах. Свежевыловленную рыбозаводом кету из р. Барабашевка Приморского края (два самца с молоками и одна самка с икрой, общим весом 8 кг) помещали в пластиковую бочку объемом 200 л, полностью наполненную речной водой. Бочка находилась в прохладном темном месте. Вода непрерывно принудительно аэрировалась со дна мощной аквариумной помпой. В течение экспозиции пробы воды отбирали для анализа РОУ, неорганического и общего фосфора, общего азота.

Результаты

Акватория зал. Академии, в особенности кутовая часть Ульбанского залива, является местом нагула ГК, как правило, в августе–сентябре [6, 7, 9, 16]. В 2016 и 2022 гг. нами изучались эстуарии р. Сыран и Ульбан. Точки отбора проб в эстуариях и места встреч с ГК в 2022 г. показаны на рис. 2, а. В июле 2016 г. в кутовой части Ульбанского залива наблюдали стадо из 100–150 белух, но не было зарегистрировано ни одного ГК. В сентябре 2020 г. встретился только один ГК в небольшой бухте, прилегающей к мысу Врангеля (рис. 1). В сентябре 2022 г. в мористой части эстуария р. Сыран отмечено 23 ГК, а в эстуарии р. Тугур – 9 (рис. 2). Для обеспечения пищей ГК требуется высокая первичная продукция (ПП) фитопланктона, служащего пищей зоопланктону [11]: фитопланктон → зоопланктон → ГК (1).

Одно из необходимых условий высокой ПП акватории зал. Академии является высокая концентрация биогенных веществ. Сравнительное распределение общего фосфора (P_{tot}) и общего азота (N_{tot}) для двух сезонов – лета 2016 г. и осени 2022 г. –



Рис. 2. Расположение гидролого-гидрохимических станций (кружки) в кутовой части Ульбанского (а) и Тугурского (б) заливов. Треугольником отмечены места встреч с гренландскими китами в Ульбанском (23, 9 и 9 животных утром и в полдень 14.09.2022 г. и вечером 15.09.2022 г. соответственно) и Тугурском (9 животных утром 17.09.2022 г.) заливах

приведено на рис. 3, 4. Из рисунков следует, что существуют два основных источника биогенных веществ. Один из них – открытая часть Охотского моря, адвекция придонных вод которого в залив с последующим приливным перемешиванием обуславливает осенью высокие, нежели в летний период, концентрации N_{tot} [14] (рис. 4). Для P_{tot} этот эффект менее выражен (рис. 3). Другой источник P_{tot} и N_{tot} обнаружен в эстуарной зоне, в вершине Ульбанского залива. Опять же, его значение было бóльшим в сентябре, чем в июле (рис. 3, 4). В работе [14] было сделано

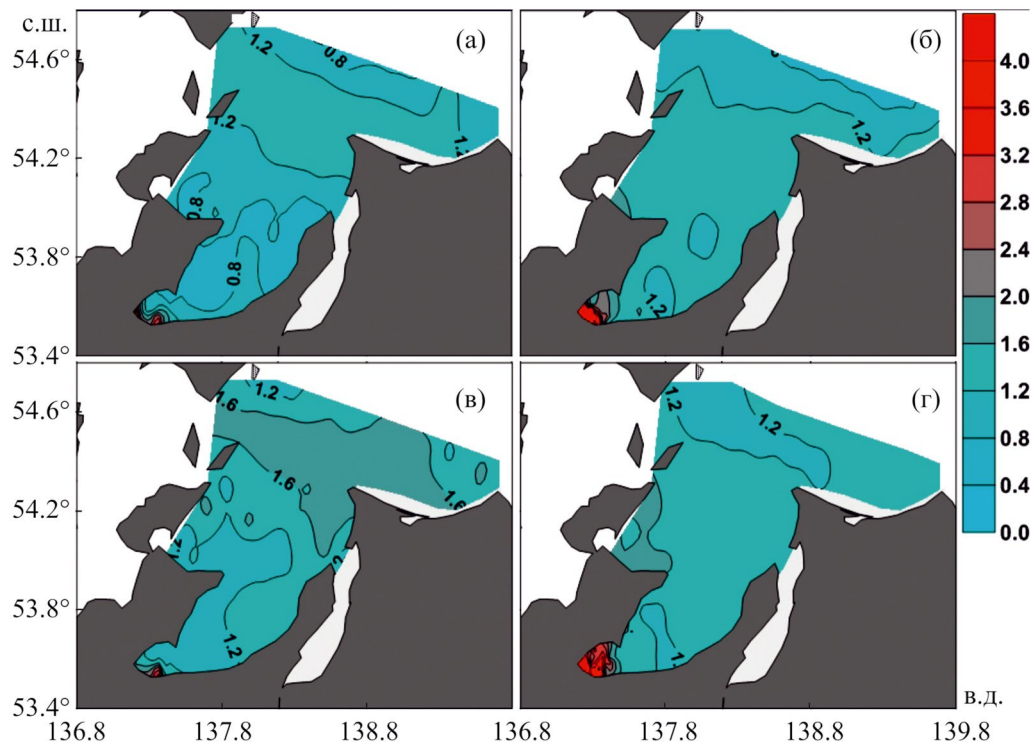


Рис. 3. Распределение концентрации P_{tot} (мкмоль/л) в зал. Академии в июле 2016 г. (а, в) и сентябре 2022 г. (б, г) в поверхностном (а, б) и придонном (в, г) слоях воды

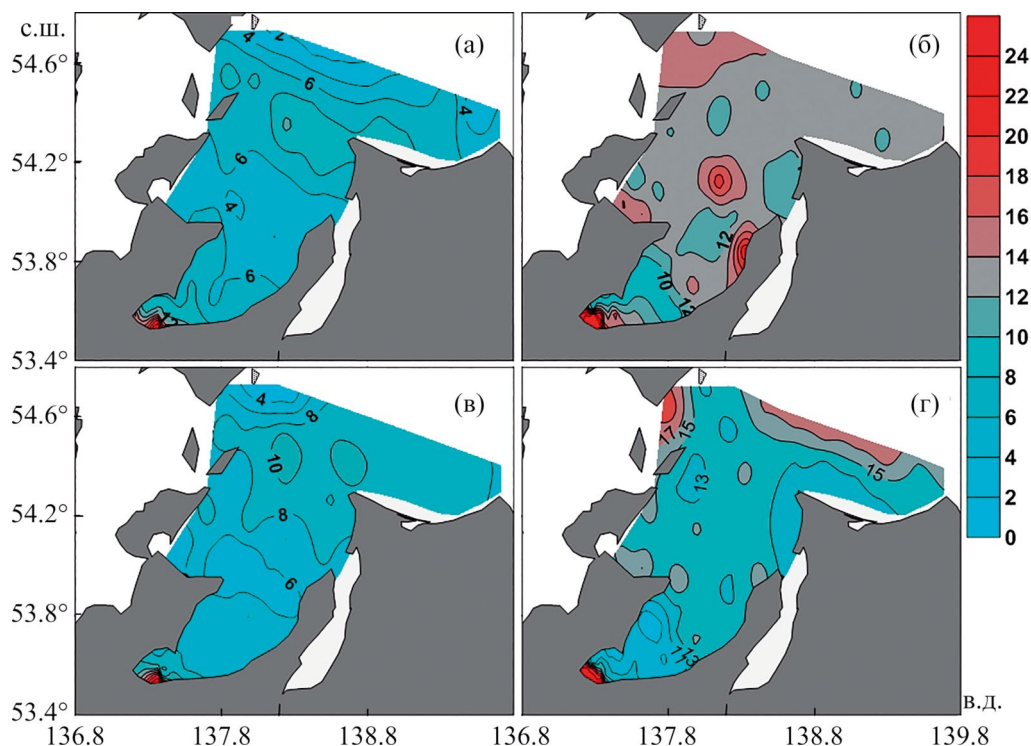


Рис. 4. Распределение концентрации N_{tot} (мкмоль/л) в зал. Академии в июле 2016 г. (а, в) и сентябре 2022 г. (б, г) в поверхностном (а, б) и придонном (в, г) слоях воды

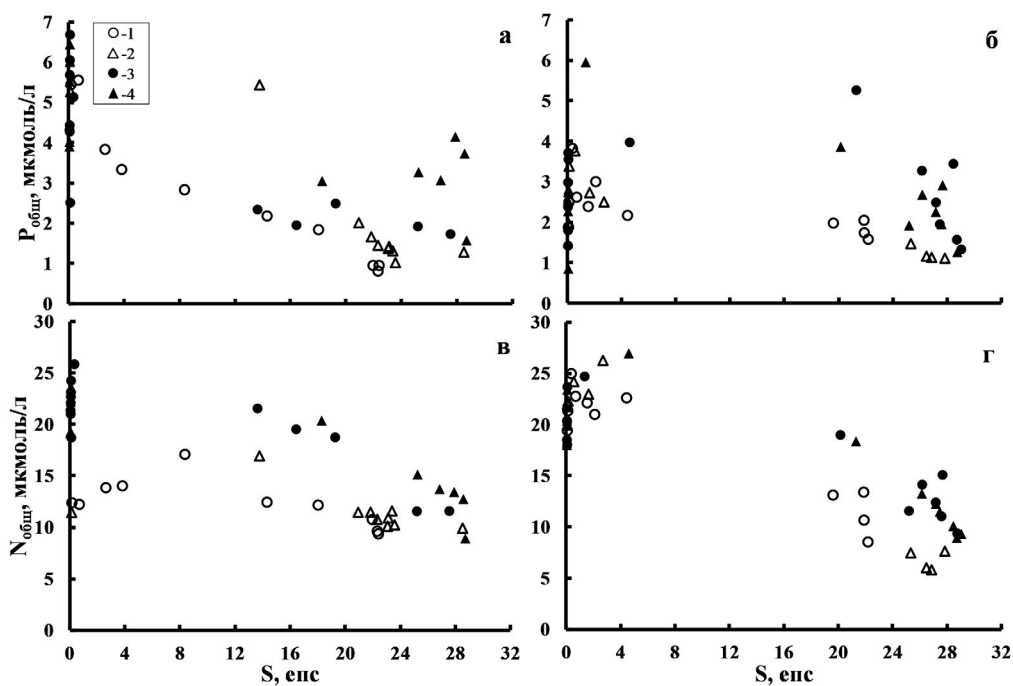


Рис. 5. Распределение концентраций общего фосфора (P_{tot} , а, б) и общего азота (N_{tot} , в, г) в зависимости от солёности (епс – единицы практической солёности) для эстуариев рек Сыран (а, в) и Ульбан (б, г). Исследования р. Сыран проводились 14.07.2016 г. и 14.09.2022 г., р. Ульбан – 26.07.2016 г. и 15.09.2022 г. 1, 2 соответствуют результатам 2016 г., а 3, 4 – 2022 г. Кругами отмечены поверхностные воды, треугольниками – придонные

предположение, что поступающие в куттовую часть залива биогенные вещества могут быть продуктами разложения погибшего после нереста лосося. Сравнение результатов измерений P_{tot} и N_{tot} , выполненных летом (июль) 2016 г. и осенью (сентябрь) 2022 г. в эстуариях рек Сыран и Ульбан, показано на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что для эстуария р. Сыран концентрации P_{tot} и N_{tot} были, как правило, систематически выше в 2022 г., чем в 2016 г. Этот результат мы объясняем тем, что в июле 2016 г. нерест лосося только начался [4] и биогенные вещества из разлагающихся туш производителей не обогатили речные воды. В сентябре 2022 г. нерест лосося в основном завершился, речные воды были обогащены P_{tot} и N_{tot} примерно в 1,5–2 раза. Результаты измерений концентраций P_{tot} и N_{tot} в речной части эстуария р. Ульбан не показали систематическую разницу между летним (2016 г.) и осенним (2022 г.) сезонами. Скорее наоборот, концентрации биогенных веществ в речной части эстуария р. Ульбан в июле 2016 г. были выше, чем в сентябре 2022 г. В июле 2016 г. исследования эстуария р. Ульбан проводились на 12 дней позже, чем в р. Сыран. По нашему мнению, эта задержка оказалась достаточной для обогащения биогенами из разложившегося лосося вод Ульбана, но не достаточной для обогащения мористой части его эстуария. Экспериментальные исследования по разложению лосося, представленные на рис. 6, показывают, что в воде в течение двух недель концентрация РОУ увеличилась до 170 мгС/л, а неорганического фосфора, общего азота и общего фосфора – соответственно до 700, 29 600 и 2600 мкмоль/л. Скорость микробиологического разложения достаточно велика. В течение двух недель масса лосося уменьшилась примерно в 1,5 раза. Полную кинетическую кривую разложения кеты нам не удалось получить из-за чрезвычайно отвратительного запаха, обусловленного выделяющимися ядовитыми диаминами. Разложение лосося в конечном итоге приводит к увеличению продукции не только первого звена пищевой цепи, но и второго. Схематично это можно представить цепочкой: лосось $\rightarrow$ бактериопланктон $\rightarrow PO_4^{3-}$, NH_4^+ , NO_3^- $\rightarrow$ фитопланктон $\rightarrow$ зоопланктон $\rightarrow$ ГК (2).

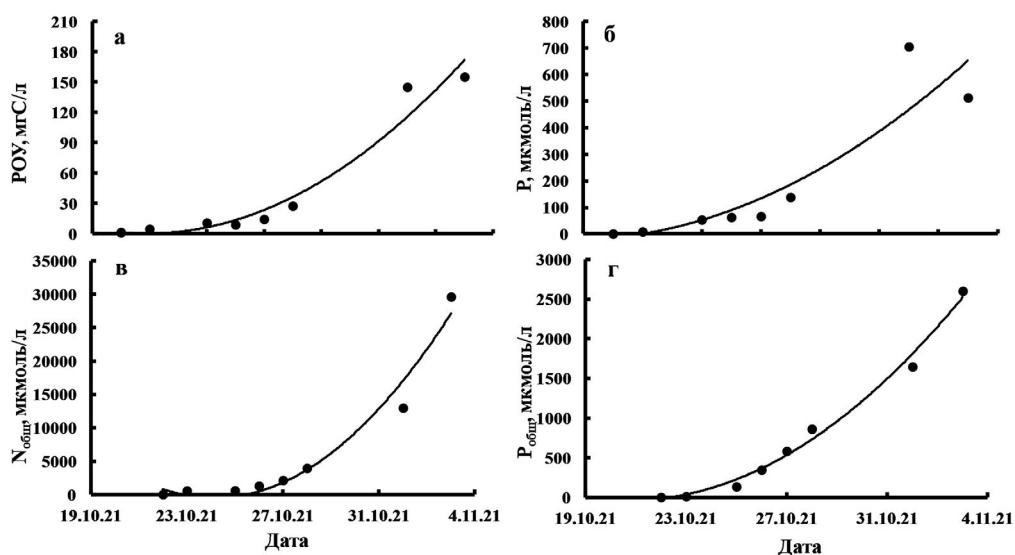


Рис. 6. Рост концентраций растворенного органического углерода (а), неорганического фосфора (б), общего азота (в) и общего фосфора (г) в речной воде в зависимости от времени (8 кг свежельвленной кеты в 200 л воды из р. Барабашевка)

Обсуждение

Акваторию зал. Академии в летний сезон можно отнести к олиготрофному бассейну [14]. Концентрации биогенных веществ здесь в сентябре выше, чем в июле (рис. 4, [14]), и такое увеличение обусловлено, на наш взгляд, муссонным климатом. Летние паводки на реках в летний сезон формируют поток поверхностных вод из залива в открытую часть Охотского моря, что вызывает компенсационный поток придонных вод из открытой части моря, поставляющий биогенные вещества в зал. Академии, поскольку их концентрации выше в придонных водах. В период ледостава, в конце октября [1], начинается зимняя межень на реках, происходит более резкое охлаждение вод, чем в открытой части Охотского моря, что приводит к уменьшению уровня воды в зал. Академии. В этот период следует ожидать поступления поверхностных вод из открытой части Охотского моря и, как противоток, придонных вод из залива в открытую часть моря, что должно приводить к уменьшению концентрации биогенных веществ. Эти процессы влияют на сезонную изменчивость ПП и, соответственно, на продукцию зоопланктона в северной и центральной частях зал. Академии. Однако местом нагула ГК является южная часть зал. Академии – Ульбанский залив [6–8, 16] (именно в его вершине наблюдаются высокие концентрации P_{tot} и N_{tot} в осенний сезон).

Существует несколько путей поступления биогенных веществ в мористую часть эстуариев рек Сыран и Ульбан: а) естественный речной поток (фоновый); б) дополнительный поток, обусловленный разложением туш лосося после нереста и на подходе к реке для нереста; в) миграция молоди лосося из реки в море.

Для оценки природных концентраций P_{tot} и N_{tot} были использованы данные самой длинной в регионе р. Уда. (457 км) [15]. Предполагалось, что лосось поднимается вверх по течению реки на несколько сотен километров, поэтому в ее нижнее течение и прибрежную зону не попадают биогенные вещества, образующиеся в результате разложения погибшего лосося. Таким образом, годовые естественные потоки P_{tot} и N_{tot} , поставляемые реками Ульбан и Сыран в кутовую часть Ульбанского залива, были рассчитаны из средних значений концентраций P_{tot} и N_{tot} , полученных в речной воде р. Уды летом 2016 г. и осенью 2022 г., а также среднегодовых значений расхода рек Сыран и Ульбан [2] и составили 8,5 и 141 т/год соответственно.

Поток биогенных веществ, поставляемых разложившимися тушами лосося после нереста, можно оценить на основе данных о количестве нерестящихся рыб в реках Сыран и Ульбан. С.Ф. Золотухин [17] и А.Н. Канзепарова [5] установили площади нерестовых участков кеты и горбуши и количество производителей на 100 м² на нерестилище. Используя эту информацию, было подсчитано, что в среднем погибает около 980 и 1800 т/год лосося соответственно.

Следует также отметить, что при подходе лосося на нерест его встречают млекопитающие: зубатые киты (белухи и косатки) и тюлени (лахтак, кольчатая нерпа, ларга) [18]. Количество белух в Ульбанском заливе может достигать 2300 особей [19], косаток, которые питаются не только рыбой, но и тюленями – до 30 особей [19]. Данные по другим млекопитающим более скудные. В экспедиции 2022 г. в эстуарии р. Сыран нами было зафиксировано около 300 тюленей, лежащих на осушке. Если принять, что каждая взрослая особь съедает в сутки рыбы в количестве 1,5–2% от массы своего тела, то в течение месячного хода рыбы зубатыми китами и тюленями будет употреблено в пищу около 2100 т лосося. Примерно десятая часть съеденной рыбы расходуется на увеличение биомассы животных, а оставшаяся в форме экскрементов выделяется в среду. Общая биомасса лосося, которая может превратиться в биогенные вещества (мертвая рыба после нереста и съеденная млекопитающими), составляет около 3000 т. Согласно содержанию питательных

веществ в биомассе лосося [20], была выведена следующая формула для органического вещества: $(\text{CH}_2\text{O})_{61}(\text{NH}_3)_{12}\text{H}_3\text{PO}_4$. Согласно ей дополнительный экспорт питательных веществ в вершину Ульбанского залива составляет 4,5 и 23,6 т общего фосфора и азота соответственно. Эти потоки в 6 раз меньше природных годовых потоков биогенных веществ, поставляемых реками Ульбан и Сыран в Ульбанский залив. Но эти потоки биогенных веществ имеют место в короткий промежуток времени, т.е. носят импульсный характер. Если оцененные таким образом потоки P_{tot} и N_{tot} равномерно распределить в водной среде кутовой части Ульбанского залива, ограниченной косой Бетти, то концентрации P_{tot} и N_{tot} увеличатся на $6,0 \cdot 10^{-8}$ и $7,2 \cdot 10^{-7}$ моль/л соответственно, что не скажется заметно на результатах прямых измерений их концентраций. Показанная на рис. 3, 4 обогащенная биогенными веществами область составляет примерно четвертую часть от области, ограниченной косой Бетти. Расчет количества биогенных веществ только для этой части акватории Ульбанского залива дает увеличение их концентраций, равное $4,7 \cdot 10^{-7}$ и $5,6 \cdot 10^{-6}$ моль/л для P_{tot} и N_{tot} соответственно. Такое увеличение можно зафиксировать аналитическими методами, однако эти величины значительно меньше наблюдаемых превышений над фоном, которые составляют примерно $2,5 \cdot 10^{-6}$ и $15 \cdot 10^{-6}$ моль/л P_{tot} и N_{tot} (рис. 3, 4).

Что касается миграции молоди лосося из реки в море, то, по данным нерестового фонда рек Сыран и Ульбан [17], ежегодно в них в среднем рождается $5 \cdot 10^8$ мальков. Начальная масса мигрирующей молоди лосося составляет около 0,2–0,3 г, которая со временем значительно увеличивается. Общее поступление биомассы молоди лосося из реки в море составляет около 10 т в пересчете на сухое органическое вещество, или 0,15 т P_{tot} и 0,79 т N_{tot} . Если предположить, что половина молоди будет съедена хищниками, то образовавшиеся в результате метаболизма биогенные вещества внесут незначительный вклад в увеличение концентрации биогенных веществ в вершине Ульбанского залива.

Из вышеприведенных оценок следует, что наблюдаемое обогащение кутовой части Ульбанского залива P_{tot} и N_{tot} (рис. 3, 4) нельзя в полной мере объяснить погибшим лососем на подходе к реке, и тем, который отнерестился, и мелкой молодью лосося. Также пищевая цепь, предложенная схемами (1) и (2), не обеспечивает кормовую базу 23 китам, которых мы наблюдали осенью 2022 г. в мористой части эстуария р. Сыран (рис. 3). Последний вывод следует из результатов оценки ПП фитопланктона для акватории южнее косы Бетти (рис. 1), которая менее 500 мг С/(м² · сут) [21]. Максимальная продукция для площади 5 км², на которой были обнаружены 23 ГК, обеспечивает пищей 1–2 китов.

Существует иной вариант объяснения наблюдаемым высоким значениям P_{tot} и N_{tot} в вершине Ульбанского залива, а также источника питания ГК. Нами предложена гипотеза, в соответствии с которой основной кормовой базой ГК в Ульбанском заливе являются подростные мальки лосося. Инкубационный период икры кеты и горбуши для холодного климата может составлять 130–150 сут. После выклева личинки остаются в гнездах до весны [22]. В среднем рождается $5 \cdot 10^8$ мальков горбуши и кеты в реках Сыран и Ульбан. Эта величина от года к году сильно меняется: например, количество производителей горбуши в нечетные годы на нерестилище могло достигать 30 шт./100 м², а в четный неурожайный год – только 2 шт./100 м². В наших оценках количество производителей для горбуши составляет 16 шт./100 м², а для кеты – 12 шт./100 м² [17]. По-видимому, в конце мая – начале июня, после вскрытия рек ото льда и очищения от него кутовой части Ульбанского залива, мальки горбуши и кеты размером 3,5 см и весом 0,2 г начинают скатываться к устью рек. В период ската организм мальков лосося перестраивается, т.е. происходит его смолтификация. Следует отметить, что 20-километровые низовья рек

Ульбан и Сыран представляют собой приливно-отливные бассейны, заполненные мутной водой, что способствует сохранению мальков от хищников и питанию бентосными организмами. Соленость в этом приливно-отливном бассейне (до бара реки) меняется в пределах 0–20‰, что способствует адаптации молоди к жизни в море. При попадании в эстуарную часть бассейна (после бара реки) мальки горбуши и кеты превращаются в стайных рыбок, размеры стай могут достигать сотен тысяч особей [22]. Прибрежный период жизни молоди охватывает 1,5–2 мес. С увеличением длины тела и веса мальки переходят на пелагический тип питания (мелкий зоопланктон), постепенно отходят от береговой черты. В августе сеголетки горбуши весят до 4 г и отходят от береговой черты на 2 мили [22, 23]. Примерно на этом расстоянии от береговой черты в экспедиции 2022 г. были обнаружены ГК в мористой части эстуариев р. Сыран и Тугур (рис. 2). В сентябре средний размер и вес сеголеток горбуши достигает 18 см и 61 г соответственно, и они мигрируют в открытую часть моря, а в октябре–ноябре покидают Охотское море через Курильские проливы [22, 23]. Авторы цитируемых выше работ описывают для молоди кеты примерно тот же сценарий ската из реки в эстуарий, накопления веса в эстуарной части с последующим отходом в мористую часть и миграцией в открытую часть моря, а затем в Тихий океан в октябре–ноябре. Для мальков кеты может быть характерна большая неравномерность размера и веса, чем у мальков горбуши. Если предположить, что ГК поедают только 50% от всей молоди мальков со средним весом особи 20 г, то суммарные «избыточные» над фоном концентрации P_{tot} и N_{tot} в кутовой части Ульбанского залива составят $1,3 \cdot 10^{-6}$ и $15 \cdot 10^{-6}$ моль/л соответственно. Эти оценки «избыточных» концентраций по порядку величины соответствуют нашим наблюдениям (рис. 3, 4). Более того, такая биомасса молоди (около 5000 т) способна обеспечить питание 23 ГК в течение более 4 мес. Следует также отметить, что временная неравномерность ската мальков, их роста [22], на наш взгляд, обеспечивает ГК кормовой базой в течение 1,5–2 мес.

Несмотря на высокую неопределенность вышеприведенных оценок, они указывают, что сеголетки горбуши и кеты могут служить устойчивой кормовой базой для ГК и в условиях интенсивного роста могут обеспечить пищей существенно больше ГК. Максимальное количество ГК, которое мы наблюдали в эстуарии р. Сыран, составляло 23 особи. Следует отметить, что здесь рассмотрены только две реки. Площадь нерестилищ в р. Усалгин, которая впадает в кутовую часть зал. Николая, примерно равна суммарной площади рек Ульбан и Сыран [17]. Суммарная площадь нерестилищ более мелких рек соответствует площади нерестилищ р. Сыран. Таким образом, молодь лосося зал. Академии способна обеспечить питание 50–60 китов в течение летне-осеннего нагула. Именно такое количество китов приходит кормиться в зал. Академии в этот период [7, 8]. В исследованных желудках ГК наряду с зоопланктоном обнаруживались рыбки размером до 8 см [24, 25], что является косвенным аргументом в пользу нашей гипотезы. Следует отметить, что высокая концентрация пищи, необходимая ГК, вполне обеспечивается многочисленной молодью лосося. Это также объясняет, почему ГК предпочитают питание в зал. Академии на глубинах 4–7 м, а не в северной части залива, где глубина бассейна более 40 м, а ПП фитопланктона превышает $2700 \text{ мг С}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, т.е. в пять раз выше в сравнении с кутовой частью Ульбанского залива [21].

На вершине пищевой цепи экосистемы зал. Академии находятся такие прекрасные млекопитающие, как ГК, белухи, косатки, тюлени. Основой потоков вещества и энергии в экосистеме залива является лосось. Лососевые на разных стадиях жизненного цикла обеспечивают питанием разные уровни пищевой цепи, в том числе ГК. Угроза благополучному существованию данной группы рыб может привести к необратимой деградации экосистемы залива.

Активизация человеческой деятельности в акватории Шантарского архипелага вызывает тревогу за судьбу этого края. Нам известно, что в верховьях р. Ульбан добывается золото старательской артелью «Восток». Золото мелкодисперсное, и артель его концентрирует на месте, что может негативно сказаться на поголовье лосося в этой реке. Действительно, показания эхолота нашей лодки во время изучения р. Сыран указывали на обилие рыбы в реке как в 2016, так и в 2022 г. В р. Ульбан в 2016 г. рыба также была, но осенью 2022 г. эхолот указывал на ее отсутствие, которое можно объяснить старательским промыслом. Другим событием, вызывающим тревогу, является введение в сентябре 2022 г. в эксплуатацию Кутынского месторождения золота, расположенного на Тугурском полуострове («Кутынская горно-геологическая компания», учредитель – ОАО «Полиметалл УК»). Обогащение руды проводится «кучным методом», т.е. порошок руды взаимодействует с оксидом кальция, цианидными растворами, которые переводят золото в растворенную форму (процесс Меррилл – Кроу). Очевидно, что любая, даже небольшая авария может привести к непоправимым экологическим последствиям. Дополнительно «пришла беда, откуда не ждали»: планируется строительство угольного терминала в районе мыса Манорский – порт Эльга (Удская губа). Очевидно, что перегрузка угля с вагонов на суда будет сопровождаться загрязнением угольной пылью окружающей среды, в чем общественность полностью убедилась на примере порта Восточный в бухте Врангеля (зал. Находка). Угольная пыль не является инертной, она оказывает негативное влияние на все трофические уровни морской экосистемы [26]. Активизация рыболовства, золотодобывающей и угольной промышленности в районе Шантарского архипелага, а также создание приливной станции в Тугурском заливе может привести к резкому сокращению численности лосося и исчезновению ГК. Уже сейчас требуется постоянный экологический контроль этой уникальной акватории, включающий наблюдения за миграцией лосося из Охотского моря в реки, впадающие в заливы Шантарского архипелага, а также регулярный учет количества и путей миграции ГК.

Заключение

Установлено, что в осенний сезон (сентябрь) концентрации общего азота и общего фосфора в эстуарных водах рек Ульбан и Сыран были выше в 1,5–2 раза, чем в летний (июль) сезон. В сентябре 2022 г. в кутовой части Ульбанского залива наблюдалось превышение содержания общего фосфора и общего азота над фоном примерно на 2,5 и 15 мкмоль/л соответственно, что согласуется с результатами наблюдений, выполненных нами в сентябре 2020 г. [14]. Повышенные концентрации общего фосфора и общего азота в осенний сезон в сравнении с летним сезоном обусловлены минерализацией экскрементов, выделяемых млекопитающими (белухами, косатками, тюленями), питающимися идущим на нерест лососем, минерализацией туш погибшего после нереста лосося и минерализацией экскрементов, выделяемых ГК, питающимися сеголетками кеты и горбуши. К такому выводу нас подводят многочисленные публикации по зафиксированным встречам с белухами, тюленями, ГК в кутовой части Ульбанского залива, а также собственные наблюдения за этими животными. Аномалии концентраций биогенных веществ, особенности жизненных циклов лососей (девятимесячное созревание личинок, сроки ската мальков, превращение мальков в стайных пелагических рыб, их быстрый рост), олиготрофный характер залива и результаты наблюдений за ГК утверждают нас в мысли, что дополнительным источником пищи для ГК является молодь лосося. Устойчивость экосистемы зал. Академии определяется устойчивостью популяций приходящих на нерест горбуши и кеты. Развитие хозяйственной деятельности,

в частности добычи золота и коксующегося угля, промысла рыбы (лосося), а также возможная реализация идеи создания приливной станции в Тугурском заливе вызывают тревогу за сохранение поголовья краснокнижных млекопитающих. По мнению авторов данной статьи, все экономические выгоды от освоения Шантарского архипелага не стоят той гармонии, которая сейчас пока еще существует на этой акватории. Она нуждается в нашей защите. Мы считаем, что национальный парк «Шантарские острова» должен расширяться не только на все акватории основных заливов – Удской губы, Тугурского, Академии, но также на акватории рек, впадающих в них. Запрет на хозяйственную деятельность не должен касаться рыбного и охотничьего промысла, осуществляемого коренными жителями, населяющими этот прекрасный парк, что предусмотрено законами РФ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лодия Охотского моря. Вып. 2. Северная часть моря. М.: Изд-во УНГС ВМФ СССР, 1960. 200 с.
2. Semkin P. Yu., Tishchenko P. Ya., Pavlova G. Yu., Tishchenko P.P., Sagalaev S.G., Shkirknikova E.M., Shvetsova M.G. The carbonate system of estuaries of the Syran and Ulban rivers (Ul'banskii Bay of the Okhotsk Sea) during spring flood // Water Resources. 2022. Vol. 49, N5. P. 869–879. DOI: 10.31857/S0321059622050145.
3. Иванков В.Н., Иванкова Е.В., Кульбачный С.Е. Внутривидовая экологическая и темпоральная дифференциация у тихоокеанских лососей. Эколого-темпоральные расы и темпоральные популяции кеты *Oncorhynchus keta* // Изв. ТИНРО. 2010. Т. 163. С. 91–105.
4. Кульбачный С.Е. Экология и структура популяций кеты северо-западной части континентального побережья Охотского моря: дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2010. 148 с.
5. Канзепарова А.Н. Особенности биологии и современное состояние запасов горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) северо-западного побережья Охотского моря: дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2018. 148 с.
6. Rogachev K.A., Carmack E.C., Foreman M.G.G. Bowhead whales feed on plankton concentrated by estuarine and tidal currents in Academy Bay, Sea of Okhotsk // Cont. Shelf Res. 2008. Vol. 28. P. 1811–1826. URL: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.04.014>.
7. Melnikov V.V., Fedorets Yu. V. The distribution of zooplankton and bowhead whales, *Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758, in Akademiya Bay, Sea of Okhotsk // Russ. J. Mar. Biol. 2016. Vol. 42, N3. P. 216–221. DOI: 10.1134/S106307401603007X.
8. Шпак О.В., Парамонов А.Ю. Наблюдения за гренландскими китами (*Balaena mysticetus*) в Шантарском регионе Охотского моря; потенциальные угрозы для восстановления численности популяции // Морские млекопитающие Голарктики. 2015. Т. 2. С. 334–342.
9. Shpak O.V., Paramonov A. Yu. The bowhead whale, *Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758, in the western Sea of Okhotsk (2009–2016): distribution pattern, behavior, and threats // Russ. J. Mar. Biol. 2018. Vol. 44, N3. P. 210–218. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063074018030082>
10. Волков А.Ф. Интегральные схемы количественного распределения массовых видов зоопланктона дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана по среднегодовым данным (1984–2006 гг.) // Изв. ТИНРО. 2008. Т. 154. С. 135–143.
11. Steinberg D.K., Landry M.R. Zooplankton and the ocean carbon cycle // Annu. Rev. Mar. Sci. 2017. Vol. 9. P. 413–444. DOI: 10.1146/annurev-marine-010814-015924.
12. Reilly S., Hedley S., Borberg J., Hewitt R., Thiele D., Watkins J., Naganobu M. Biomass and energy transfer to baleen whales in the South Atlantic sector of the Southern Ocean // Deep-Sea Research. Pt. II. 2004. Vol. 51. P. 1397–1409. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.06.008>.
13. Tishchenko P. Ya., Lobanov V.B., Shul'kin V.M., Melnikov V.V., Tsoy I.B., Tishchenko P.P., Bannov V.A., Belous O.V., Vasileva L.E., Elovskaya O.A., Sagalaev S.G., Fedorets Yu. V. Comprehensive research of the coastal water area of the Sea of Japan and Sea of Okhotsk under the influence of river runoff (cruise 71 of the R/V Professor Gagarinskii) // Oceanology. 2018. Vol. 58, N2. P. 325–327. DOI: 10.7868/S0030157418020193.
14. Tishchenko P. Ya., Lobanov V.B., Tishchenko P.P., Semkin P. Yu., Sergeev A.F., Anisimova A.A., Barabanshchikov Yu.A., Melnikov V.V., Ryumina A.A., Sagalaev S.G., Ulanova O.A., Shvetsova M.G., Shkirknikova E.M. Hydrochemical study of Academy Bay (Sea of Okhotsk) // Oceanology. 2022. Vol. 62, N1. P. 80–92. DOI: 10.31857/S0030157422010166.
15. Semkin P. Yu., Tishchenko P. Ya., Pavlova G. Yu., Sagalaev S.G., Tishchenko P.P., Khodorenko N.D., Shkirknikova E.M., Shvetsova M.G. Effect of river runoff on the hydrochemical characteristics of water in Udskaya Bay and Nikolaya Bay (the Sea of Okhotsk) in summer // Oceanology. 2021. Vol. 61, N3. P. 338–350. DOI: 10.31857/S0321059622050145.
16. Ivashchenko Yu., Clapham Ph. Bowhead whales *Balaena mysticetus* in the Okhotsk Sea // Mammal Rev. 2010. Vol. 40, N1. P. 65–89. DOI: 10.1111/j.1365-2907.2009.00152.x.

17. Золотухин С.Ф. Предварительная оценка нерестового фонда кеты и горбуши Тутуро-Чумиканского района (Охотское море) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2005. Вып. 3. С. 622–628.
18. Шпак О.В., Парамонов А.Ю. Наблюдения за белухами (*Delphinapterus leucas*), косатками (*Orcinus orca*), гладкими китами (*Balaenidae*) в Ульбанском заливе Охотского моря // Морские млекопитающие Голарктики. 2012. Т. 2. С. 395–400.
19. Shpak O.V., Meschersky I.G., Glazov D.M., Litovka D.I., Kuznetsova D.M., Rozhnov V.V. Structure and assessment of beluga whale, *Delphinapterus leucas*, populations in the Russian Far East // Mar. Fish. Rev. 2020. Vol. 81, N3–4. P. 72–86.
20. Jonsson B., Jonsson N. Migratory Atlantic salmon as vectors for the transfer of energy and nutrients between freshwater and marine environments // Freshwater Biology. 2003. Vol. 48. P. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.00964.x>.
21. Tishchenko P.P., Tishchenko P. Ya., Semkin P. Yu., Shvetsova M.G. Phytoplankton primary production in the coastal water surrounding Shantar Archipelago // Russ. J. Mar. Biol. 2023. Vol. 49, N1. P. 47–55.
22. Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Т. 1. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. 481 с.
23. Волобуев В.В., Марченко С.Л. Тихоокеанские лососи континентального побережья Охотского моря (биология, популяционная структура, динамика численности, промысел). Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2011. 303 с.
24. Lowry L., Frost K.J. Foods and feeding of bowhead whales in western and northern Alaska // Sci. Rep. Whales Res. Inst. 1984. N35. P. 1–16.
25. Lowry L.F., Sheffield G., George J.C. Bowhead whale feeding in the Alaskan Beaufort Sea, based on stomach contents analysis // J. Cetacean Res. Manage. 2004. Vol. 6, N3. P. 215–223.
26. Tretyakova M.O., Vardavas A.I., Vardavas C.I., Iatrou E.I., Stivaktakis P.D., Burykina T.I., Mezhuiev Y.O., Tsatsakis A.M., Golokhvast K.S. Effects of coal microparticles on marine organisms: A review // Toxicology Reports. 2021. Vol. 8. P. 1207–1219. DOI: 10.1016/j.toxrep.2021.06.006.

REFERENCES

1. Lotsiya Okhotskogo morya. 2. Severnaya chast' morya = [Navigation in the Sea of Okhotsk, the Northern Part of the Sea]. Moscow: Directorate of the Chief of the Hydrographic Service of the Soviet Navy; 1960. 200 p. (In Russ.).
2. Semkin P. Yu., Tishchenko P. Ya. Pavlova G. Yu., Tishchenko P.P., Sagalaev S.G., Shkirmikova E.M., Shvetsova M.G. The carbonate system of estuaries of the Syran and Ulban rivers (Ul'banskii Bay of the Okhotsk Sea) during spring flood. *Water Resources*. 2022;49(5):869–879. DOI: 10.31857/S0321059622050145.
3. Ivankov V.N., Ivankova E.V., Kul'bachniy S.E. Vnutrividovaya ekologicheskaya i temporal'naya differentsatsiya u tikhookeanskikh lososei. Ekologo-temporal'nye rasy i temporal'nye populyatsii kety *Oncorhynchus keta* = [Intraspecific ecological and temporal differentiation in Pacific salmon. Ecological-temporal races and temporal populations of chum salmon *Oncorhynchus keta*]. *Izvestiya TINRO*. 2010;163:91–105. (In Russ.).
4. Kul'bachniy S.E. Ekologiya i struktura populyatsii kety severo-zapadnoi chasti kontinental'nogo poberezh'ya Okhotskogo morya = [Ecology and structure of pink salmon population in north-western costal Sea of Okhotsk]: Candidate dissertation. Vladivostok; 2010. 148 s. (In Russ.).
5. Kanzeparova A.N. Osobennosti biologii i sovremennoe sostoyanie zapasov gorbushi (*Oncorhynchus gorbuscha*) severo-zapadnogo poberezh'ya Okhotskogo morya = [Peculiarities of biology and current state of the pink salmon stock (*Oncorhynchus gorbuscha*) of the North-West Coast of the Okhotsk Sea]: Candidate dissertation. Vladivostok; 2018. 148 s. (In Russ.).
6. Rogachev K.A., Carmack E.C., Foreman M.G.G. Bowhead whales feed on plankton concentrated by estuarine and tidal currents in Academy Bay, Sea of Okhotsk. *Cont. Shelf Res.* 2008;28:1811–1826. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.04.014>.
7. Melnikov V.V., Fedorets Yu. V. The distribution of zooplankton and bowhead whales, *Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758, in Akademiya Bay, Sea of Okhotsk. *Russ. J. Mar. Biol.* 2016;42(3):216–221. DOI: 10.1134/S106307401603007X.
8. Shpak O.V., Paramonov A. Yu. Nablyudeniya za grenlandskimi kitami (*Balaena mysticetus*) v Shantarskom regione Okhotskogo morya; potentsial'nye ugrozy dlya vosstanovleniya chislennosti populyatsii = [Monitoring of bowhead whale (*Balaena mysticetus*) in the Shantar region of the Sea of Okhotsk: potential threats to population recovery]. *Marine Mammals of the Holarctic*. 2015;2:334–342. (In Russ.).
9. Shpak O.V., Paramonov A. Yu. The bowhead whale, *Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758, in the western Sea of Okhotsk (2009–2016): distribution pattern, behavior, and threats. *Russ. J. Mar. Biol.* 2018;44(3):210–218. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063074018030082>.
10. Volkov A.F. Integral'nye skhemy kolichestvennogo raspredeleniya massovykh vidov zooplanktona dal'nevostochnykh morei i severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana po srednemnogoletnim dannym (1984–2006 gg.)

- = [Integral schemes of quantitative distribution of abundant species of zooplankton of the Far Eastern seas and the Northwest Pacific Ocean on average long-term data (1984–2006)]. *Izvestiya TINRO*. 2008;154:135–143. (In Russ.).
11. Steinberg D.K., Landry M.R. Zooplankton and the ocean carbon cycle. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 2017;9:413–444. DOI: 10.1146/annurev-marine-010814-015924.
 12. Reilly S., Hedley S., Borberg J., Hewitt R., Thiele D., Watkins J., Naganobu M. Biomass and energy transfer to baleen whales in the South Atlantic sector of the Southern Ocean. *Deep-Sea Research*. Pt. II. 2004;51:1397–1409. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.06.008>.
 13. Tishchenko P. Ya., Lobanov V.B., Shul'kin V.M., Melnikov V.V., Tsoy I.B., Tishchenko P.P., Bannov V.A., Belous O.V., Vasileva L.E., Elovskaya O.A., Sagalaev S.G., Fedorets Yu. V. Comprehensive research of the coastal water area of the Sea of Japan and Sea of Okhotsk under the influence of river runoff (cruise 71 of the R/V Professor Gagarinskii). *Oceanology*. 2018;58(2):325–327. DOI: 10.7868/S0030157418020193.
 14. Tishchenko P. Ya., Lobanov V.B., Tishchenko P.P., Semkin P. Yu., Sergeev A. F., Anisimova A. A., Barabanshchikov Yu. A., Melnikov V. V., Ryumina A. A., Sagalaev S. G., Ulanova O. A., Shvetsova M. G., Shkirmikova E. M. Hydrochemical study of Academy Bay (Sea of Okhotsk). *Oceanology*. 2022;62(1):80–92. DOI: 10.31857/S0030157422010166.
 15. Semkin P. Yu., Tishchenko P. Ya., Pavlova G. Yu., Sagalaev S. G., Tishchenko P. P., Khodorenko N. D., Shkirmikova E. M., Shvetsova M. G. Effect of river runoff on the hydrochemical characteristics of water in Udskeya Bay and Nikolaya Bay (the Sea of Okhotsk) in summer. *Oceanology*. 2021;61(3):338–350. DOI: 10.31857/S0321059622050145.
 16. Ivashchenko Yu., Clapham Ph. Bowhead whales *Balaena mysticetus* in the Okhotsk Sea. *Mammal Rev.* 2010;40(1):65–89. DOI: 10.1111/j.1365–2907.2009.00152.x.
 17. Zolotukhin S. F. Predvaritel'naya otsenka nerestovogo fonda kety i gorbushi Tuguro-Chumikanskogo raiona (Okhotskoe more) = [Preliminary assessment of the spawning stock of chum and pink salmon in the Tuguro-Chumikanskiy district (Okhotsk Sea)]. *Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levandova*. 2005;3:622–628. (In Russ.).
 18. Shpak O. V., Meschersky I. G., Glazov D. M., Litovka D. I., Kuznetsova D. M., Rozhnov V. V. Structure and assessment of beluga whale, *Delphinapterus leucas*, populations in the Russian Far East. *Mar. Fish. Rev.* 2020;81(3–4):72–86. DOI: <https://doi.org/10.7755/MFR.81.3-4.3>.
 19. Jonsson B., Jonsson N. Migratory Atlantic salmon as vectors for the transfer of energy and nutrients between freshwater and marine environments. *Freshwater Biology*. 2003;48:21–27. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365–2427.2003.00964.x>.
 20. Tishchenko P. P., Tishchenko P. Ya., Semkin P. Yu., Shvetsova M. G. Phytoplankton primary production in the coastal water surrounding Shantar Archipelago. *Russ. J. Mar. Biol.* 2023;49(1):47–55.
 21. Shpak O. V., Paramonov A. Yu. Nablyudeniya za belukhami (*Delphinapterus leucas*), kosatkami (*Orcinus orca*), gladkimi kitami (*Balaenidae*) v Ul'banskom zalive Okhotskogo morya = [Observations on the white whales (*Delphinapterus leucas*), killer whales (*Orcinus orca*), right whales (*Balaenidae*) in the Ulban Bay of the Sea of Okhotsk]. *Marine Mammals of the Holarctic*. 2012;2:395–400. (In Russ.).
 22. Shuntov V. P., Temnykh O. S. Tikhookeanskije lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh = [Pacific salmon in marine and ocean ecosystems]. Vol. 1. Vladivostok: TINRO-Center; 2008. 481 s. (In Russ.).
 23. Volobuev V. V., Marchenko S. L. Tikhookeanskije lososi kontinental'nogo poberezh'ya Okhotskogo morya (biologiya, populyatsionnaya struktura, dinamika chislennosti, promysel) = [Pacific salmon of the continental coast of the Okhotsk Sea (biology, population structure, abundance dynamics, fishery)]. Magadan: North-East Sci. Center FEB RAS; 2011. 303 s. (In Russ.).
 24. Lowry L., Frost K. J. Foods and feeding of bowhead whales in western and northern Alaska. *Sci. Rep. Whales Res. Inst.* 1984;(35):1–16.
 25. Lowry L. F., Sheffield G., George J. C. Bowhead whale feeding in the Alaskan Beaufort Sea, based on stomach contents analysis. *J. Cetacean Res. Manage.* 2004;6(3):215–223.
 26. Tretyakova M. O., Vardavas A. I., Vardavas C. I., Iatrou E. I., Stivaktakis P. D., Burykina T. I., Mezhuiev Ya. O., Tsatsakis A. M., Golokhvast K. S. Effects of coal microparticles on marine organisms: A review. *Toxicology Reports*. 2021;8:1207–1219. DOI: 10.1016/j.toxrep.2021.06.006.