

Биогенные вещества в реках водосборного бассейна озера Ханка

Светлана Ивановна КОЖЕНКОВА¹
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
svetlana@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8503-2006>

Светлана Григорьевна ЮРЧЕНКО²
кандидат географических наук, научный сотрудник
resecch@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2008-1103>

Кирилл Юрьевич БАЗАРОВ³
научный сотрудник
kbazarov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7308-7096>

¹⁻³ ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

Аннотация. Охарактеризована изменчивость химического состава рек Спасовка и Комиссаровка, впадающих в оз. Ханка и дренирующих водосборы с различным уровнем хозяйственной освоенности. Бассейн р. Комиссаровка имеет площадь в 2 раза больше, чем р. Спасовка, но меньшую степень антропогенной нагрузки. Преобладающей категорией земель в двух бассейнах являются лесные территории, однако доля сельскохозяйственных земель в бассейне р. Спасовка в 3 раза больше (28 % от общей площади), чем в бассейне р. Комиссаровка (9.4 %). Бассейн р. Спасовка включает, кроме того, территорию г. Спасск-Дальний с крупными предприятиями стройиндустрии. В 2019–2021 гг. реки имели низкую минерализацию, гидрокарбонатно-натриевый состав и нейтральную или слабощелочную величину pH. Концентрации макроионов и биогенных веществ в воде р. Комиссаровка соответствовали фоновым значениям. В бассейне р. Спасовка химический состав воды существенно изменялся от верховьев к низовью. Установлено, что в результате загрязнения окружающей среды на территории г. Спасск-Дальний и близлежащих сельхозпредприятий в р. Спасовка и ее притоке р. Кулешовка в 2–3 раза увеличивается содержание макроионов Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} и Na^+ , а также возрастают концентрации фосфатов, ионов аммония и нитритов. В 2020–2021 гг. выявлены превышения ПДК для рыбохозяйственных водоемов по NH_4^+ в 1.2–2 раза, по NO_2^- в 3.5–12 раз. Влияние бытового, промышленного и сельскохозяйственного загрязнения на биоту водотоков выражается в локальной деградации сообществ макробентоса. В устьевых зонах рек Спасовка и Комиссаровка в 2019–2021 гг. концентрации веществ в воде не превышали санитарных норм. Для р. Спасовка это обусловлено процессами самоочищения в нижнем течении за счет дренирования территории государственного природного биосферного заповедника «Ханкайский».

Ключевые слова: химический состав воды, биогенные вещества, минерализация, загрязнение, Приморский край

Для цитирования: Коженкова С.И., Юрченко С.Г., Базаров К.Ю. Биогенные вещества в реках водосборного бассейна озера Ханка // Тихоокеанская география. 2024. № 2. С. 107–119. https://doi.org/10.35735/26870509_2024_18_8.

Nutrients in the rivers of the Lake Khanka drainage basin

Svetlana I. KOZHENKOVA¹,
Candidate of Biological Sciences, Senior research associate
svetlana@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8503-2006>

Svetlana G. YURCHENKO²,
Candidate of Geographical Sciences, Research associate
recech@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2008-1103>

Kirill Yu. BAZAROV³
Research associate
kbazarov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7308-7096>

¹⁻³ Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract. Chemical composition of the Spasovka River and the Komissarovka River, which flow into the Lake Khanka and have catchment areas with different levels of economic development, has been studied. The area of the Komissarovka River basin is 2 times larger than the Spasovka River, but the anthropogenic transformation is lesser for the first one. Forests are the predominant category of lands in both river basins, but the share of cultivated land is 3 times higher (28%) in the Spasovka River basin than in the Komissarovka River basin (9.4%). The city of Spassk-Dalniy with large construction industry enterprises is located in the Spasovka River basin. In 2019-2021 both rivers had low mineralization, a hydrocarbonate-sodium composition, and a neutral or slightly alkaline pH. The concentrations of macroions and nutrients (N, P, C) in the water of the Komissarovka River corresponded to background levels. In the Spasovka River basin, the chemical composition of water changed significantly from the upper to lower reaches. It was determined that environmental pollution in the city of Spassk-Dalniy and nearby agricultural enterprises leads to an increase of Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} and Na^+ concentration in the Spasovka River and its tributary the Kuleshovka River by 2-3 times, as well as a high level of phosphates, ammonium ions and nitrites. In 2020-2021 MPCs for fishery reservoirs were exceeded 1.2-2 times by ammonium, and 3.5-12 times by nitrites. The entry of pollutants from industrial, agricultural and municipal sources into rivers leads to the local degradation of macrobenthos communities. In the estuary zones of the Spasovka River and the Komissarovka River in 2019-2021 the concentrations of substances in the waters did not exceed sanitary standards, since self-purification of water occurs in the lower reaches of the Spasovka River, which drains the territory the Khankaiskiy State Natural Biosphere Reserve.

Keywords: chemical composition of water, nutrients, mineralization, pollution, Primorsky Krai

For citation: Kozhenkova S.I., Yurchenko S.G., Bazarov K.Yu. Nutrients in the rivers of the Lake Khanka drainage basin. *Pacific Geography*. 2024;(2):107-119. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2024_18_8.

Введение

Значительный подъем воды в оз. Ханка в 2015–2018 гг. привлек внимание Администрации Приморского края и ученых к решению уже существующих и возможных социальных, экономических и экологических проблем бассейна озера [1, 2]. Озеро Ханка имеет большое рыбохозяйственное и природоохранное значение, поэтому мониторинг его экологического состояния и впадающих в него рек является актуальным [3, 4].

В оз. Ханка впадают 24 реки, самые крупные из которых р. Илистая (длина 220 км, площадь водосбора 5470 км²), р. Комиссаровка (111 км, 2388 км²), р. Спасовка (83 км, 1292 км²) и р. Мельгуновка (64 км, 3510 км²). Наиболее загрязненной в российской части бассейна озера является р. Спасовка. По данным Приморского управления УГМС, качество речной воды в г. Спасск-Дальний в 2016–2018 гг. соответствовало категории «грязная», основными загрязняющими веществами были азот аммонийный (12–25 ПДК) и нитритный (13–14 ПДК), а также алюминий (11–13 ПДК) и марганец (31–41 ПДК) [5, 6].

На химический состав воды рек и озер влияют как природные, так и антропогенные факторы. К наиболее важным природным факторам относятся рельеф, почвенный покров, состав подстилающих горных пород, климатически обусловленный гидрологический режим, жизнедеятельность организмов, населяющих водоем [7], а также удаленность от морского побережья, структура растительного покрова бассейна [8], температура воздуха [9].

В пределах бассейна оз. Ханка как с российской, так и с китайской стороны население занимается главным образом сельским хозяйством. По данным за 2017 г. общая площадь обрабатываемых земель в бассейне составляла 451 тыс. га, или 18.1 % территории, еще 10.4 % приходилось на залежь и заброшенные рисовые поля [10]. Основными выращиваемыми культурами являются соя, рис и кукуруза. Администрация Приморского края планирует вводить необрабатываемые земли в оборот для увеличения объемов продукции в целях продовольственной безопасности населения страны. Ежегодное увеличение площади пахотных земель приводит к интенсификации эрозионных процессов, а использование возрастающих объемов пестицидов и удобрений – к загрязнению окружающей среды, в том числе биогенными веществами [11, 12]. Развитие мясного и молочного животноводства в Приморском крае в последнее десятилетие сопровождалось строительством крупных животноводческих комплексов. В результате на территории российской части бассейна оз. Ханка поголовье свиней в 2017 г. увеличилось в 4 раза по сравнению с 2000 г. [13]. Как известно, животноводческие предприятия при отсутствии мер по утилизации отходов являются источниками поступления в поверхностные воды большого количества биогенных веществ, прежде всего азота аммонийного, а также бактерий, в том числе патогенных. В Спасском районе загрязнение природных вод от свинокомплексов было зарегистрировано в 2018 г. [11, 14].

Поступление биогенных веществ (прежде всего азота и фосфора) в озера является причиной их эвтрофикации. Известно, что длительное эвтрофирование озер и водохранилищ приводит к массовому развитию сине-зеленых водорослей в фитопланктоне, снижению прозрачности воды, увеличению содержания органических веществ, вызывающего ряд других негативных изменений в водоеме [15, 16]. Регулирование потоков биогенных веществ в водосборном бассейне возможно на основе данных о всех составляющих биогеохимических циклов, с учетом как природных, так и антропогенных источников поступления в окружающую среду. В настоящее время для бассейна оз. Ханка из-за сокращения количества станций Приморского УГМС таких данных недостаточно.

Принимая во внимание важность бассейна оз. Ханка для Приморского края в экономическом и экологическом отношении [1, 2, 6, 12], необходимо разработать План управления устойчивым природопользованием в этом трансграничном бассейне [4, 17]. Накопление данных о химическом составе водных объектов позволит в будущем провести комплексную оценку влияния природных и антропогенных факторов на гидрохимию оз. Ханка и найти пути для достижения экологически и экономически оптимального соотношения в системе «антропогенное воздействие – устойчивость экосистемы озера».

Цель настоящей работы – сравнительный анализ концентраций биогенных веществ и макроионов в воде рек Спасовка и Комиссаровка и оценка влияния хозяйственной деятельности на Приханкайской равнине на химический состав рек.

Материалы и методы

Воду в реках Спасовка и Комиссаровка отбирали в августе 2019 г., октябре 2020 г., мае, июле и сентябре 2021 г. из подповерхностного слоя на 13 станциях. На р. Комиссаровка исследования вели на четырех станциях, расположенных в верхней части речного бассейна (ст. 1), среднем течении (ст. 2 и 3) и в устьевой зоне (ст. 4). В бассейне р. Спасовка обследовали 6 участков, из которых 4 располагаются вдоль основного русла реки и два на ее притоке – р. Кулешовка. В среднем течении р. Спасовка расположен центр Спасского района Приморского края – г. Спасск-Дальний. Впадение р. Кулешовка в р. Спасовка происходит в пределах городской территории. Таким образом, исследованиями были охвачены верховье р. Спасовка (ст. 5), ее среднее течение до г. Спасск-Дальний (ст. 6 и 7), а также участки в пределах города и соседних населенных пунктов (ст. 8–10) и устье (ст. 11). На р. Кулешовка пробы воды отбирали в среднем (ст. 12, выше г. Спасск-Дальний) и нижнем (ст. 13, на территории города) течении (рис. 1).

На месте отбора определяли температуру и pH воды с помощью pH-метра OHAUS ST300. Для определения макроионов и биогенных элементов воду отбирали в полиэтиленовые канистры, их помещали в термоизоляционные, светонепроницаемые ящики. В тот же день пробы (1 л) фильтровали через капсульный мембранный фильтр (0.45 мкм). Фильтрат (300 мл) для определения концентраций биогенных элементов замораживали. Нефильтрованные пробы объемом 0.5 л анализировали в ТИГ ДВО РАН: измеряли электропроводность (HI 9033, Hanna), а затем фильтровали через предварительно взвешенные фильтры (0.45 мкм). Фильтры сушили и определяли количество взвешенных веществ по разности массы фильтров до и после фильтрации. Химические анализы выполнены в ЦКП ЦЛЭДГИС¹ ТИГ ДВО РАН. В работе использовали следующие методы: ионная хроматография (LC-10, Shimadzu) для Cl⁻, SO₄²⁻, атомная абсорбционная спектрофотометрия (AA-7000, Shimadzu) для Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺. Определение растворенного фосфора (общего и минерального), кремния и неорганических форм азота (аммонийная, нитритная, нитратная) проводили фотоколориметрическим способом согласно [18] после размораживания фильтрата. Содержание растворенного органического углерода (РОУ) определяли методом каталитического сжигания (TOC-VCPN, Shimadzu).

Результаты и их обсуждение

Структура природопользования в бассейнах рек

Площади водосборов рек Комиссаровка и Спасовка составляют 238876 и 129167 га соответственно, т.е. различаются приблизительно в 2 раза. По данным карты использования земель в бассейне оз. Ханка [10] были рассчитаны площади основных категорий земель (табл. 1) и проанализирована структура распределения в пределах границ водосборов рассматриваемых водотоков.

Преобладающей категорией земель в бассейнах рек являются лесные, они составляют около 75 % территории в бассейне р. Комиссаровка и около 50 % – р. Спасовка. Антропогенно преобразованные территории (занятые сельхозугодьями, населенными пунктами, объектами инфраструктуры и недропользования) в бассейне р. Комиссаровка занимают менее 10 %; в бассейне р. Спасовка – более 30 %; луга и пастбища – более 12 % и 10 % соответственно.

В границах водосборов располагаются 36 населенных пунктов с общим населением более 64 тыс. человек: 12 в бассейне р. Комиссаровка (~5 300 чел.) и 24 в бассейне р. Спасовка (~59 500 чел.), самым крупным населенным пунктом является г. Спасск-Дальний (более 40 тыс. чел.). В бассейне р. Комиссаровка отсутствуют объекты недропользования

¹ Центр коллективного пользования «Центр ландшафтной экодиагностики и ГИС технологий»

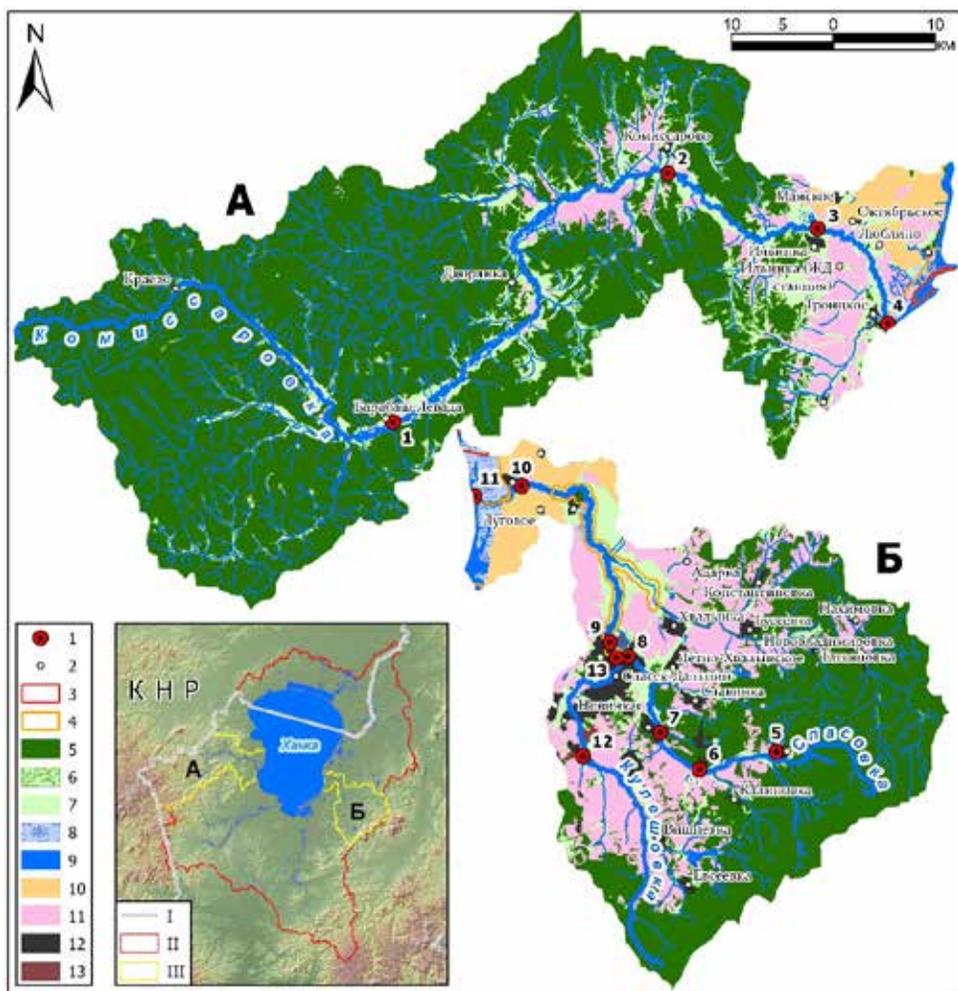


Рис. 1. Станции отбора проб воды в бассейнах рек Комиссаровка (А – станции 1–4) и Спасовка (Б – станции 5–13). Условные обозначения: 1 – местоположение станций отбора проб; 2 – населенные пункты; 3 – границы кластеров «Сосновый» и «Журавлиный» (ГПБЗ «Ханкайский»); 4 – границы охранной зоны заповедника. Категории земель: 5 – лесные массивы; 6 – кустарники и редколесья; 7 – луга и пастбища; 8 – болота; 9 – водные объекты; 10 – рисовые поля; 11 – с/х угодья; 12 – населенные пункты и объекты инфраструктуры; 13 – карьеры и объекты недропользования.

Врезка: I – государственная граница; II – границы водосборного бассейна оз. Ханка; III – границы бассейнов рек.

Fig. 1. Water sampling stations in the Komissarovka River (A - stations 1-4) and Spasovka River (Б - stations 5-13) basins. Legend: 1 - location of sampling stations; 2 - settlements; 3 - boundaries of the “Sosnovy” and “Zhuravliniy” clusters (Khankaiskii Nature Reserve); 4 - boundaries of the security zone. Landuse categories: 5 - forests; 6 - shrubs and woodlands; 7 - meadows and pastures; 8 - swamps; 9 - water bodies (include Khanka lake); 10 - rice fields; 11 - farmlands; 12 - settlements and infrastructure facilities; 13 - quarries and mines.

Inset: I - state borders; II - the boundaries of the Khanka Lake basin; III - the boundaries of the river basins

(карьеры и шахты) и промышленной инфраструктуры. В пределах рассматриваемых бассейнов частично располагаются два кластера государственного природного биосферного заповедника «Ханкайский» и их охранные зоны: в бассейне р. Комиссаровка – участок «Сосновый» (более 340 га кластера и более 1 200 га охранной зоны); р. Спасовка – участок «Журавлиный» (~190 га и ~4 700 га соответственно) (см. рис. 1). Таким образом, при меньшей площади водосбор р. Спасовка характеризуется значительно более высокой плотностью населения и степенью антропогенной нагрузки.

Распределение основных категорий земель в бассейнах рек

Table 1. Distribution of the main landuse categories

Категория земель	Площадь / доля в бассейне					
	р. Комиссаровка		р. Спасовка		Общая	
	га	%	га	%	га	%
Лесные территории	177348	74.2	66032	51.1	243380	66.1
Кустарники и редколесья	6726.4	2.8	1149	0.9	7875	2.1
Сельскохозяйственные угодья	22481	9.40	36276	28.0	58758	16.0
в том числе:						
пашня, залежь	16884	7.1	29896	23.1	46780	12.7
рисовые поля	5597	2.3	6381	4.9	11978	3.3
Луга, пастбища	29001	12.3	13258	10.3	42259	11.5
Карьеры, объекты недропользования	–	–	370	0.3	370	0.1
Населенные пункты, объекты инфраструктуры	921	0.4	7552	5.8	8473	2.3
Болота	808	0.3	2786	2.2	3594	1.0
Водные объекты	1496	0.6	1744	1.4	3241	0.9

Примечание: прочерк – данные отсутствуют.

Гидрохимический состав речных вод

В верховьях и среднем течении рек значение pH воды составляло в среднем 7.4 ± 0.2 и изменялось в диапазоне 6.9–7.9. В р. Кулешовка значение pH воды было выше, чем в р. Спасовка. Например, в июле 2021 г. на ст. 6 и 8 (р. Спасовка) и 13 (р. Кулешовка) значения pH составили 7.2, 7.6 и 7.9; в сентябре 2021 г. – 7.4, 7.4 и 8.9 соответственно. В устьевой части рек Комиссаровка и Спасовка воды более щелочные, чем выше по их течению, за счет смешения с водой оз. Ханка, в котором значение pH воды в среднем 8.2 ± 0.3 [19]. Температура воды в реках с мая по октябрь изменялась от 3.9 до 24.9 °C.

Электропроводность воды в р. Спасовка заметно увеличивалась от верховьев к низовью. Если на ст. 5–7 ее среднее значение было 73 ± 15 мкС/см, то на станциях 8–10 – 146 ± 26 мкС/см, что сопоставимо с минерализацией некоторых водотоков как бассейна оз. Ханка [20], так и других районов Приморья [21]. Такое изменение вызвано загрязнением от г. Спасск-Дальний и особенно поступлением вод р. Кулешовка. Электропроводность воды р. Комиссаровка на ст. 1 и 2 в 2020–2021 гг. была меньше, чем в р. Спасовка, и составляла 51 ± 7 мкС/см.

Концентрации взвешенных веществ на разных станциях изменялись в диапазоне от 1 до 92 мг/л. Наибольшие значения определены в воде устьевых участков рек, что отражает смешивание с водой высокой мутности оз. Ханка. В межень содержание взвеси в реках не превышает 20 мг/л. В летний период, когда обильные дожди приводят к смыву частиц почвы с водосборного бассейна, концентрация увеличивается в 1.5–10 раз.

Данные по химическому составу фильтрованных проб воды изученных рек приведены в табл. 2 и 3. Для сравнения представлены также средние концентрации веществ в воде рек западного макросклона Сихотэ-Алиня в 2002–2007 гг. [21], 2009–2011 гг. [22] и реках западного Приморья, дренирующих хозяйственно более освоенные водосборы (реки Раздольная, Илистая и Спасовка), в 2002–2007 гг. [21]. Речные воды имели гидрокарбонатно-кальциевый состав. Минерализация воды в реках невысокая, в среднем составляла 84 ± 46 мг/л и изменялась в диапазоне от 28 до 226 мг/л. Наблюдались существенные

различия содержания главных ионов в верхнем и нижнем течении р. Спасовка, а также в среднем и нижнем течении р. Кулешовка. Руслу этих рек имеют общее направление с востока на запад от гор Сихотэ-Алиня к оз. Ханка. На станциях, расположенных восточнее г. Спасск-Дальний, концентрации макроионов в воде сопоставимы с содержанием в р. Комиссаровка, однако на территории города они увеличиваются в 2–3 раза (табл. 2). Максимальные значения большинства макроионов отмечены в р. Кулешовка на ст. 13 в черте г. Спасск-Дальний.

В целом содержание макроионов в воде верхнего и среднего течения рек соответствует фоновым значениям [21] и составляет: 15.5–74.9 мг/л HCO_3^- ; 3.1–14.9 мг/л Ca^{2+} ; 2.0–6.4 мг/л Na^+ ; 1.0–8.7 мг/л SO_4^{2-} ; 0.7–4.4 мг/л Cl^- ; 1.0–3.6 мг/л Mg^{2+} и 0.3–3.0 мг/л K^+ . Влияние загрязнения на минеральный состав воды нижнего течения рек Спасовка и Кулешовка выражается в увеличении концентраций HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ в воде в 2–3 раза. Содержание кальция в воде рек вблизи г. Спасск-Дальний заметно выше по сравнению с реками других районов Приморского края (табл. 2), что связано с добычей строительного сырья на известковых месторождениях и производством цементных изделий, сопровождающимся загрязнением, прежде всего, воздушного бассейна [23].

Таблица 2

Содержание макроионов в воде рек водосборного бассейна оз. Ханка, мг/л

Table 2. Macroions concentrations in the river waters of the Lake Khanka drainage basin, mg/l

Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	М
р. Комиссаровка, верхнее и среднее течение							
3.1–14.9 5.9	1.0–3.2 1.7	2.3–5.5 3.3	0.4–3.0 0.8	17.3–62.3 28.1	2.9–8.7 4.7	0.7–4.4 1.4	32.4–101.8 46.1
р. Комиссаровка, устье							
4.0–12.1 7.6	1.2–3.8 2.4	2.2–7.8 4.4	1.0–2.7 1.4	20.9–57.6 37.9	2.5–10.5 5.4	0.8–5.7 2.5	32.5–100.1 61.5
р. Спасовка, верхнее и среднее течение до г. Спасск-Дальний							
3.7–14.4 8.1	1.0–3.6 1.9	2.0–6.4 3.2	0.3–1.1 0.7	15.5–74.9 37.4	1.0–4.8 3.4	0.7–2.5 1.2	28.4–102.7 55.9
р. Спасовка, от г. Спасск-Дальний до с. Новосельское							
5.3–26.3 15.8	1.5–5.5 3.7	2.7–12.2 6.9	0.6–2.4 1.7	22.8–96.2 66.2	5.3–14.1 8.9	1.5–9.3 5.8	40.3–149.4 109.0
р. Спасовка, устье							
12.6–21.4 15.8	3.3–5.7 4.2	4.9–8.8 6.9	2.1–3.1 2.5	55.1–99.0 71.5	7.1–9.9 7.9	4.3–7.5 5.8	89.5–153.4 114.7
р. Кулешовка, среднее течение							
11.5–25.0 18.5	2.6–5.8 4.6	2.4–3.5 3.0	0.8–1.3 1.1	43.1–98.5 80.1	2.6–8.6 4.8	1.3–2.2 1.8	71.6–137.5 113.8
р. Кулешовка, нижнее течение (г. Спасск-Дальний)							
14.5–42.2 26.2	3.2–7.3 5.8	3.8–10.6 7.4	1.9–2.9 2.6	57.5–149.3 108.0	8.2–12.3 10.7	3.0–8.4 6.3	92.1–225.6 167.0
реки западного макросклона Сихотэ-Алиня, по [21]							
5.5 ± 1.5	1.3 ± 0.3	2.6 ± 0.8	0.7 ± 0.2	н.д.	6.6 ± 1.9	0.6 ± 0.4	50 ± 11*
реки западного Приморья, по [21]							
8.0 ± 3.6	3.0 ± 1.2	5.0 ± 2.1	1.7 ± 0.4	н.д.	14.4 ± 2.9	3.0 ± 1.6	112 ± 35*

Примечание: верхняя строка – диапазон концентраций, нижняя – среднее значение. М – минерализация; * – электропроводность, мкС/см; н.д. – нет данных.

Концентрации биогенных веществ в реках варьируют в зависимости от сезона и степени антропогенной нагрузки на водосбор. Уровни содержания растворенного органического углерода (РОУ) в воде рек изменялись от 2.5 до 11.5 мгС/л. Отмечено небольшое различие в концентрациях РОУ между р. Комиссаровка и р. Спасовка. Так, в 2020–2021 гг. в р. Комиссаровка средняя концентрация составляла 3.7 ± 0.8 мгС/л, в р. Спасовка – 5.4 ± 1.2 мгС/л. Для оз. Ханка также отмечены различия в распределении РОУ: его содержание в западной части озера в 1.3 раза меньше по сравнению с восточной частью, что, очевидно, обусловлено меньшей хозяйственной освоенностью бассейна р. Комиссаровка, чем р. Спасовка. Гидрологический режим является важнейшим фактором, определяющим содержание углерода. В период весеннего половодья концентрации растворенного углерода в основном достигают максимальных значений за год [24], что и наблюдалось в 2021 г. в р. Спасовка: в мае содержание РОУ было 7.5 ± 0.6 мгС/л, в июле – 5.3 ± 0.7 , в сентябре 4.8 ± 0.4 мгС/л. Обильные дожди на территории бассейна оз. Ханка в августе 2019 г. привели к разливу рек и росту концентраций РОУ в воде. Их значения составили 8.6–11.5 мгС/л, что в 1.5–2 раза больше, чем в среднем для рек Приморского края (табл. 3).

Таблица 3

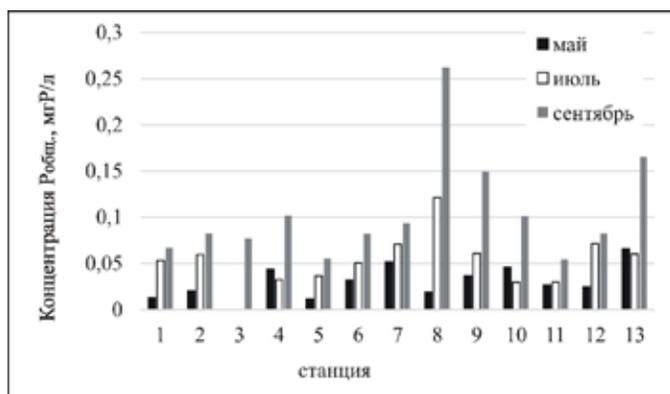
Содержание биогенных веществ в воде рек водосборного бассейна оз. Ханка
Table 3. Nutrients concentrations in the river waters of the Khanka Lake drainage basin

$P_{\text{мин}}$	$P_{\text{орг}}$	$N-NH_4^+$	$N-NO_2^-$	$N-NO_3^-$	Si_p	РОУ
мгР/л		мгN/л			мг/л	мгС/л
р. Комиссаровка, верхнее и среднее течение						
0.001–0.033 0.011	0.011–0.069 0.040	0.06–0.36 0.13	<0.001–0.003 0.001	0.002–0.23 0.07	6.6–9.3 7.4	2.5–11.5 4.7
р. Комиссаровка, устье						
0.001–0.063 0.022	0.023–0.043 0.035	0.13–0.39 0.20	<0.001–0.003 0.002	0.001–0.20 0.06	4.8–8.3 6.3	3.5–11.5 5.8
р. Спасовка, верхнее и среднее течение до г. Спасск-Дальний						
0.001–0.021 0.009	0.010–0.081 0.035	0.02–0.41 0.20	0.001–0.029 0.004	0.02–0.23 0.12	3.5–9.2 7.2	4.2–10.6 6.3
р. Спасовка, от г. Спасск-Дальний до с. Новосельское						
0.002–0.141 0.033	0.017–0.122 0.053	0.10–1.04 0.40	0.002–0.247 0.062	0.05–1.46 0.52	4.2–8.3 6.3	4.6–9.6 6.1
р. Спасовка, устье						
0.001–0.018 0.010	0.014–0.039 0.027	0.06–0.17 0.12	0.001–0.018 0.007	0.001–0.42 0.16	1.3–5.6 3.5	5.2–7.9 6.7
р. Кулешовка, среднее течение						
0.002–0.055 0.025	0.023–0.078 0.047	0.07–0.43 0.25	0.001–0.003 0.002	0.001–0.19 0.08	6.2–8.6 7.3	4.9–8.8 6.6
р. Кулешовка, нижнее течение (г. Спасск-Дальний)						
0.007–0.112 0.046	0.023–0.078 0.048	0.07–0.55 0.26	0.004–0.227 0.071	0.11–1.07 0.75	4.0–6.7 5.3	4.4–8.8 5.9
реки западного макросклона Сихотэ-Алиня ^{*,**} , по [21, 22]						
0.008 ± 0.004	н.д.	0.19 ± 0.11	0.001 ± 0.002	0.34 ± 0.22	4.4 ± 0.5	5.4 ± 1.3
0.007 ± 0.005	0.011 ± 0.003	0.08 ± 0.08	н.д.	0.12 ± 0.19	6.2 ± 2.3	н.д.
реки западного Приморья [*] , по [21]						
0.023 ± 0.016	н.д.	0.35 ± 0.24	0.011 ± 0.015	0.82 ± 0.45	5.7 ± 1.2	5.4 ± 0.9

Примечание: верхняя строка – диапазон концентраций, нижняя – среднее значение. * – в 2002–2007 гг., ** – в 2009–2011 гг., н.д. – нет данных.

Рис. 2. Концентрации фосфора $P_{\text{общ}}$ в р. Комиссаровка (станции 1–4), р. Спасовка (станции 5–11) и р. Кулешовка (станции 12–13) в мае, июле и сентябре 2021 г., мгР/л

Fig. 2. Total phosphorus concentrations in the Komissarovka River (stations 1-4), Spasovka River (stations 5-11) and Kuleshovka River (stations 12-13) in May, July and September 2021, mgP/l



Фосфор присутствует в воде в минеральной (в виде фосфат-ионов) и органической (в составе органических соединений) форме. Его общее содержание было минимальным в верховьях рек Комиссаровка и Спасовка, при этом отмечена общая тенденция к росту концентраций от весны к осени (рис. 2). Максимальные значения отмечены в р. Спасовка и р. Кулешовка в пределах г. Спасск-Дальний, в сентябре 2021 г. они составляли 0.26 и 0.16 мгР/л соответственно. Соотношение минеральной и органической форм изменялось в зависимости от сезона и места отбора проб вод. Весной на всех станциях преобладающей была органическая форма фосфора, летом и осенью в пределах г. Спасск-Дальний в воде больше было фосфора в минеральной форме. Именно фосфаты были причиной резкого увеличения содержания фосфора в воде на станциях 8 и 13 (рис. 2). Известно, что фосфаты и другие соединения фосфора попадают в воду в основном антропогенным путем [25]. Очевидно, что для рек Спасовка и Кулешовка таким источником являются неочищенные сточные воды населенных пунктов и смывы с сельхозугодий.

Содержание минеральных форм азота в верхнем и среднем течении рек довольно низкое и не превышает 0.006 мгN/л нитритов, 0.23 мгN/л нитратов и 0.41 мгN/л ионов аммония. Однако в р. Комиссаровка во все сезоны отбора проб воды концентрации NH_4^+ были в 1.3–2 раза меньше, чем в р. Спасовка. В отдельные сезоны такие же различия отмечались по нитратам и нитритам. Особенно четко это наблюдалось в октябре 2020 г., когда в верхнем и среднем течении р. Комиссаровка концентрации NH_4^+ , NO_2^- и NO_3^- составляли в среднем 0.09, 0.0002 и 0.03 мгN/л, в р. Спасовка – 0.17, 0.0009 и 0.17 мгN/л соответственно, т.е. в 2–5 раз больше. Такие различия, по-видимому, обусловлены геохимическими особенностями формирования речных вод на склонах разной экспозиции. В недавних исследованиях [8] установлена зависимость химического состава вод малых рек, в том числе концентраций нитратного азота, от структуры лесной растительности, теплообеспеченности и увлажненности водосборной площади. Водосбор р. Спасовка начинается на западных склонах Сихотэ-Алиня и характеризуется большей теплообеспеченностью в вегетационный период по сравнению с верхним течением р. Комиссаровка. Ландшафтно-региональные особенности формирования речных вод влияют на их химический состав.

В черте г. Спасск-Дальний в мае в речной воде концентрации минеральных форм азота сопоставимы с их содержанием на участках в верхнем и среднем течении. Однако летом и особенно осенью концентрации многократно возрастают и остаются повышенными на участке реки вплоть до с. Новосельское (ст. 10), расположенного в 20 км к северо-западу от города. Высокое загрязнение выявлено на ст. 8 и 13 в черте г. Спасск-Дальний. Содержание минеральных форм азота в эти периоды сопоставимы с данными по рекам западного Приморья [21]. Предельно допустимые для рыбохозяйственных водоемов концентрации [26] превышены по аммонийному азоту в 1.2 – 2 раза (ПДК = 0.5 мгN/л), по нитритам – в 3.5–12 раз (ПДК = 0.02 мгN/л). Концентрации нитратов в воде не превышали ПДК (ПДК = 9.0 мгN/л), однако на указанных станциях их значения были в 4–7 раз выше, чем на расположенных выше участках рек.

На концентрацию биогенных веществ в реках оказывает влияние не только г. Спасск-Дальний, но и сельскохозяйственные предприятия. Так, в 2018 г. было выявлено загрязнение биогенными веществами и микроорганизмами, поступавшими от животноводческих ферм [14]. В целом влияние бытового, промышленного и сельскохозяйственного загрязнения на биоту водотоков выражается в локальной деградации сообществ макробентоса. В соответствии с биотическими индексами качество воды в р. Кулешовка выше г. Спасск-Дальний и в городской черте оценено как «неудовлетворительное» [14].

В устьевых зонах рек Спасовка и Комиссаровка в 2019–2021 гг. концентрации ионных форм азота в воде не превышали санитарных норм, что согласуется с данными о химическом составе воды в оз. Ханка [19]. Очевидно, химические и биологические процессы в р. Спасовка на равнинном участке с замедленным течением в зоне государственного природного биосферного заповедника «Ханкайский» обеспечивают самоочищение речной воды.

Средняя концентрация растворенного кремния (Si_p) в речных водах, за исключением устьевых зон, составила 6.9 ± 1.3 мг/л, при этом пространственные различия не наблюдались. Известно, что содержание Si_p в речных водах контролируется природным поступлением с грунтовыми водами и выведением через потребление диатомовыми водорослями [27]. По данным В.М. Шулькина [21, 22], в 2002–2008 гг. в реках западного склона Сихотэ-Алиня концентрации Si_p составляли 5.1 ± 1.6 мг/л; в 2009–2011 гг. – 6.2 ± 2.3 мг/л. Значения растворенного кремния в воде р. Комиссаровка и р. Спасовка в 2019–2021 гг. сопоставимы с этим диапазоном. В устьях исследованных нами рек концентрация Si_p на 20–40 % меньше, чем выше по течению, что обусловлено смешением речных и озерных вод, содержащих в 2021 г. в среднем 3.6 ± 1.6 мг Si/л [19].

Заключение и выводы

Реки Комиссаровка и Спасовка Приморского края характеризуются низкой минерализацией, гидрокарбонатно-кальциевым составом, нейтральной или слабощелочной величиной pH. Концентрации макроионов в верхнем и среднем течении рек соответствуют фоновым значениям и составляют: 15.5–74.9 мг/л HCO_3^- ; 3.1–14.9 мг/л Ca^{2+} ; 2.0–6.4 мг/л Na^+ ; 1.0–8.7 мг/л SO_4^{2-} ; 0.7–4.4 мг/л Cl^- ; 1.0–3.6 мг/л Mg^{2+} и 0.3–3.0 мг/л K^+ . Содержание взвеси в реках в маловодные периоды не превышает 20 мг/л, но в половодье увеличивается в 1.5–10 раз. В динамике растворенного органического углерода в воде р. Спасовка максимум содержания отмечается также во время половодья.

Минерализация и прямо связанная с ней электропроводность речных вод Приморского края, как правило, <100 мг/л и <100 $\mu S/cm$ [22]. На участках нижнего течения рек Спасовка и Кулешовка значения этих показателей больше, что связано с антропогенной нагрузкой, поскольку коммунальные и промышленные стоки содержат больше растворенных солей, чем ультрапресные речные воды юга Дальнего Востока. Загрязнение окружающей среды в г. Спасск-Дальний приводит к изменению химического состава речных вод. В р. Спасовка и ее притоке р. Кулешовка в 2–3 раза увеличивается содержание макроионов HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ . Концентрации минеральных форм фосфора, аммонийного азота и нитритов в черте города имеют максимальные значения; в 2020–2021 гг. выявлены превышения ПДК для рыбохозяйственных водоемов по NH_4^+ в 1.2–2 раза, по NO_2^- в 3.5–12 раз. Содержание биогенных веществ в воде р. Комиссаровка не превышало санитарных норм. В целом более высокие значения минерализации, электропроводности, РОУ и минеральных форм азота в бассейне р. Спасовка являются результатом большей хозяйственной освоенности и плотности населения по сравнению с бассейном р. Комиссаровка.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Соглашения № 075-15-2023-584 между ТИГ ДВО РАН и Минобрнауки РФ.

Acknowledgments. The study was carried out under the Agreement № 075-15-2023-584 between PGI FEB RAS and the Russian Federation Ministry of Education and Science.

Литература

1. Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы / под ред. Ю.Н. Журавлева, С.В. Клышевской. Владивосток: Дальнаука, 2016. 284 с.
2. Трансграничное озеро Ханка: современное состояние и перспективы развития / под ред. С.В. Клышевской, Т.В. Никулиной. Владивосток: ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, 2021. 296 с.
3. Матвеев В.И., Курносова А.С., Катайкина О.И. Результаты гидрохимического мониторинга озера Ханка в 2016–2018 годах // Тихоокеанская география. 2020. Т. 3, № 3. С. 47–55.
4. Коженкова С.И., Сушицкий Ю.П., Тиунов И.М., Качур А.Н. Государственный природный биосферный заповедник «Ханкайский»: история и современное состояние // Вопросы географии. Сб. 152.: Человек и биосфера: вечно актуальная тема взаимодействия человека с природой. Москва: Медиа-ПРЕСС, 2021. С. 378–404.
5. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2018 году // Администрация Приморского края. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://primorsky.ru> (дата обращения: 25.02.2023).
6. Горбатенко Л.В. Состояние водопользования и качество водной среды в бассейне озера Ханка // Вестн. ДВО РАН. 2020. № 3. С. 47–58.
7. Никаноров А.М. Гидрохимия. СПб.: Гидрометеониздат, 2001. 444 с.
8. Кожевникова Н.К., Луценко Т.Н., Шапов В.В. Факторы формирования химического состава вод малых рек южного Сихотэ-Алиня // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Владивосток: ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, 2017. Вып. 7. С. 76–84.
9. Hu Y., Peng Zh., Zhang Y., Liu G., Zhang H., Hu W. Air temperature effects on nitrogen and phosphorus concentration in Lake Chaohu and adjacent in flowing rivers // Aquatic Sciences. 2022. Vol. 84. Art. 33. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00027-022-00864-5> (дата обращения: 27.12.2023).
10. Базаров К.Ю., Егидарев Е.Г., Мишина Н.В. Анализ современной структуры землепользования в бассейне озера Ханка с применением данных дистанционного зондирования Земли // Трансграничное озеро Ханка: современное состояние и перспективы развития. Владивосток: ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, 2021. С. 239–247.
11. Коженкова С.И. Оценка качества воды озера Ханка по уровню содержания биогенных веществ и хлорорганических пестицидов // Трансграничное озеро Ханка: современное состояние и перспективы развития. Владивосток: ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, 2021. С. 98–110.
12. Qiang S., Song K., Shang Y., Lai F., Wen Zh., Liu G., Tao H. Remote Sensing Estimation of CDOM and DOC with the Environmental Implications for Lake Khanka // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. Art. 5707. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/journal/remotesensing> (дата обращения: 27.12.2023).
13. Мишина Н.В. Сравнительный анализ современного социально-экономического состояния российской и китайской частей Ханкайской трансграничной территории // Трансграничное озеро Ханка: современное состояние и перспективы развития. Владивосток: ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, 2021. С. 256–266.
14. Вшивкова Т.С., Клышевская С.В., Дроздов К.А., Клышевский С.В. Оценка экологического состояния водотоков, расположенных в сфере влияния свинопунктов ТОР «Михайловский» (Спасский район, Приморский край) // Трансграничное озеро Ханка: современное состояние и перспективы развития. Владивосток: ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, 2021. С. 180–196.
15. Pichura V.I., Malchukova D.S., Ukrainskij P.A., Shakhman I.A., Bystriantseva A.N. Anthropogenic Transformation of Hydrological Regime of the Dnieper River // Indian Journal of Ecology. 2018. Vol. 45, N 3. P. 445–453.
16. Li T., Chu C., Zhang Y., Ju M., Wang Y. Contrasting eutrophication risks and countermeasures in different water bodies: assessments to support targeted watershed management // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2017. Vol. 14, N 7. Art. 695. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.mdpi.com/journal/ijerph (дата обращения: 15.01.2024).
17. Бакланов П.Я., Качур А.Н., Ермошин В.В., Коженкова С.И., Махинов А.Н., Бугаец А.Н., Базарова В.Б., Ким В.И., Шапов В.В. Современные геоэкологические проблемы в бассейне озера Ханка // География и природные ресурсы. 2019. № 4. С. 33–43.
18. Алевин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеониздат, 1973. 161 с.
19. Коженкова С.И., Юрченко С.Г. Биогенные элементы в воде озера Ханка // Геосистемы Северо-Восточной Азии: географические факторы динамики и развития их структур. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2022. С. 232–236.
20. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г. Влияние внешних факторов на химический состав рек Абрамовка и Илестая (бассейн оз. Ханка) // Пресноводные экосистемы бассейна реки Амур. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 37–44.
21. Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Перепелятников Л.В. Пространственно-временная изменчивость химического состава речных вод юга Дальнего Востока РФ // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 4. С. 428–439.
22. Шулькин В.М., Никулина Т.В. Комплексная оценка качества речных вод Приморского края РФ по химическим характеристикам и составу водорослей перифитона // Биология внутренних вод. 2015. № 1. С. 19–29.
23. Кондратьев И.И., Свинухов В.Г., Свинухов Г.В., Фокин М.В., Черпак Н.А. Метеорологические, геохимические и медицинские аспекты загрязнения природной среды г. Спасска-Дальнего Приморского края. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 1994. 184 с.

24. Луценко Т.Н., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Пространственно-временная динамика химического состава речных вод российской части бассейна реки Усури // Водное хозяйство России. 2013. № 3. С. 65–80.
25. Родькин О.И., Сенкевич С.В., Романовский Ч.А. Проблемы загрязнения водных объектов биогенными соединениями в агроландшафтах // Экологический вестник. 2009. № 1. С. 14–22.
26. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 22 августа 2023 года). Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N 552. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420389120?marker=6540IN> (дата обращения: 05.11.2023).
27. Рыжаков А.В., Вампиров В.В., Степанова И.А. Кремний в поверхностных водах гумидной зоны (на примере водных объектов Карелии) // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 3. С. 52–60.

References

1. Transboundary Lake Khanka: causes of rising water levels and environmental threats / Eds. Yu.N. Zhuravlev, S.V. Klyshevskaya. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2016; 284 p. (In Russian)
2. Transboundary Lake Khanka: current state and prospects of development / Eds. S.V. Klyshevskaya, T.V. Nikulina. Federal Research Center of Biodiversity FEB RAS: Vladivostok, Russia, 2021; 296 p. (In Russian)
3. Matveev, V.I.; Kurnosova (Vazhova), A.S.; Kataikina, O.I. Results of hydrochemical monitoring of Lake Khanka in 2016-2018. *Pacific Geography*. 2020, 3(3), 47-55. (In Russian)
4. Kozhenkova, S.I.; Sushitsky, Yu.P.; Tiunov, I.M.; Kachur, A.N. The Khankaiskiy State Natural Biosphere Reserve: history and current state. In *Questions of geography. Sat. 152: Man and the biosphere: the eternally relevant topic of human interaction with nature*. Media-PRESS: Moscow, Russia, 2021, 378-404. (In Russian)
5. Report on the environmental situation in the Primorskiy Krai in 2018. Administration of the Primorskiy Krai. Available online: <https://primorsky.ru> (accessed on February 25, 2023). (In Russian)
6. Gorbatenko, L.V. The state of water use and the quality of the aquatic environment in the Lake Khanka basin. *Vestnik of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2020, 3, 47-58. (In Russian)
7. Nikanorov, A.M. Hydrochemistry. Gidrometeoizdat: St.Petersburg, Russia, 2001; 444 p. (In Russian)
8. Kozhevnikova, N.K.; Lutsenko, T.N.; Shamov, V.V. Factors of formation of the chemical composition of the waters of small rivers of the southern Sikhote-Alin. In *Proceedings of the Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings*. Federal Research Center of Biodiversity of the FEB RAS: Vladivostok, Russia, 2017, 7, 76-84. (In Russian)
9. Hu, Y.; Peng, Zh.; Zhang, Y.; Liu, G.; Zhang, H.; Hu, W. Air temperature effects on nitrogen and phosphorus concentration in Lake Chaohu and adjacent in flowing rivers. *Aquatic Sciences*. 2022, 84, 33. Available online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00027-022-00864-5> (accessed on December 27, 2023).
10. Bazarov, K.Yu.; Egidarev, E.G.; Mishina, N.V. Analysis of the modern structure of land use in the Lake Khanka basin using remote sensing data. In *Transboundary Lake Khanka: current state and prospects of development*. Federal Research Center of Biodiversity of the FEB RAS: Vladivostok, Russia, 2021, 239-247. (In Russian)
11. Kozhenkova, S.I. Assessment of the water quality of Lake Khanka by the level of content of biogenic substances and organochlorine pesticides. In *Transboundary Lake Khanka: current state and prospects of development*. Federal Research Center of Biodiversity of the FEB RAS: Vladivostok, Russia, 2021, 98-110. (In Russian)
12. Qiang, S.; Song, K.; Shang, Y.; Lai, F.; Wen, Zh.; Liu, G.; Tao, H. Remote Sensing Estimation of CDOM and DOC with the Environmental Implications for Lake Khanka. *Remote Sensing*. 2023, 15, 5707. Available online: <https://www.mdpi.com/journal/remotesensing> (accessed on December 27, 2023).
13. Mishina, N.V. Comparative analysis of the current socio-economic state of the Russian and Chinese parts of the Khankai transboundary territory. In *Transboundary Lake Khanka: current state and prospects of development*. Federal Research Center of Biodiversity of the FEB RAS: Vladivostok, Russian, 2021, 256-266. (In Russian)
14. Vshivkova, T.S.; Klyshevskaya, S.V.; Drozdov, K.A.; Klyshevsky, S.V. Assessment of the ecological state of watercourses located in the sphere of influence of pig complexes of the Mikhailovsky TOR (Spassky district, Primorsky Krai). In *Transboundary Lake Khanka: current state and prospects of development*. Federal Research Center of Biodiversity FEB RAS: Vladivostok, Russia, 2021, 180-196. (In Russian)
15. Pichura, V.I.; Malchykova, D.S.; Ukrainskij, P.A.; Shakhman, I.A.; Bystriantseva, A.N. Anthropogenic transformation of hydrological regime of the Dnieper River. *Indian Journal of Ecology*. 2018, 45(3). 445-453.
16. Li, T.; Chu, C.; Zhang Y.; Ju, M.; Wang, Y. Contrasting eutrophication risks and countermeasures in different water bodies: assessments to support targeted watershed management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017, 14(7), 695. Available online: www.mdpi.com/journal/ijerph (accessed on January 15, 2024)
17. Baklanov, P.Y.; Kachur, A.N.; Ermoshin, V.V.; Kozhenkova, S.I.; Makhinov, A.N.; Bugaets, A.N.; Bazarova, V.B.; Kim, V.I.; Shamov, V.V. Current geo-ecological problems within the Lake Khanka drainage basin. *Geography and Natural Resources*. 2019, 40(4). 325-334.
18. Alekin, O.A.; Semenov, A.D.; Skopintsev, B.A. Guidelines for the chemical analysis of land waters. Hydrometeoizdat: Leningrad, Russia, 1973; 161 p. (In Russian)

19. Kozhenkova, S.I.; Yurchenko, S.G. Biogenic elements in the water of Lake Khanka. In *Geosystems of Northeast Asia: geographical factors of dynamics and development of their structures*. PGI FEB RAS: Vladivostok, Russia, 2022, 232-236. (In Russian)
20. Chudaeva, V.A.; Chudaev, O.V.; Yurchenko, S.G. The influence of external factors on the chemical composition of the Abramovka and Ilistaya rivers (Khanka Lake basin). In *Freshwater ecosystems of the Amur River basin*. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2008, 37-44. (In Russian)
21. Shulkin, V.M.; Bogdanova, N.N.; Pereplyatnikov, L.V. Space-time variations of river water chemistry in RF southern Far East. *Water Resources*. 2009, 36(4). 406-417.
22. Shulkin, V.M.; Nikulina, T.V. Comprehensive assessment of river-water quality in Primorskiy Krai, Russian Federation, with respect to chemical characteristics and composition of periphyton algae. *Inland Water Biology*. 2015, 8(1). 15-24.
23. Kondratiev, I.I.; Svinukhov, V.G.; Svinukhov, G.V.; Fokin, M.V.; Cherpak, N.A. Meteorological, geochemical and medical aspects of environmental pollution in the city of Spassk-Dalniy, Primorsky Krai. Far Eastern Federal University: Vladivostok, Russia, 1994; 184 p. (In Russian)
24. Lutsenko, T.N.; Shesterkin, V.P.; Shesterkina, N.M. Spatial and temporal dynamics of the chemical composition of river waters of the Russian part of the Ussuri River basin. *Water management of Russia*. 2013, 3. 65-80. (In Russian)
25. Rodkin, O.I.; Senkevich, S.V.; Romanovsky, C.A. Problems of pollution of water bodies by biogenic compounds in agricultural landscapes. *Ecological Bulletin*. 2009, 1. 14-22. (in Russian)
26. On approval of water quality standards for water bodies of fisheries importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fisheries importance (as amended on August 22, 2023). Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated December 13, 2016 No. 55. Available online: <https://docs.cntd.ru/document/420389120?marker=6540IN> (accessed on November 5, 2023). (In Russian)
27. Ryzhakov, A.V.; Vampirov, V.V.; Stepanova, I.A. Silicon in the surface waters of the humid zone (on the example of Karelian water bodies). *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2019, 3. 52-60. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 25.01.2024; одобрена после рецензирования 16.02.2024; принята к публикации 28.02.2024.

The article was submitted 25.01.2024; approved after reviewing 16.02.2024; accepted for publication 28.02.2024.

