

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОД ОЗЕРА ХАНКА И ЕЁ ПРИТОКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СЕЗОНА

Юрченко С.Г., Болдескул А.Г. Шулькин В.М., Шамов В.В., Луценко Т.Н.,
Катрасов С.В.,

ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

Аннотация: Представлены данные по сезонной изменчивости основных гидрохимических характеристик вод бассейна озера Ханка в 2025 году. Показано, что гидрохимические показатели, несмотря на схожесть типа исследуемых вод, существенно варьируют по сезону и между реками под влиянием различных факторов. Масштаб сезонной изменчивости минимален в р.Комиссаровка, и далее возрастает в ряду Мельгуновка-Илистая-Спасовка. В целом, повышенные содержания гидрохимических показателей характерны для реки Спасовка, бассейн водосбора которой наиболее антропогенно освоенный.

Ключевые слова: озеро Ханка, макроионы, химический состав, реки бассейна озера Ханка

HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE WATERS OF KHANKA LAKE AND ITS TRIBUTARIES DEPENDING ON THE SEASON

Yurchenko S.G., Boldeskul A.G., Shulkin V.M., Shamov V.V., Lutsenko T.N.,
Katrasov S.V.,

Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok

Annotation: The data on the seasonal variability of the main hydrochemical characteristics of the Lake Khanka basin waters in 2025 are presented. It is shown that, despite the similarity in the type of waters under study, the hydrochemical parameters vary significantly in seasons and between rivers under the influence of various factors. The scale of seasonal variability is minimal in the Komissarovka River, and then increases in the series Melgunovka–Ilisaya–Spasovka. In general, the elevated concentrations of hydrochemical indicators are characteristic of the Spasovka River, the basin of which is the most anthropogenically developed.

Keywords: Khanka Lake, major ions, chemical composition, rivers of the Lake Khanka basin

Введение. Озеро Ханка является самым большим пресноводным водоёмом на Дальнем Востоке. Площадь водной поверхности непостоянна, и демонстрирует значительную межгодовую изменчивость. В максимуме достигает 5010 км², а минимальное значение составляет 3940 км² [1]. Длина озера – около 90 км, наибольшая ширина – 67 км. Озеро мелководное, с наибольшими глубинами на севере и наименьшими на юге. В озеро впадает 24 реки, в том числе наиболее крупные – Илистая, Комиссаровка, Мельгуновка, Спасовка. Единственная вытекающая река — Сунгача, приток Уссури (бассейн Амура).

Большое внимание к озеру Ханка, в последнее время, связано как с увеличением уровня озера, так и из-за усиленного использования его бассейна в рекреационном и рыбопромысловом направлении [1, 5]. Ученые считают, что дальнейшее падение уровня озера и интенсивность его использования в рекреационном плане будут влиять на гидрохимический режим озера и могут привести к целому ряду геоэкологических проблем. Так как экосистема озера слабо устойчива к антропогенным воздействиям, то изменения в экосистеме озера могут быть вызваны, как природными условиями, так и антропогенными факторами. [6]. В то же время, мониторинг гидрохимического состава вод в бассейне озера Ханка проводится, в

основном, непосредственно на озере, а реки, впадающие в него, не всегда попадают в область научного интереса исследователей. Есть только эпизодические опробования [3, 7, 10]. Поэтому пространственная и сезонная изменчивость содержания основных ионов в реках бассейна озера Ханка до сих пор остается мало изученной.

Целью данной работы является характеристика сезонной изменчивости содержания макроионов и общих гидрохимических показателей вод оз. Ханка и впадающих в него рек, а также выделение факторов, контролирующих пространственные и временные вариации состава вод.

Материалы и методы. Исследование основано на анализе ежемесячных проб воды, отобранных с января по ноябрь 2025 в нижнем течении рек Спасовка, Илистая, Мельгуновка, Комиссаровка, а также на трех точках в прибрежной зоне юго-восточной, западной и северо-западной частях озера Ханка (рис.1).

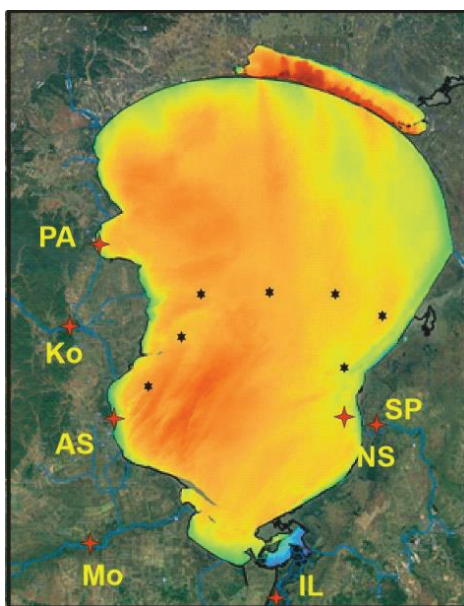


Рис. 1. Расположение станций мониторинга химического состава вод бассейна оз. Ханка в 2025 г. на фоне распределения индекса NDWI, рассчитанного по композиту снимка Landsat 8 от 30.05.2025: SP – р. Спасовка, IL – р. Илистая, Mo – р. Мельгуновка, Ko – р. Комиссаровка, NS – юго-восточное побережье оз. Ханка, AS – западное побережье (п. Астраханка), PA – северо-западное побережье (п. Платоново-Александровское), черные значки – места отбора вод озера 29.07.2025

В марте отбор не проводился в связи с ледоходом. Кроме того, в июле 2025 было отобрано 7 проб в центральной части озера. Электропроводность, как меру общей минерализации, температуру, pH, растворенный кислород измеряли зондом AquaRead 5000 непосредственно во время опробования. Пробы, отобранные в полиэтиленовые емкости, доставляли в стационарную лабораторию в течение суток и обрабатывали на следующий день. Химический анализ проб воды проводился в ЦКП «Центр ландшафтной экодиагностики и ГИС-технологий ТИГ ДВО РАН» в соответствии со стандартными методиками гидрохимического анализа.

Содержание HCO_3^- (щелочность) определяли титрованием; сульфаты, хлориды – жидкостной хроматографией на приборе LC-10; Ca, Mg, Na, K – методом ИСП-ОЭС.

Результаты и обсуждение. Поверхностный слой озерной и речных вод во время отбора имел нормальный кислородный режим, насыщение не опускалось ниже 90%.

Среднегодовая величина pH воды озера Ханка в 2025 г. близка к нейтральному значению (7.5 ± 0.7), что согласуется с более ранними исследованиями [5, 7]. Согласно полученным

данным, в водах западного и северо-западного побережья значения рН озерной воды более щелочные (7.7 ± 0.8), по сравнению с восточным побережьем (7.2 ± 0.4). Очевидно, что воды восточного побережья находятся под влиянием стока р. Спасовка и, вероятно, водно-болотных угодий, расположенных на восточном побережье озера Ханка.

Величина рН в реках бассейна озера Ханка ниже (6.9 ± 0.2), по сравнению с озером, но также близка к нейтральному и не имеет ярко выраженных различий как между реками, так и по сезонам. (табл. 1).

Таблица 1

Основные гидрохимические характеристики* оз. Ханка и рек его бассейна в 2025 г.

объект	ЕС, мкС/см	HCO ₃ ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Na ⁺ , мг/л	K ⁺ , мг/л
р.Спасовка, n=10	218±62	91.6±28.1	11.9±3.0	9.5±3.2	19.6±5.3	5.2±1.5	7.5±2.6	3.0±0.7
р.Илистая, n=10	170±61	59.2±22.3	23.3±12.4	4.3±1.0	14.5±5.6	4.7±1.8	5.9±2.0	2.0±0.4
р.Мельгуновка, n=10	119±33	54.6±20.1	4.9±1.8	4.1±1.5	9.5±3.0	3.5±1.1	5.2±1.6	1.4±0.2
р.Комиссаровка, n=10	84±20	38.6±14.9	4.4±1.4	1.3±0.5	7.3±1.9	2.5±0.7	3.0±0.6	0.8±0.1
Оз. Ханка, n=26	152±14	58±7	11.8±2.0	7.6±1.0	12±1	4.1±0.4	6.2±0.8	3.1±0.4
Ханка*, т.1, n=9	149±32	66±19	7.0±2.3	6.4±1.4	13.1±2.5	4.2±1.1	5.5±1.4	2.9±0.7

*n±m - средние значения ± стандартное отклонение; т.1 – юго-восточное побережье оз. Ханка

Электропроводность, являющаяся показателем общей минерализации, изменяется в реках бассейна озера Ханка в широком диапазоне от 59 до 267 мкС/см, при среднем значении 143 мкС/см. Минимальное значение наблюдается в р.Комиссаровка (табл.), более 70% территории водосбора которой занимают леса [1, 3]. Максимальное - в реке Спасовка, что характерно не только для 2025 года, но и для более ранних наблюдений [9]. Вероятно, повышению минерализации в реке Спасовка способствует поступление большого объема сточных вод с водосбора реки, так как более 30 % его территории составляют сельскохозяйственные угодья и объекты инфраструктуры [1, 3].

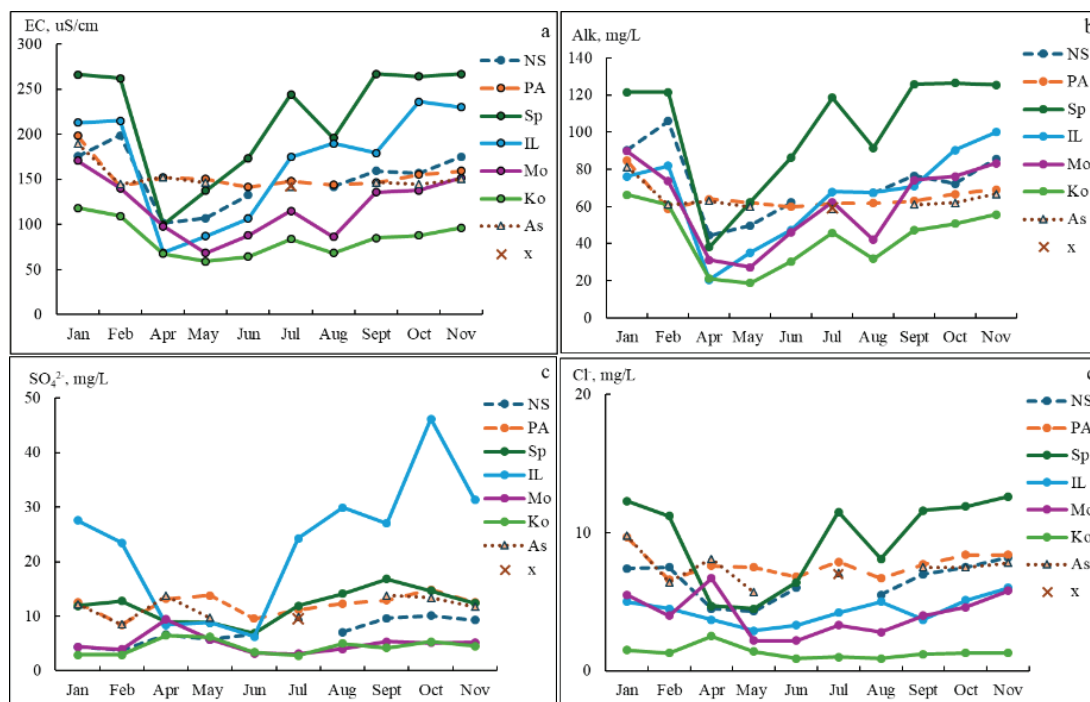


Рис. 2. Сезонная изменчивость электропроводности (а), концентрации HCO_3^- (b), сульфатов (с) и хлоридов (d) в нижнем течении рек бассейна оз. Ханка и в самом озере. Обозначения см. на рис.1; x – центральная часть озера, отобранная в июле 2025 г.

Характер сезонной изменчивости электропроводности (и минерализации) в реках бассейна оз. Ханка одинаков: высокие значения в зимний период, резкое снижение в половодье и рост к осенней межени (рис.2а). Однако масштаб сезонной изменчивости минимален в р. Комиссаровка и далее возрастает в ряду Мельгуновка < Илистая < Спасовка.

Электропроводность вод озера, в отличие от рек, достаточно постоянна в течение года, и составляет в среднем 146 ± 53 мкС/см, что сопоставимо со средним значением для рек его бассейна. Пространственная изменчивость минерализации озерных вод также не велика. Исключение составляет юго-восточное побережье (ст. NS), где озерные воды, как уже упоминалось ранее, находятся под прямым влиянием стока р.Спасовка, и показывают сезонную изменчивость электропроводности более близкую к наблюдаемой в реках (рис. 2а).

Концентрация гидрокарбонат-иона и Ca^{2+} в озерной воде соответствует усредненному за год значению в реках (60.4 мг/л и 12.4 мг/л соответственно). В то же время, уровень содержания сульфатов, хлоридов, Na^+ и K^+ в озере выше, чем во многих реках его бассейна (табл.; рис.2, 3).

В реках Комиссаровка и Мельгуновка в сезон половодья наблюдается некоторое повышение сульфатов и хлоридов (рис.2 с, d), в то время как в остальных реках бассейна озера Ханка в апреле был отмечен спад практически всех основных гидрохимических показателей. Наиболее яркие пространственные различия в химическом составе речных вод так же отмечаются по сульфатам и хлоридам. Так, концентрация хлоридов в реке Спасовка была в 3 раза выше, по сравнению с остальными реками бассейна оз. Ханка. Повышение концентрации в р. Спасовки имеет место и для макрокатионов, прежде всего кальция (рис.3). При этом содержание кальция в воде реки Спасовка заметно выше не только по сравнению с исследуемыми реками в 2025 г, но и с реками других районов Приморского края [9]. Вероятно, это связано с добычей строительного сырья на известковых месторождениях и цементным

производством в Спасском районе, сопровождающиеся загрязнением, прежде всего, воздушного бассейна [4].

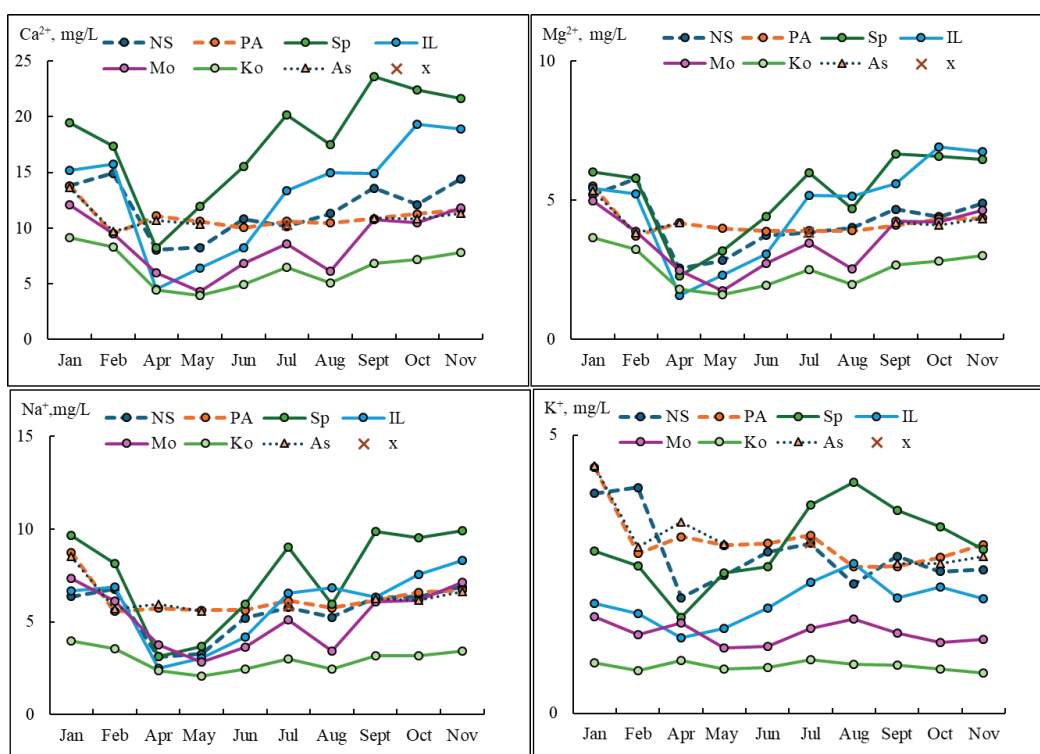


Рис. 3. Сезонная изменчивость концентрации (мг/л) катионов в нижнем течении рек бассейна оз. Ханка и в самом озере. (Обозначения см. на рис.1; x – центральная часть озера, отобранная в июле 2025 г.)

Содержание сульфатов в реке Илистая в 2 раза превышает их концентрацию не только в исследуемых реках, но и в озерной воде. Повышенные содержания сульфатов в р. Илистая были найдены не только в 2025 году, но и в разные сезоны в работах других авторов [3, 7]. В бассейне реки Илистая расположены Павловский угольный разрез и Ярославский ГОК, которые вероятно оказывают влияние на состав реки Илистая через поверхностный и подземный сток. Как отмечается в ряде работ [2, 8], сточные воды Ярославского ГОКа и угольного разреза имеют гидрокарбонатно-сульфатный и сульфатный состав соответственно.

Для оценки гидрохимического типа вод озера Ханка и рек его бассейна мы использовали диаграмму Пайпера (рис.4). На катионной части диаграммы данные практически идентичны и химический состав исследуемых вод характеризуется доминированием Ca^{2+} (от 44,4 до 57,4 %экв), с подчиненной ролью Mg^{2+} (22,5-30,2 %экв). Содержание натрия в озерной воде соответствует усредненному за год значению в речных водах и составляет 19-20 %экв.

На анионной части диаграммы дифференциация рек выражена более явно. В водах озера, как и в реке Спасовка, доминирует (65-84%экв) гидрокарбонат-ион. Сезонных изменений в типе вод этих водных объектов не наблюдалось. Река Илистая весь год характеризуется повышенным содержанием сульфатов (до 39 %экв), а в реках Комиссаровка и Мельгуновка отмечены сезонные изменения в характеристике типа вод. Так, большую часть года химический состав этих рек характеризуется выраженным доминированием (более 80%) гидрокарбонат-иона. Только в апреле в период весеннего половодья доля бикарбоната в анионной составляющей для рек снижается до 50% за счет увеличения доли, прежде всего, SO_4^{2-} (с 10% до 23%). Таким образом, озеро Ханка имеет гидрокарбонатный магниево-кальциевый состав. Реки его бассейна, в целом, также характеризуются как гидрокарбонатные магниево-кальциевые. Только воды р. Илестой, на протяжении всего года, можно отнести к сульфатно-гидрокарбонатным магниево-кальциевым. По гидрохимическому типу воды рек бассейна Ханка, как и воды озера, близки другим крупным рекам региона – Амур и Туманная (рис. 4).

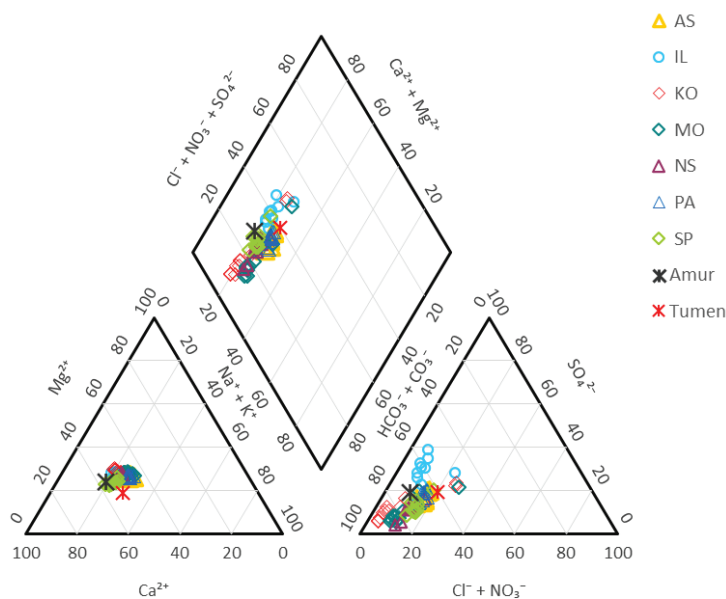


Рис. 4. Диаграмма Пайпера (в %-экв.) для рек бассейна оз. Ханка, вод озера, и крупных рек юга бореальной зоны Дальнего Востока РФ (Амура и Туманной)

Нормализованные мольные концентрации Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- относительно Na^+ составляют в среднем 1.3, 0.7 и 4.1, соответственно. Это указывает на то, что основным источником главных ионов в водах бассейна оз. Ханка является выветривание силикатных пород и дренаж образованных на них почв, поскольку в случае доминирования карбонатных пород на водосборе соответствующие отношения должны были бы составлять ≥ 10 , ≥ 3 , ≥ 12 [11]. С другой стороны, преобладание атмосферных осадков как источника поверхностных вод должно было бы сопровождаться снижением нормированных мольных концентраций Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- относительно Na^+ до 0.3, 0.1, 0.2, соответственно. Это также подтверждает значительную трансформацию атмосферных выпадений и решающую роль выветривания силикатов в ходе миграции вод при формировании речного стока в бассейне оз. Ханка.

Заключение

Воды озера Ханка и рек его бассейна нейтральные, мало минерализованные. Характеризуются, в основном, гидрокарбонатным составом. Под влиянием антропогенного фактора, в р. Илестая, наблюдается изменение типа вод с гидрокарбонатного на сульфатно-

гидрокарбонатный. Концентрация макроионов в речных водах подвержена сезонным колебаниям, которые коррелируют с изменением общей минерализации воды. Сезонные колебания макроионов в озере незначительные. Гидрохимические показатели в реках бассейна оз. Ханка, под влиянием природных ландшафтов и различной антропогенной нагрузки территории, существенно варьируют между реками и по сезонам. Нормализованные мольные концентрации указывают на то, что основным источником главных ионов в водах бассейна оз. Ханка является выветривание силикатных пород и дренаж образованных на них почв.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ 25-47-00022 «Трансформация гидрологического режима и её экологическое воздействие на российско-китайскую трансграничную геосистему оз. Ханка в условиях изменения окружающей среды».

Литература.

1. Бакланов П.Я., Качур А.Н., Ермошин В.В., Коженкова С.И., Махинов А.Н., Бугаец А.Н., Базарова В.Б., Ким В.И., Шамов В.В. Современные геоэкологические проблемы в бассейне оз. Ханка // География и природные ресурсы. – 2019. – №4. – С. 33-43.
2. Ветошкина А.В., Тарасенко И.А., Холодов А.С., Е.А. Вах Оценка влияния объектов накопленного вреда на качество источников нецентрализованного водоснабжения поселка городского типа Ярославский (Приморский край, Россия) // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2025. – № 5. – С. 78–96.
3. Коженкова С.И., Юрченко С.Г., Базаров К.Ю. Биогенные вещества в реках водосборного бассейна озера Ханка // Тихоокеанская география. – 2024. – № 2. – С. 107-119.
4. 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.
5. Матвеев В.И., Курносова (Важова) А.С., Катайкина О.И. Результаты гидрохимического мониторинга озера Ханка в 2016–2018 годах // Тихоокеанская география. – 2020. – № 3. – С. 47-55.
6. Семькина Г. И. Обзор состояния и загрязнения озера Ханка по материалам государственной сети наблюдений за загрязнением окружающей среды / Труды 2-ой Международной конференции проблемы сохранения водно-болотных угодий международного значения: озеро Ханка. – Спасск-Дальний. 2006. – С. 190—201.
7. Чудаева В.А. Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 392 с.
8. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г. Влияние внешних факторов на химический состав рек Абрамовки и Илостой (Бассейн оз.Ханка) // Пресноводные экосистемы бассейна реки Амур. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – С. 37-44.
9. 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.
10. Шестеркин В.П. Минерализация и солевой состав вод озера Ханка: многолетняя динамика // Трансграничное озеро Ханка: современное состояние и перспективы развития. – Владивосток: ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, 2021. – С. 57-62.
11. Gaillardet, J., Dupré, B., Louvat, P., Allegre, C., 1999. Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. Chem. Geol. 159 (1–4), 3–30.