

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕМНИЯ, ЖЕЛЕЗА И ОКИСЛЯЕМОСТИ
В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ПАВЛОДАРСКОГО ПРИЕРТИСЬЯ****С.М. Романова^{1*} д.г.н., Е.Г. Крупа^{1,2} д.б.н., А.С. Серикова¹**¹РГП на ПХВ «Институт зоологии» КН МНВО РК, Алматы, Казахстан²Казахстанское Агентство Прикладной экологии, Алматы, КазахстанE-mail: sofiyarom@mail.ru

Приведены материалы собственных исследований по изучению распределения кремния, железа и величины перманганатной окисляемости (ПО) в бассейне реки Ертис в летний период 2023 г. Установлено, что содержание указанных компонентов и их соотношения неодинаковы в воде рек и озер. Значения перманганатной окисляемости для воды реки Ертис в большинстве случаев не выходили за пределы средних значений для природных вод аридных зон (5...10 мгО/дм³), а также предельно допустимых концентраций для вод рыбохозяйственного назначения. Вода пойменных озер и озера-накопителя более обогащена легкоокисляющимися органическими веществами (8,62...31,51 мгО/дм³). Максимальные концентрации кремния не всегда соответствовали минимальным значениям общей минерализации. Распределение растворенного общего железа неравномерно и варьируется в пределах 0,072...1,740 мг/дм³, с максимальной концентрацией в оз. Курколь и озере – накопителе Балкылдак. От верхних к нижним участкам Ертиса происходило небольшое увеличение концентрации железа и кремния, как следствие влияния антропогенного фактора. Проведена оценка качества водных объектов Павлодарского Приертисья на основе Единой системы классификации качества воды. Выявлена взаимосвязь средней силы между содержанием кремния, железа и величиной ПО. Данные по распределению указанных компонентов можно использовать для более полной оценки качества воды Ертисского бассейна.

Ключевые слова: кремний, железо, окисляемость, природные воды, гидрохимия, предельно-допустимая концентрация, загрязнение, экология.

Поступила: 10.01.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-42-56

ВВЕДЕНИЕ

Кроме минеральных компонентов и растворенных газов, вода источников бассейна реки Ертис содержит органические и биогенные вещества, которые обеспечивают жизнь водным растениям и организмам, а также их взаимоотношение со средой обитания. Достаточно хорошо изучены вопросы формирования и режима органических и биогенных элементов, в основном для минеральных соединений азота, характерных для отдельных водотоков или водоемов. Однако мало сведений о распределении и взаимосвязи органических веществ, железа и кремния в водных объектах целого речного бассейна, что обуславливает актуальность проведенных нами исследований.

Органические вещества (ОВ) в водоемах и водотоках образуются в основном за счет различных внутридоемных процессов, таких как прижизненные выделения здоровых клеток, отмирание и распад отдельных популяций, биохимические взаимодействия, ферментативное разложение и др. Определенное количество веществ поступает в водоем извне: с водосборной площади, с атмосферными осадками, с сбросами сточных вод. Вода, содержащая большое количество фитопланктона, вызывает неблагоприятные последствия, такие как биологические помехи в работе гидротехнических сооружений, усиление накипеобразующих свойств и ухудшение качества воды. На содержание органических веществ в природных водах,

включая водоемы Павлодарского Приертистья, влияют многие факторы, такие как гидрологический режим, количество и качество взвешенных веществ, значения рН, температура воды, донные отложения и продукты разложения растительности. Значительная часть органических веществ поверхностных вод представлена гуминовыми кислотами и фульвокислотами. Все изменения ОВ в основном связаны с жизнедеятельностью бактерий, микроорганизмов, населяющих воду, которые превращают сложные по составу органические вещества в более простые.

В гидрохимической практике содержание легкоокисляемого органического вещества определяется по величине перманганатной окисляемости. В большинстве случаев чистые горные реки и озера характеризуются окисляемостью 2,0...3,0, реки равнинные – 5,0...12,0 мгО/дм³ (Никаноров А.М., 2008). В индустриально развитых районах и густонаселенных районах окисляемость может достигать значительных величин. Составленные М.П. Смирновым карты среднемноголетних годовых значений ПО речным водам территории стран СНГ показали, что широтным зонам лесостепи, полупустыни и пустыни соответствуют гидрохимические зоны со средним значением ПО (5...10 мгО/дм³) (Смирнов М.П., 2015). В результате многолетних исследований рядом авторов было установлено, что в южных аридных областях в составе природных вод основное значение имеют не органические, а минеральные компоненты. Так, показатель ПО/Σ_и (где Σ_и общая минерализация воды) в таких водах колеблется в пределах 1,1...5,2 % (Мальцева А.В. и др., 1987; Амиргалиев Н.А. и др., 1984; Ибрагимов А.И., 1973; Снегирева Н.Е., 1970; Пильгук В.Я., 1975).

Кремний занимает второе место после кислорода по распространённости на Земле, на его долю приходится 27,2 %, на долю кислорода – 45,5 % массы твёрдой земной коры (Гринвуд Н., Эрншо А., 2021). В природе кремний образует множество кислородных соединений – кремнезёмов, силикатов, алюмосиликатов, присутствуя почти во всех минералах Земли, горных породах, песках, глинах и других минералах (Гринвуд Н. и др., 2021; Вапиров В.В. и др., 2017). В результате

процессов химического выветривания кремнистых минералов и растворения менее устойчивых пород (диатомит, трепел, спонгин и др.) кремний поступает в природные воды (Куликова А.Х., 2013). Источником Si могут быть подземные воды и атмосферные осадки. Кремний является постоянным компонентом состава природных вод и принимает участие в различных процессах экосистемы «вода-гидробионты- донные отложения- почвы-растения» (Гришина Е.Н., 2009). Биогенные элементы, в том числе кремний, присутствуют в природной воде в виде минеральных и органических соединений (Никаноров А.М., 2015).

Из минеральных соединений кремний находится главным образом в растворенном состоянии в виде мета – и ортокремниевой кислоты и производных от этих кислот ионов. Кроме того, в речных водах кремний может находиться и в виде поликремниевых кислот различного состава и структуры в зависимости от экологических условий водной среды (Dietzel M., 2000). Содержание различных форм кремниевых кислот зависит от значения рН, температуры и солевого состава воды (Каменецкая Д.Б., 2022). Так, при значении рН 7,0 кремний содержится в форме [H₄SiO₄] в количестве 99,9%, при значении рН 8,0...98,6%, а при значении рН 9,0...87,7% (Ершов Ю.А. и др., 2007; Никаноров А.М., 2015).

Многолетними детальными исследованиями поверхностных вод Украины установлено, что в водоемах и водотоках 93...99% растворенный в воде кремний находится в нейтральной форме и он представлен там на 90...99% мономерно - димерной формой кремниевой кислоты. А доля растворенного кремния в анионном виде (преимущественно [H₃SiO₄]), составляла лишь 1...6 % (Линник П. Н., Дикая Т.П., 2014). По данным исследований М.Г. Камбалиной с соавторами в природных водах Томской области монокремниевые кислоты составляли 53...75 % и 25...47 % – поликремниевые кислоты (Камбалина М.Г. и др., 2014).

В пресных водах концентрация кремния обычно колеблется в пределах от 1 до 20 мг/дм³. Рассчитанное из экспериментальных данных содержание кремния в реках мира в среднем

составляет 4,85 мг/дм³ (Meubeck M., 1982); Гордеев В.В., 2018).

Железо постоянно присутствует в природных водах из-за широкого его распространения в земной коре – по распространенности в ней железо занимает четвертое место (5,65 % по массе). Кларк железа в гранитном слое земной коры составляет 3,6 % (Добровольский В.В., 1998). В большинстве случаев железо относят к типоморфным химическим элементам, поскольку его нахождение в двух или трехвалентной форме обуславливает характерные и существенные особенности почв, а также формирует облик ландшафта (Никаноров А.М., 2008). Железо, хотя и является металлом по своим химическим свойствам, его относят и к биогенным элементам, так как оно принимает активное участие в биохимических (развитие гидробионтов) и гидрохимических (чаще окислительно-восстановительных) процессах. Железо по своим биохимическим свойствам, по вхождению в ряд окислительных ферментов относится к биогенным микроэлементам – биофилам. В процессе взаимодействия с содержащимися в природных водах минеральными и органическими веществами железо также способно образовывать сложный комплекс соединений, находящихся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях.

Содержание железа в водах рек связано с региональными, климатическими, ландшафтными и гидрологическими особенностями водосборов. Соединения железа поступают в реки с поверхностным стоком, где высвобождаются, например, при деструкции органического вещества и находятся в устойчивой форме подвижных ионов – Fe²⁺, Fe³⁺ (Савенко В.С., 2004; Даценко Ю.С., 2018). Среднее содержание железа в реках мира (0,066 мг/дм³) (Gaillardet J. et al., 2004) сопоставимо с его Кларком в речных водах (0,067 мг/дм³) (Чертко Н.К., Чертко Е.Н., 2008). Концентрация железа в речных водах мира колеблется в широких пределах и составляет по разным оценкам в среднем в России 0,010...5,99 мг/дм³ (Никаноров А.М., 2008; Добровольский В.В., 1998; Бондарева Д.Г. и др., 2009), Башкортостана

0,038...62,7 мг/дм³ (Минигазимов Н.С., Батанов Б.Н., 2019), Киргизии 0,4...3,92 мг/дм³ (Абдувалиев А.М., 2012). J. Gaillardet et al. приводят предельные значения содержания железа в речных водах Африки 0,031...0,614, Европы 0,302...0,666, Америке 0,010...0,739, Азии 0,014...0,036 мг/дм³ (Gaillardet J. et al., 2014).

Известно, что содержание общего железа в воде 1...2 мг/дм³ значительно ухудшает органолептические свойства, придавая ей неприятный вяжущий вкус и делая воду малоприспособленной для использования в технических нуждах (Егорова Н.А. и др., 2017). Дополнительным источником поступления железа в водоемы и водотоки являются подземные воды. Ш.Ш. Хамзина отмечала повышенное содержание железа во всех 10 разведанных и эксплуатируемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения месторождений подземных вод Павлодарского Прииртисья (Хамзина Ш.Ш. и др., 2013).

Река Ертис с притоками, являясь трансграничной, интенсивно используется в Китае, России и Казахстане для различных нужд, в том числе хозяйственного и питьевого водоснабжения. Поступающие промышленные, сельскохозяйственные и коммунальные сточные воды в реке Ертис и его притоки, а также выбросы в атмосферу от стационарных источников за 2017...2022 гг. тысячи тонн загрязняющих веществ оказывают заметное влияние на состав речных вод. Так, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на территорию Павлодарской области в этот период составляли 610...736 тыс. т. (Национальный доклад, 2023). Основное техногенное воздействие на геологическую среду, в том числе поверхностные и подземные воды, оказывает Павлодар-Экибастузский территориально-промышленный комплекс, а именно: угледобывающие разрезы, крупнейшие в Казахстане ГРЭС на базе местных углей, ТЭЦ, предприятия химической, горнодобывающей, нефтеперерабатывающей, металлургической, машиностроительной промышленности, поля фильтрации и отстойники населенных пунктов, промпредприятий, животноводческие комплексы и птицефабрики (Хамзина Ш.Ш. и др., 2013).

биогенных элементов железа и кремния авторами настоящего сообщения в летний период 2023 г. были проведены комплексные гидрохимические исследования водных объектов казахстанской части бассейна реки Ертис. Полученные данные можно использовать для оценки качества воды при использовании в различных целях, а также в общий уровень загрязнения речной экосистемы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор проб воды, их хранение, транспортировка и подготовка к анализу проводи-

лась в соответствии с рекомендациями Гидрохимического института и утвержденными ГОСТ РК 51593-2003 (Семенов А.Д., 1977; ГОСТ РК 51593 – 2003). В казахстанской части бассейна р. Ертис из поверхностного слоя на химический анализ были отобраны 44 пробы воды в реке Ертис от верховья (10 км ниже границы с КНР) до п. Урлютюб, притоках Кендирик, Жарлы, Калжыр, Куршим, пойменных озерах (Орловское, Курколь, Ески Ертис) и накопителе сточных вод Балкылдак (рисунки 1...2).

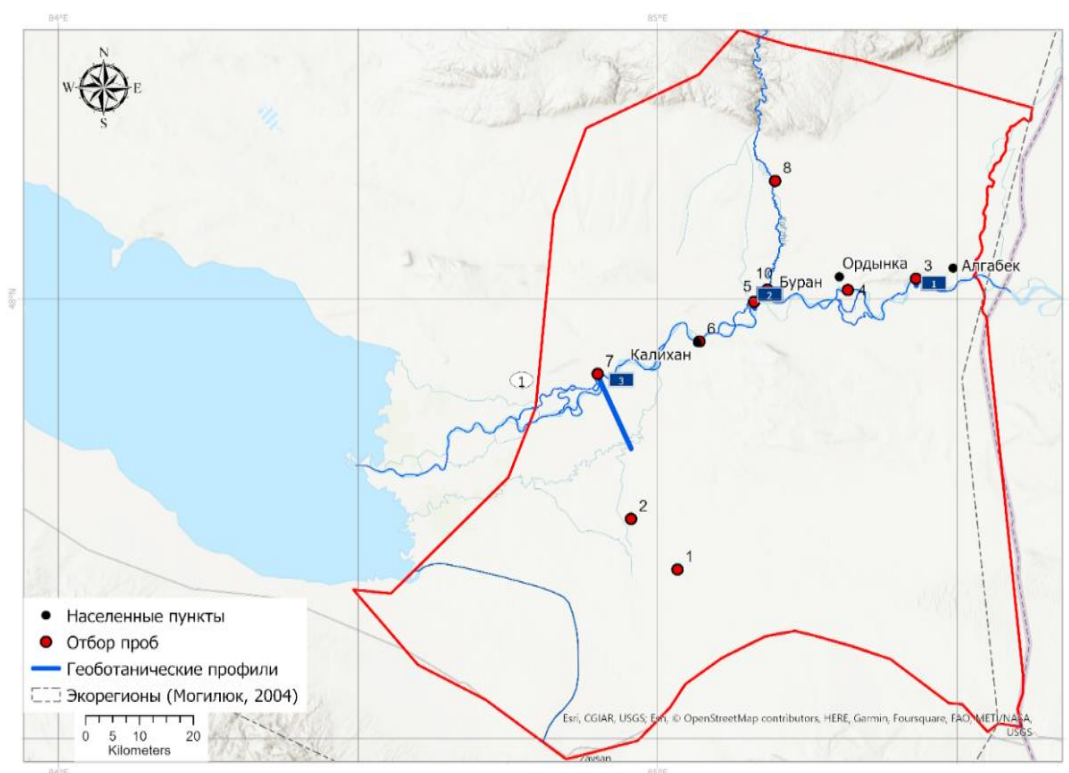


Рис.1. Карта бассейна р. Кара Ертис с пунктами отбора проб воды

Пробы воды в водоемах отбирались с борта моторной лодки при постановке на якорь по намеченной сетке станций. Координатная привязка станций выполнялась с помощью GPS-навигатора GarminTrex. Пробы воды отобраны в пределах восточных долгот 47.620...51.825 и северных широт 84.936...77.185.

Химический анализ легкоокисляющихся органических веществ, кремния и железа в пробах воды проводился после консервирования соответствующими реагентами по общепринятым в гидрохимической практике методам согласно межгосударственным

стандартам, указанным в ГОСТ РК 51232-98 (СТ РК ГОСТ Р 51232 – 2003; Семенов А.Д., 1977). Окисляемость воды выражают числом мг атомарного кислорода, потраченных на окисление органических веществ в 1 дм³ воды. Пробы воды на окисляемость были законсервированы раствором серной кислоты (1:3) в расчете 5 мл на 0,2 дм³ воды, на кремний – хлороформом из расчета 2...4 мл на 1 дм³ воды, на железо – концентрированной азотной кислотой (марки осч) из расчета 3 мл на 1 дм³ воды. Определение перманганатной окисляемости воды проведено в кислой среде по методу Кубеля, так как содержание хлоридных

ионов в воде исследуемых источников меньше 100 мг/дм^3 . Окисление проводили раствором перманганата калия точной концентрации в сернокислой среде при кипячении (чувствительность метода Кубеля $0,5 \text{ мгО/дм}^3$, погрешность определения $\pm 4...5\%$). Фотокolorиметрический метод определения общего железа основан на реакции сульфосалициловой кислоты с солями железа в щелочной среде образовывать специфический желтый комплекс железа. Этим способом можно определить $0,05...10 \text{ мг/дм}^3$ железа (чувствительность метода $0,05 \text{ мг/дм}^3$, погрешность $\pm 2\%$). В основе фотокolorиметрического метода определения минерального кремния лежит способность соединений кремния образовывать с молибдатами в присутствии минеральных кислот окрашенные в желтый цвет комплексные соединения – гетерополиокислоты кремния (чувствительность метода $0,02 \text{ мг/дм}^3$, погрешность $\pm 8\%$). Величина рН измерялась с помощью цифрового

рН-метра АМТАСТ с точностью $0,01 \text{ ед. рН}$.

В ходе анализа процент ошибок не превышал допустимых значений их погрешности. Все пробы воды анализировались в трехкратной повторности. Для получения достоверных результатов применялась математическая обработка (Чарыков А.К., 1984). Статистическую обработку результатов проводили с использованием Microsoft Excel 2010.

Оценка качества воды по нормируемым гидрохимическим показателям (железо, кремний) произведена на основе Единой системы классификации качества воды в водных объектах (Единая система..., 2016).

Основными критериями качества вод по содержанию легкоокисляющихся органических веществ (по величине перманганатной окисляемости) являются значения предельно допустимых концентраций для водоемов рыбохозяйственного водопользования (ПДК_{рх}) (Фомин Г.С., 1995; Никаноров А.М., 2008).

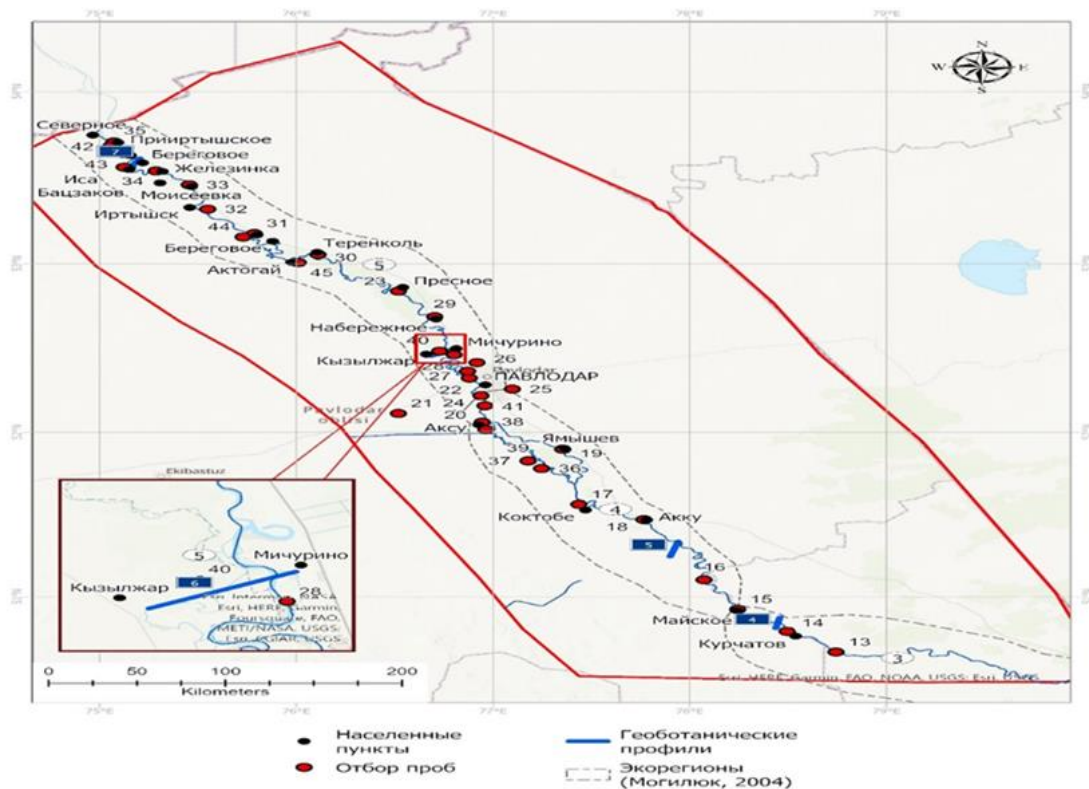


Рис.2. Карта бассейна р. Ертис в пределах Павлодарской области

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В июле 2023 г. содержание легкоокисляющихся органических веществ в воде

притоков р. Ертис колеблется в пределах $3,14...7,11 \text{ мгО/дм}^3$ (таблица 1).

Таблица 1

Величина перманганатной окисляемости, среднее значение со стандартной ошибкой в Ертисском бассейне, июль 2023 г.

Объект	Количество проб	Величина ПО, мгО/дм ³		
		минимальная	средняя	максимальная
р. Кендирлик	1	3,74	3,74	3,74
р. Жарлы	1	5,72	5,72	5,72
р. Калжыр	3	3,14	4,93±1,16	7,11
р. Куршим	2	3,34	4,44±1,10	5,53
р. Черный Ертис	5	3,74	5,21±0,75	8,11
р. Ертис(выше г. Павлодар)	7	4,04	5,59±0,84	10,50
р. Ертис(г.Павлодар)	5	3,63	4,04±0,18	4,44
р. Ертис(ниже г. Павлодар)	10	3,63	3,92±0,12	4,84
оз. Ески Ертис	3	7,27	8,62±0,82	10,10
оз. Орловское	3	12,92	13,33±0,23	13,73
оз. Курколь	3	17,77	18,58±0,40	18,98
отстойник Балкылдак	1	31,51	31,51	31,51

Из левобережных притоков вода реки Жарлы имела большее значение ПО, 5,72 мгО/дм³, а из правобережных – реки Калжыр, 7,11 мгО/дм³. Значения перманганатной окисляемости для воды реки Ертис в большинстве случаев не выходили за пределы средних значений для природных вод аридных зон (5...10 мгО/л) (Никаноров А.М., 2015), а также предельно допустимых концентраций для вод рыбохозяйственного на-

значения (ПДК_{р.х.} 10,0 мгО/дм³). Лишь в районе подпуска значение ПО в Ертисской воде достигло 10,5 мгО/дм³. Выявлено постепенное небольшое уменьшение средней величины ПО от верхнего участка реки Ертис (5,59 мгО/дм³) к нижнему (3,92 мгО/дм³) (рисунок 3). Данный факт можно объяснить меньшим поступлением органических веществ с водосборной площади в данный период времени.

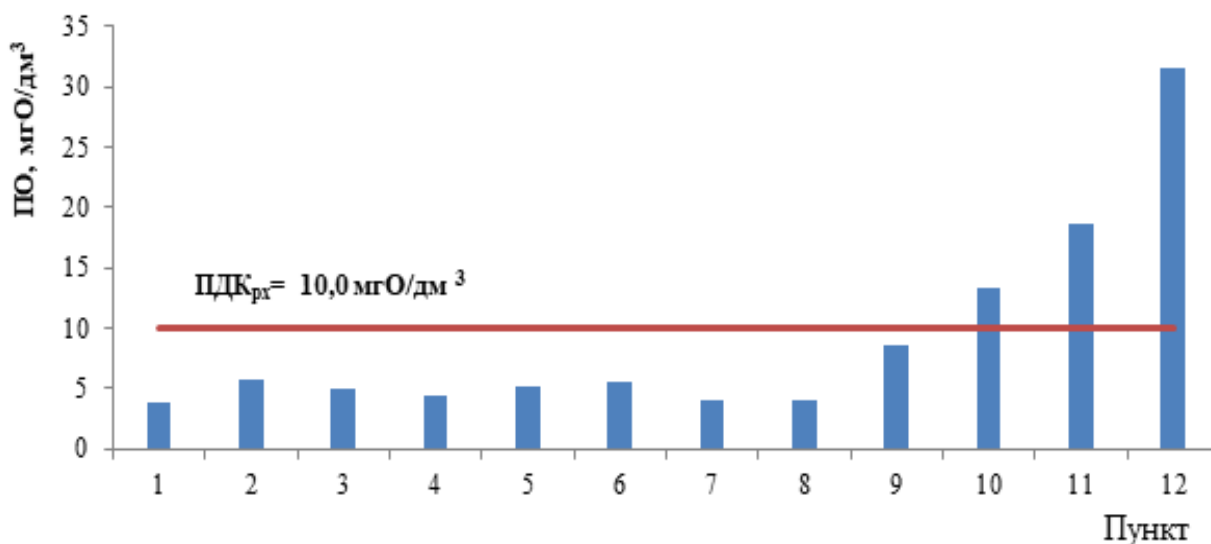


Рис.3. Распределение величины перманганатной окисляемости в Ертисском бассейне, июль 2023

Усл.обозн.:1 – р. Кендирлик; 2 – р. Жарлы; 3 – р. Калжыр; 4 – р. Куршим; 5 – р. Черный Ертис; 6 – р. Ертис (выше г. Павлодар); 7 – р. Ертис (г. Павлодар); 8 – р. Ертис (ниже г. Павлодар); 9 – оз. Ески Ертис; 10 – оз. Орловское; 11 – оз. Курколь; 12 – озеро-накопитель Балкылдак.

Вода пойменных озер более обогащена легкоокисляющимися органическими веществами. Так, пределы колебаний величины ПО составляли для оз. Старицы 7,27...10,1, оз. Орловское 12,92...13,73 и оз. Курколь 17,77...18,98 мг/дм³, в среднем превышая ПДК_{рх} только для оз. Орловское и Курколь в 1,3 и 1,9 раз, соответственно. Данный факт свидетельствовал о процессах, приводящих к накоплению органических веществ в озерах.

Самое большое содержание органических веществ было обнаружено в воде озера-накопителя Балкылдак, превышающее ПДК_{рх} в 3,2 раза.

Показатель ПО/Σ_и для всех исследуемых водных объектов Ертисского бассейна в июле 2023 г. изменялся в пределах 0,2...7,3 %, что свидетельствовало о значительной роли минеральных компонентов в составе воды.

Концентрация кремния в воде исследуемых источников изменялась в следующих пределах: притоках 2,70...7,10, р. Кара Ертис 1,90...5,20, р. Ертис в пределах Павлодарской области 1,90...5,90, пойменных озерах 2,50...9,40 и озере накопителе сточных вод Балкылдак 2,52 мг/дм³ (таблица 2).

Поскольку значения рН воды реки Ертис и его притоков изменялись в пределах 7,10...8,16, можно предположить, что кремний здесь находился преимущественно (до 99 моль %) в виде растворенных форм мета- и ортокремниевой кислот. В воде непроточных озер Орловское и Курколь значения рН несколько выше (8,46...9,45), чем в реках, что является следствием влияния на озера различных факторов, в том числе физико-географических, гидрологических, а также протеканием внутриводоемных процессов, приводящих к накоплению веществ щелочного характера

(растворение и гидролиз карбонатных и силикатных минералов, разложение растительности и организмов и др.) (Никаноров А.М., 2015). В этом случае процент растворенных форм мета- и ортокремниевых кислот в воде озер может снижаться до 71 моль %. Установлено, что больше всего кремния содержалось в воде р. Куршим и оз. Курколь (рисунок 4). Отмечалось увеличение среднего содержания кремния в воде р.Ертис вниз по течению от 3,60 до 4,18 мг/дм³, обусловленное влиянием урбанизированной территории. Установленный рядом авторов факт наибольшего содержания кремния в пресных незагрязненных водах при наименьшей минерализации (Никаноров А.М., 2008, 2015; Рыжаков А.В. и др., 2019) для исследуемых нами вод Ертисского бассейна не подтвердился. Так, минимальная концентрация кремния 1,90 мг/дм³ обнаружена в воде р. Кара Ертис при наименьшей минерализации 92,3 мг/дм³ и в ертисской воде (у г. Курчатова) при не минимальной общей минерализации 181 мг/дм³. В воде оз. Орловское невысокая концентрация кремния, 2,50 мг/дм³, была при минерализации 234,7 мг/дм³, такая же концентрация кремния обнаружена и в воде р. Ертис на участке г. Аксу при минерализации 180,5 мг/дм³. Можно предположить, что на поступление кремния в водоем и его распределение в водной толще в данном случае оказывают влияние не только природные, но и антропогенные факторы. В частности, одним из источников поступления кремния в речные и озерные воды являются почвообразующие породы, в основном аллювиальные супесчаные, легкие и средние суглинки разного генезиса, а также карбонатные и засоленные глины и тяжелые суглинки (Агроклиматические ресурсы..., 2017).

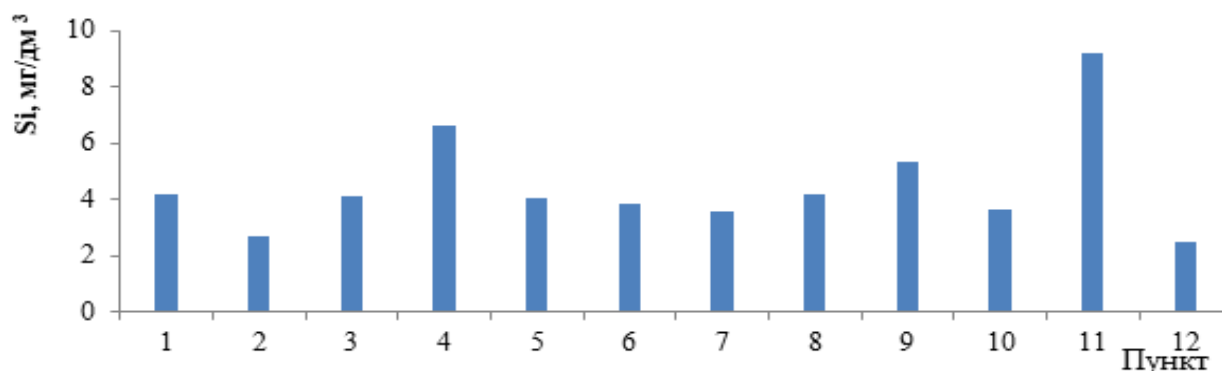


Рис.4. Распределение содержания кремния в Ертисском бассейне, июль 2023 г.

Усл.обозн.: 1 – р. Кендирлик; 2 – р. Жарлы; 3 – р. Калжыр; 4 – р. Куршим; 5 – р. Черный Ертис; 6 – р. Ертис (выше г. Павлодар); 7 – р. Ертис (г.Павлодар); 8 – р. Ертис (ниже г.Павлодар); 9 – оз. Ески Ертис; 10 – оз. Орловское; 11 – оз. Курколь; 12 – озеро-накопитель Балкылдак.

Таблица 2

Содержание кремния, среднее значение со стандартной ошибкой в Ертисском бассейне, июль 2023 г.

Объект	Количество проб	Величина ПО, мгО/дм ³		
		минимальная	средняя	максимальная
р. Кендирлик	1	3,74	3,74	3,74
р. Жарлы	1	5,72	5,72	5,72
р. Калжыр	3	3,14	4,93±1,16	7,11
р. Куршим	2	3,34	4,44±1,10	5,53
р. Черный Ертис	5	3,74	5,21±0,75	8,11
р. Ертис (выше г. Павлодар)	7	4,04	5,59±0,84	10,50
р. Ертис (г.Павлодар)	5	3,63	4,04±0,18	4,44
р. Ертис (ниже г. Павлодар)	10	3,63	3,92±0,12	4,84
оз. Ески Ертис	3	7,27	8,62±0,82	10,10
оз. Орловское	3	12,92	13,33±0,23	13,73
оз. Курколь	3	17,77	18,58±0,40	18,98
отстойник Балкылдак	1	31,51	31,51	31,51

Примечание: n – количество проб

Содержание кремния в воде всех изученных водных объектов (в среднем 2,70...9,23 мг/дм³) не достигает числового значения стандартов качества вод (10,0...12,0 мг/дм³) и эти водные объекты можно отнести к 1 и 2 классам качества, пригодными для всех категорий водопользования и соответствуют «очень хороше-

му» качеству вод (Единая система...,2016).

Минеральный кремний в виде мета и ортосиликатных ионов может образовывать органические соединения. Для исследуемых вод Ертисского бассейна была выявлена связь средней силы между содержанием кремния и величиной ПО (коэффициент корреляции 0,53) (рисунок 5).

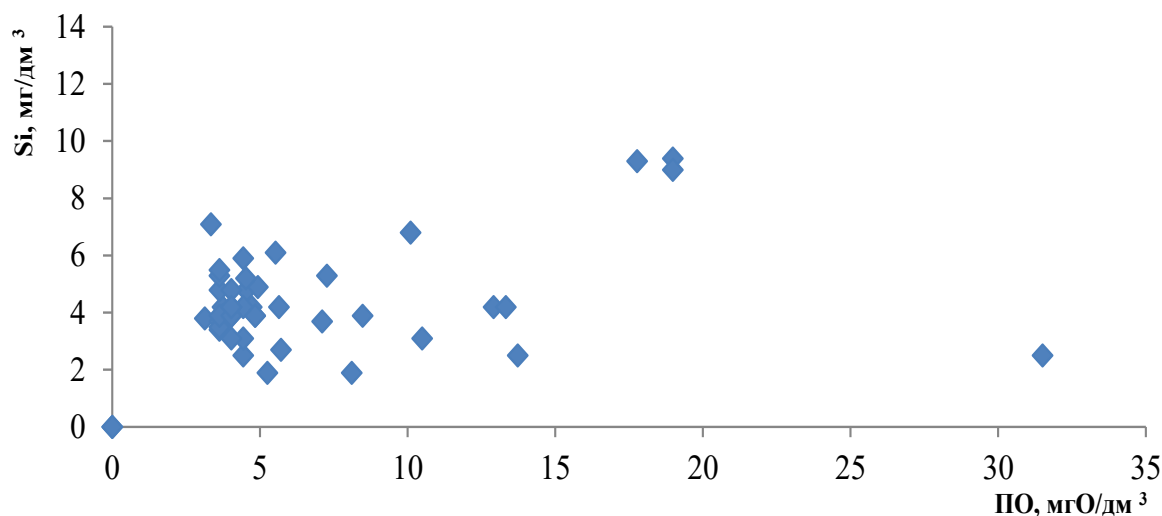


Рис.5. Связь между содержанием кремния и величиной ПО воды водоемов Ертисского бассейна, июль 2023 г.

Концентрация железа в воде исследуемых источников изменялась в следующих пределах: притоках 0,320...0,856, р. Черный Ертис 0,476...0,856, р. Ертис в пределах Пав-

лодарской области 0,072...0,784, пойменных озер 0,400...1,740 и озера-накопителя сточных вод Балкылдак 1,216 мг/дм³ (таблица 3).

Таблица 3

Содержание железа, среднее значение со стандартной ошибкой в Ертисском бассейне, июль 2023 г.

Объект	Количество проб	Концентрация Fe, мг/дм ³		
		минимальная	средняя	максимальная
р. Кендирлик	1	0,476	0,476	0,476
р. Жарлы	1	0,468	0,468	0,468
р. Калжыр	3	0,320	0,42±0,08	0,568
р. Куршим	2	0,632	0,74±0,11	0,856
р. Черный Ертис	5	0,476	0,58±0,07	0,856
р. Ертис(выше г. Павлодар)	7	0,072	0,14±0,02	0,172
р. Ертис(г. Павлодар)	5	0,152	0,18±0,01	0,212
р. Ертис(ниже г. Павлодар)	10	0,152	0,35±0,06	0,784
оз. Ески Ертис	3	0,400	0,51±0,09	0,684
оз. Орловское	3	0,400	0,51±0,06	0,580
оз. Курколь	3	1,359	1,52±0,11	1,740
отстойник Былкылдак	1	1,216	1,216	1,216

Распределение растворенного общего железа в водных объектах Ертисского бассейна в июле 2023 г. неравномерное и изменяется в пределах 0,072...1,740 мг/дм³. Максимальная концентрация, обнаруженная в воде озера Курколь, превышает Кларк железа в речных водах почти в 26 раз. Вода правобережных Ертисских притоков Калжыр и Куршим содержит больше общего железа (в среднем 0,58 мг/дм³), чем левобережных Кендирлик и Жарлы (в среднем 0,47 мг/дм³). Вода Ертисских притоков и р. Черный Ертис более обогащена железом, чем вода реки Ертис. По течению вниз реки Ертис установлено увеличение концентрации железа в 2,5 раза, связанное с влиянием сброса условно чистых промстоков.

Снижение содержания железа в воде р. Ертис по сравнению с таковым в воде притоков, возможно, связано с усилением процессов поглощения минеральными и органическими веществами, находящимися в водной массе и донных отложениях. Вода пойменного озера Курколь содержит больше всего железа (в среднем 1,52 мг/дм³), чем в озерах Орловское и Старицы (в среднем 0,51 мг/дм³) (рисунок 6). В озерной воде вероятнее всего создаются благоприятные условия высвобождения железа при деструкции органического вещества, десорбции железа из донных отложений и перехода его в воду в виде устойчивой формы подвижных ионов – Fe²⁺, Fe³⁺.

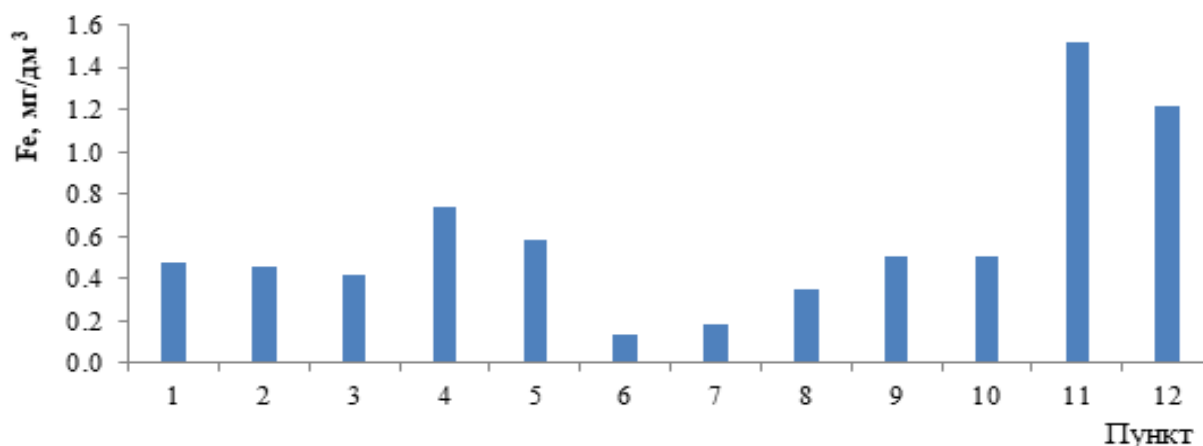


Рис. 6. Распределение содержания железа в Ертисском бассейне, июль 2023 г.

Усл.обозн.: 1 – р. Кендирлик; 2 – р. Жарлы; 3 – р. Калжыр; 4 – р. Куришим; 5 – р. Черный Ертыс; 6 – р. Ертыс (выше г. Павлодар); 7 – р. Ертыс (г. Павлодар); 8 – р. Ертыс (ниже г. Павлодар); 9 – оз. Ески Ертыс; 10 – оз. Орловское; 11 – оз. Курколь; 12 – озеро-накопитель Балкылдак.

Среднее значение концентрации Fe в поверхностной воде Ертысского бассейна далеко не сопоставимо со средним его содержанием в реках мира и кларком в речных водах, составляющее 0,067 мг/дм³ (Gaillardet J. et al., 2004; Чертко Н.К., 2008). Относительно высокое содержание железа в исследуемых нами источниках находит подтверждение и в работах других авторов. Так, А.В. Коржавиным с соавторами было установлено, что в 2004...2010 гг. повышенное содержание железа в воде нижней части Ертысской речной системы (0,5...2,5 мг/дм³) является его неотъемлемой частью (Коржавин А.В. и др. 2012). Д.М. Бурлибаева с соавторами, проводя анализ динамики изменения концентраций ионов тяжелых металлов в р. Ертыс в многолетнем цикле (с 2001 по 2016 гг.), установила, что в воде р. Черный Ертыс (с. Буран) и р. Ертыс (все створы Казгидромета) среди других загрязняющих веществ постоянно присутствовало общее железо, до 2,6 ПДК_{рх} (Burlibaeva D.M., et al., 2016; Бурлибаева Д.М. и др. 2020). Повышенные концентрации железа в водных объектах Ертысского бассейна объясняются влиянием неорганизованного поверхностного стока и геохимическими особенностями тер-

ритории (Burlibaeva D.M. et al., 2016; Достай Ж.Д., 2012; Агроклиматические ресурсы..., 2017)

На основании Единой системы классификации качества воды в водных объектах Казахстана проведена оценка качества водных объектов Ертысского бассейна. Установлено, что только вода реки Ертыс на участках выше г. Павлодар, г. Павлодар по среднему содержанию железа относится к 1 классу качества ($\leq 0,2$ мг/дм³), может быть пригодна для всех видов водопользования. Вода притоков Ертыса, р. Кара Ертыс, р. Ертыс на участке ниже г. Павлодар и все озера по среднему содержанию железа относятся к 2,3,4 классам качества (0,3 мг/дм³). В этой связи необходимо с осторожностью использовать воду в рыбохозяйственных (разведение лососевых рыб) и в хозяйственно-питьевых целях, применяя методы простой водоподготовки (Единая система..., 2016).

Выявленная связь средней силы (коэффициент корреляции 0,58) между содержанием железа и величиной ПО может свидетельствовать об участии железа в образовании органических веществ (рисунок 7).

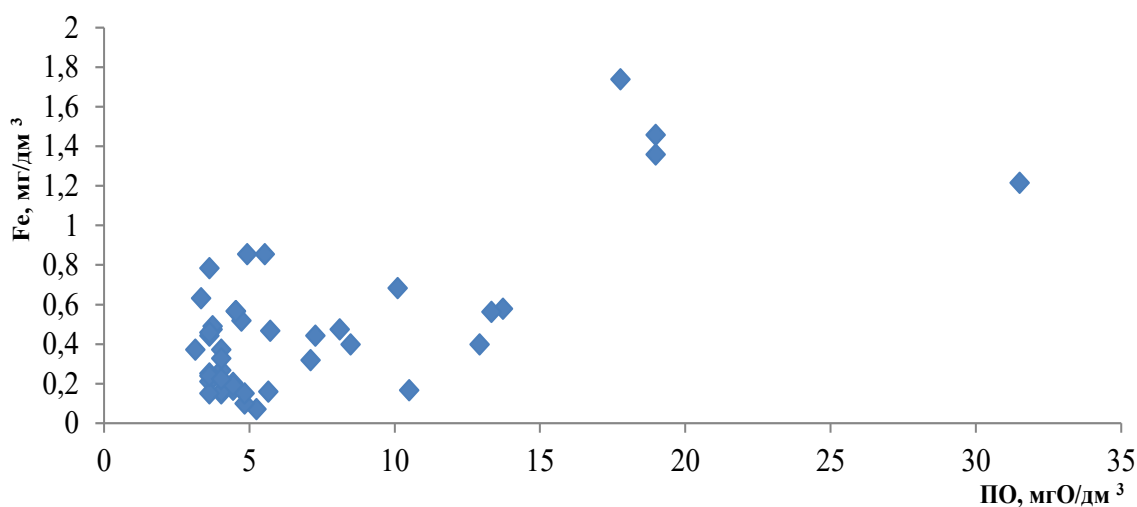


Рис. 7. Связь между содержанием железа и величиной ПО в Ертысском бассейне, июль 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В июле 2023 г. распределение кремния, железа и легкоокисляющихся органических веществ было неодинаковым во всем Ертисском бассейне. Вода р. Ертис и его притоков по классификации О.А. Алекина характеризовалась малыми и средними величинами перманганатной окисляемости (3,14...8,11 мгО/дм³). Пойменные озера и озеро накопитель Балкылдак отличались повышенным значением величины ПО (1,3 ПДК_{рх}...3,2 ПДК_{рх}), свидетельствующим о процессах накопления органических веществ в озерах. Выявлено постепенное уменьшение средней величины ПО от верхних участков р. Ертис (5,59 мгО/дм³) к нижним (3,92 мгО/дм³). Расчет отношения величины ПО к общей минерализации воды всех исследуемых объектов, составляющий 0,2...7,3 %, убедительно показывает значительную роль минеральных компонентов в химическом составе воды.

Поскольку содержание кремния (в основном в виде растворенных форм мета- и ортокремниевой кислоты) в воде всех изученных водных объектов (1,9...9,4 мг/дм³) не достигает числового значения стандартов качества вод (10,0...12,0 мг/дм³), поэтому эти водные объекты можно отнести к 1 и 2 классам качества, пригодными для всех категорий водопользования и соответствуют «очень хорошему» качеству вод. Известный в гидрохимии факт наибольшего содержания кремния при наименьшей минерализации воды для исследуемых нами водоемов не подтвердился, что свидетельствует о роли не только природных, но и антропогенных факторов.

В отличие от кремния и органических веществ (оцененных по величине ПО), железо повсеместно присутствует в воде в относительно высоких концентрациях (0,072...1,740 мг/дм³) в связи с влиянием неорганизованного поверхностного стока и геохимическими особенностями территории. Среднее значение концентрации Fe в поверхностной воде Ертисского бассейна (0,948 мг/дм³) на порядок выше среднего его содержанием в реках мира и Кларка в речных водах (0,067 мг/дм³). Наибольшее содержание железа обнаружено в воде озер (0,51...1,52 мг/дм³), а в реках его концентрация меньше (0,14...0,74 мг/дм³).

Установлено, что только вода реки Ертис на участках выше г. Павлодар и г. Павлодар по среднему содержанию железа относится к 1 классу качества ($\leq 0,2$ мг/дм³), может быть пригодна для всех видов водопользования. Вода притоков Ертиса, р. Кара Ертис, р. Ертис на участке ниже г. Павлодар и все озера по среднему содержанию железа относятся к 2,3,4 классам качества (0,3 мг/дм³). В этой связи рекомендуется с осторожностью использовать воду в рыбохозяйственных (разведение лососевых рыб) и хозяйственно-питьевых целях, применяя методы простой водоподготовки. Выявлена связь средней силы между содержанием железа, кремния и легкоокисляющихся органических веществ в водных объектах Ертисского бассейна.

Полученные данные по распределению кремния, железа и величины ПО можно использовать для комплексной оценки качества воды Ертисского бассейна.

Работа выполнена в рамках проекта «Оценка состояния биоресурсов в казахстанской части бассейна Ертиса в условиях трансграничного использования водных ресурсов и климатических изменений» (ИРН: BR18574062-OT-23)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдувалиев А.М. Мониторинг качества поверхностных вод реки Кумто // Известия НАН КР. – 2012. – №2. – С.34-40.
2. Агроклиматические ресурсы Павлодарской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова – Астана. – 2017. – 127 с.
3. Амиргалиев Н.А., Григорьева Э.Н. и др. Биогенный сток рек в озеро Балхаш // Водные ресурсы. – 1984. – № 6. – С. 97-103.
4. Бондарева Д.Г., Христофорова Н.К. Экологическое состояние водотоков бассейна Амура, расположенных в пределах ЕАО // Проблемы региональной экологии. – 2009. – №4. – С.12-17.
5. Бурлибаева Д.М., Бурлибаев М.Ж., Рыскельдиева А.М., Кайдарова Р.К., Опп К., Амиргалиев Н.А. Динамика изменения концентрации загрязняющих веществ группы тяжелых металлов в поверхностных водах трансграничной реки Ертис на территории республики Казахстан // С.Хабаршы. География сериясы. – 2020. – №2 (57). – С. 54-68.
6. Вапиров В.В., Феоктистов В.М., Венскович А.А., Вапирова Н.В. К вопросу о поведении кремния в природе и его биологической роли // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. – 2017. – (2): – С. 95-102
7. Гордеев В.В. Особенности геохимии речного стока в Черное море / В кн. Система Черного моря. – Москва: Научный мир. – 2018. – С.247-286. 10.29006/978-5-91522-473-4.2018.247-286

8. Государственный стандарт Республики Казахстан. Вода питьевая. Отбор проб. СТ РК ГОСТ Р 51593- 2003. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30015917&pos=22; -46#pos= 22;-46
9. Государственный стандарт Республики Казахстан Вода питьевая Общие требования к организации и методам контроля качества СТ РК ГОСТ Р 51232 – 2003. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/ 4293739359.pdf>
10. Гринвуд Н., Эрншо А. Химия элементов. В 2 т. Т. 1. Пер. с англ. – 5-е изд., испр., электрон. – М.: Лаборатория знаний, 2021. – 664 с .
11. Гришина Е.Н. Основы химии окружающей среды. Ч. 2. Химические процессы в гидросфере – Владимир: Изд-во Влад. гос. ун-та. – 2009. – 60 с.
12. Даценко Ю.С. Особенности формирования речного стока марганца и железа в периоды паводков // Вода: химия и экология. – 2018. – № 4-6. – С. 3-6
13. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Высшая школа, – 1998. – 413 с.
14. Достай Ж.Д. Природные воды Казахстана: ресурсы, режим и прогноз // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Алматы: Институт географии. – 2012. – Т.2. – 330с.
15. Ершов Ю.А., Попков В.А. и др. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: учебник для вузов / – 6-е изд., стер. – М.: Высш. шк. – 2007. – 560 с.
16. Егорова Н.А., Канатникова Н.В. Влияние железа в питьевой воде на заболеваемость населения//Hygiene & Sanitation (Russian Journal). – 2017. – 96(11). – С.1049-1053. DOI: <http:// dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1049-1053>
17. Ибрагимов А.И. Физико-химическая характеристика воды р. Сырдарья: автореф. дисс. канд. хим. наук: – Алма-Ата. – 1973. – 33 с.
18. Камбалина М.Г., Скворцова Л.Н., Мазурова И.С., Гусева Н.В., Бакибаев А.А. Исследование форм нахождения кремния в природных водах с высоким содержанием растворенных органических веществ. Известия Томского политехнического университета. – 2014. – 325(3): – С. 64-70. DOI:10.1016 / j.proche. 2014.10.008
19. Каменецкая Д.Б. Кремний в природных водных объектах: формы соединений и методы контроля//Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2022(6). – С.15-22. DOI:10.35627/2219-5238/2022-30-6-15-22
20. Коржавин А.В., Трапезников В.Н., Трапезникова А.П., Плагаев Г.С., Аширбакиева Г.Х., Хакимзянова Е.И., Попова И.А. Химический состав воды в нижнем течении реки Ертыс // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2012, №3 (20). – С.84-95.
21. Куликова А.Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрений сельскохозяйственных культур. – Ульяновск: Изд-во Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина. 2013. – 173 с.
22. Линник П. Н., Дикая Т. П. Содержание, формы нахождения и особенности распределения и миграции кремния в поверхностных водах Украины//Водные ресурсы. – 2014. – том 41. – №6. – С. 606-620.
23. Мальцева А.В., Тарасов М.Г., Смирнов М.П. Сток органических веществ с территории СССР // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеиздат. – 1987. – Том 102. – С.131-145.
24. Минигазимов Н.С., Батанов Б.Н. Влияние сбросов сточных вод на качество воды рек Республики Башкортостан//Вестник Академии Наук РБ. – 2019. – том 31, № 2(94). – С.35-45.
25. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2022 год. <https://ecogofond.kz/orhusskaja-konvencija/dostup-k-jekologicheskoinformacii/jekologijaly-zha-daj/r-orsha-an-ortany-zhaj-kji-turaly-ltty-bajandamalar/>
26. Никаноров А.М. Гидрохимия. – Изд. 3-е, перераб. и дополн., СПб.: Гидрометеиздат. – 2008. – 462 с.
27. Никаноров А.М. Фундаментальные и прикладные проблемы гидрохимии и гидроэкологии. – Ростов-н/Д: Изд-во ЮФУ. – 2015. – 735 с.
28. Пильгук В.Я. Физико-химия воды р. Ертыс в условиях создания водохранилищ: автореф. канд. хим. наук. – Алма-Ата: КазГУ. – 1975. – 30 с.
29. Рыжаков А.В., Вапиров 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 DOI: 10.17076/lm942
30. Савенко В.С. Физико-химический анализ процессов образования железомарганцевых конкреций в океане. Москва: ГЕОС. – 2004. – 156 с.
31. Семенов А.Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат. – 1977. – 541 с.
32. Смирнов М.П. Органические вещества и минерализация речных вод России, СНГ, Балтии. – Ростов-на-Дону: Из-во НОК. – 2015. – 360 с.
33. Снегирева Н.Е. Химия поверхностных вод Сасык – Алакольского бассейна: автореф.дисс. канд. хим. наук: – Алма-Ата. – 1970. – 26 с.
34. Хамзина Ш.Ш. Шарипова З.М., Омарова Г.М. Водные ресурсы Павлодарской области, их охрана и рациональное использование. – Павлодар: Инновац. Евраз. ун-т. – 2013. – 248 с.
35. Чарыков А.К. Математическая обработка результатов химического анализа. – Л.: Химия. – 1984. – 168 с.
36. Чертко Н.К., Чертко Е.Н. Геохимия и экология химических элементов. Минск: Издательский Центр БГУ. – 2008. – 140 с.
37. Burlibayeva D.M., Burlibayev M.Z., Opp C. Regime dynamics of hydrochemical and toxicological parameters of the Irtysh River in Kazakhstan // A Bao - Journal of Arid Land, 8. – 2016. –P. 521-532. DOI: 10.1007/s40333-016-0083-y
38. Dietzel M. Dissolution of silicates and the stability of polysilicic acid. Geochim Cosmochim Acta. – 2000. – 64(19). – 3275-3281. DOI:10.1016/s0016-7037(00)00426-9
39. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters // Treatise on Geochemistry. Amsterdam: Elsevier. – 2004. – V. 5. – P. 225-272.
40. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters. Treatise on Geochemistry. Oxford, Elsevier. – 2014. – P. 195-235.
41. Meybeck M. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers // American Journal of Science. – 1982. – V. 282. – P. 401-450.

REFERENCES

1. Abduvaliev A.M. Monitoring kachestva poverkhnostnykh vod reki Kumto // *Izvestiya NAN KR.* – 2012. – №2. – P.34-40.
2. Agroklimaticheskie resursy Pavlodarskoi oblasti: nauchno-prikladnoi spravochnik / Pod red. S.S. Baisholanova – Astana. – 2017. – 127 p.
3. Amirgaliev N.A., Grigor'eva E.N. i dr. Biogennyi stok rek v ozero Balkhash // *Vodnye resursy.* – 1984. – № 6. – P. 97-103.
4. Bondareva D.G., Khristoforova N.K. Ekologicheskoe sostoyanie vodotokov basseina Amura, raspolozhennykh v predelakh EAO // *Problemy regional'noi ekologii.* – 2009. – №4. – P.12-17.
5. Burlibaeva D.M., Burlibaev M.Zh., Ryskel'dieva A.M., Kaidarova R.K., Opp K., Amirgaliev N.A. Dinamika izmeneniya kontsentratsii zagryaznyayushchikh veshchestv gruppy tyazhelykh metallov v poverkhnostnykh vodakh transgranichnoi reki Ertis na territorii respubliky Kazakhstan // *S.Khabarshy. Geografiya seriyasy.* – 2020. – №2 (57). – P. 54-68.
6. Vapirov V.V., Feoktistov V.M., Venskovich A.A., Vapirova N.V. K voprosu o povedenii kremniya v prirode i ego biologicheskoi roli // *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta.* – 2017. – (2): – P. 95-102
7. Gordeev V.V. Osobennosti geokhimii rechnogo stoka v Chernoe more / V kn. Sistema Chernogo morya. – Moskva: Nauchnyi mir. – 2018. –P.247-286. DOI:10.29006/978-5-91522-473-4.2018.247-286
8. Gosudarstvennyi standart Respubliki Kazakhstan. Voda pit'evaya. Otkor prob. STRK GOST R 51593. – 2003. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30015917&pos=22;-46#pos=22;-46
9. Gosudarstvennyi standart Respubliki Kazakhstan Voda pit'evaya Obshchie trebovaniya k organizatsii i metodam kontrolya kachestva ST RK GOST R 51232 – 2003. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/4293739359.pdf>
10. Grinvud N., Ernshe A. Khimiya elementov v 2 t. T. 1, per. s angl. – 5-e izd., ispr., elektron. – M.: Laboratoriya znaniy. – 2021. – 664 p
11. Grishina E.N. Osnovy khimii okruzhayushchei sredy. Ch. 2. Khimicheskie protsessy v gidrosfere – Vladimir: Izd-vo Vlad. gos. un-ta. – 2009. – 60 p.
12. Datsenko Yu.S. Osobennosti formirovaniya rechnogo stoka margantsa i zheleza v periody pavodkov // *Voda: khimiya i ekologiya.* – 2018, № 4–6. – P. 3-6
13. Dobrovolskii V.V. Osnovy biogeokhimii. M.: Vysshaya shkola. – 1998. – 413 p.
14. Dostai Zh.D. Prirodnye vody Kazakhstana: resursy, rezhim i prognoz // *Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie.* – Almaty: Institut geografii. – 2012. – T.2. – 330p.
15. Ershov Yu.A., Popkov V.A. i dr. Obshchaya khimiya. Biofizicheskaya khimiya. Khimiya biogennykh elementov: uchebnik dlya vuzov / – 6-e izd., ster. – M.: Vyssh. shk. – 2007. – 560 p.
16. Egorova N.A., Kanatnikova N.V. Vliyanie zheleza v pit'evoi vode na zaboлеваemost' naseleniya// *Hygiene & Sanitation (Russian Journal).* – 2017; 96(11). – P.1049-1053. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1049-1053>
17. Ibragimov A.I. Fiziko-khimicheskaya kharakteristika vody r.Syrdar'i: avtoref. diss. kand. khim. nauk: – Alma-Ata. – 1973. – 33 p.
18. Kambalina M.G., Skvortsova L.N., Mazurova I.S., Guseva N.V., Bakibaev A.A. Issledovanie form nakhozhdeniya kremniya v prirodnykh vodakh s vysokim soderzhanie rastvorenykh organicheskikh veshchestv. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta.* – 2014; 325(3): – P. 64-70. DOI:10.1016/j.proche.2014.10.008
19. Kamenetskaya D.B. Kremnii v prirodnykh vodnykh ob'ektakh: formy soedinenii i metody kontrolya// *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO.* – 2022(6). – P.15-22. DOI:10.35627/2219-5238/2022-30-6-15-22
20. Korzhavin A.V., Trapeznikov V.N., Trapeznikova A.P., Plataev G.S., Ashirbakieva G.Kh., Khakimzyanova E.I., Popova I.A. Khimicheskii sostav vody v nizhnem techenii reki Ertis // *Problemy biogeokhimii i geokhimicheskoi ekologii.* – 2012, №3 (20). – P.84-95.
21. Kulikova A.Kh. Kremnii i vysokokremnistye porody v sisteme udobrenii sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. – Ul'yanovsk: Izd-vo Ul'yanovskoi GSKhA im. P.A. Stolypina. – 2013. – 173 p.
22. Linnik P. N., Dikaya T. P. Soderzhanie, formy nakhozhdeniya i osobennosti raspredeleniya i migratsii kremniya v poverkhnostnykh vodakh Ukrainy// *Vodnye resursy.* – 2014. – tom 41. – №6. – P.606-620.
23. Mal'tseva A.V., Tarasov M.G., Smirnov M.P. Stok organicheskikh veshchestv s territorii SSSR // *Gidrokhimicheskie materialy.* – L.: Gidrometeoizdat. – 1987. – Tom 102. – P.131-145.
24. Minigazimov N.S., Batanov B.N. Vliyanie sbrosov stochnykh vodna kachestvo vody rek Respubliki Bashkortostan// *Vestnik Akademii Nauk RB.* – 2019. – tom 31. – № 2(94). – P.35-45.
25. Natsional'nyi doklad o sostoyanii okruzhayushchei sredy i ob ispol'zovanii prirodnykh resursov Respubliki Kazakhstan za 2022 god. <https://ecogofond.kz/orhusskaja-konvencija/dostup-k-jekologicheskoi-informacii/jekologijaly-zha-daj/r-orsha-an-ortany-zhaj-k-ji-turaly-ltty-bajandamalar/>
26. Nikanorov A.M. Gidrokhiimiya. – Izd. 3-e, pererab. i dopoln., SPb.: Gidrometeoizdat. – 2008. – 462 p.
27. Nikanorov A.M. Fundamental'nye i prikladnye problemy gidrokhimii i gidroekologii. – Rostov-n/D: Izd-vo YuFU. – 2015. – 735 p.
28. Pil'guk V.Ya. Fiziko-khimiya vody r. Ertis v usloviyakh sozdaniya vodokhranilishch: avtoref. kand. khim. nauk. – Alma-Ata: KazGU. – 1975. – 30 p.
29. Ryzhakov A.V., Vapirov V.V., Stepanova I. A. Kremnii v poverkhnostnykh vodakh gumidnoi zony (na primere vodnykh ob'ektov Karelii) // *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN.* – 2019. – № 3. – P. 52–60 DOI: 10.17076/lim942
30. Savenko V.S. Fiziko-khimicheskii analiz protsessov obrazovaniya zhelezomargantsevykh konkretov v okeane. Moskva: GEOS. – 2004. – 156 p.
31. Semenov A.D. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi. – L.: Gidrometeoizdat. – 1977. – 541 p.
32. Smirnov M.P. Organicheskie veshchestva i mineralizatsiya rechnykh vod Rossii, SNG, Baltii. – Rostov-na-Donu: Iz-vo NOK. – 2015. – 360 p.

33. Snegireva N.E. Khimiya poverkhnostnykh vod Sasyk – Alakol'skogo basseina: avtoref.diss. kand. khim. Nauk. – Alma-Ata. – 1970. – 26 p.
34. Khamzina Sh.Sh. Sharipova Z.M., Omarova G.M. Vodnye resursy Pavlodarskoï oblasti, ikh okhrana i ratsional'noe ispol'zovanie. – Pavlodar: Innovats. Evraz. un-t. – 2013. – 248 p.
35. Charykov A.K. Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov khimicheskogo analiza. – L.: Khimiya. – 1984. – 168 p.
36. Chertko N.K., Chertko E.N. Geokhimiya i ekologiya khimicheskikh elementov. Minsk: Izdatel'skii Tsenter BGU, – 2008. – 140 p.
37. Burlibayeva D.M., Burlibayev M.Z., Opp C. Regime dynamics of hydrochemical and toxicological parameters of the Irtysh River in Kazakhstan // A Bao - Journal of Arid Land, 8. – 2016. R. 521-532. DOI: 10.1007/s40333-016-0083-y
38. Dietzel M. Dissolution of silicates and the stability of polysilicic acid // Geochim Cosmochim Acta. – 2000. – 64(19). – P. 3275-3281. DOI:10.1016 / s0016-7037(00)00426-9
39. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters // Treatise on Geochemistry. Amsterdam: Elsevier. – 2004. – V. 5. – P. 225-272.
40. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters. Treatise on Geochemistry. Oxford, Elsevier. – 2014. – P. 195-235.
41. Meybeck M. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers // American Journal of Science. – 1982. – V. 282. – P. 401-450.

ПАВЛОДАР ОБЛЫСЫНДАҒЫ ЕРТИС ӨЗЕНІ БАССЕЙНІНІҢ СУ ОБЪЕКТІЛЕРІНДЕГІ КРЕМНИЙ, ТЕМІРДІҢ ТАРАЛУЫ ЖӘНЕ ОРГАНИКАЛЫҚ ЗАТТАРДЫҢ ТОТЫҒУ МӨЛШЕРІ

С.М. Романова^{1*} з.ғ.д., Е.Г. Крупа^{1,2} б.ғ.д., А.С. Серикова¹

¹ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК, Алматы, Қазақстан

²Қазақстан қолданбалы экология агенттігі, Алматы, Қазақстан

E-mail: sofiyarom@mail.ru

Зерттеу жұмысында 2023 жылдың жазғы кезеңінде Ертіс өзенінің бассейнінде кремнийдің, темірдің таралуын және перманганаттың тотығу мөлшерін зерттеу бойынша материалдар келтірілген. Ертіс өзенінің суы үшін перманганаттың тотығу мәндері көп жағдайда құрғақ аймақтардың табиғи сулары үшін шектік орташа мәндерден (5...10 мг/дм³), сондай-ақ балық шаруашылығы мақсатындағы сулардың шекті рұқсат етілген концентрацияларынан аспады. Көлдерде суы жеңіл тотығатын органикалық заттармен байытылған (8,62...31,51 мгО/дм³). Кремнийдің ең жоғарғы концентрациясы жалпы су минералданудың төменгі мәндеріне сәйкес келмеді. Темірдің таралуы біркелкі емес және 0,072...1,740 мг/дм³ аралығында өзгереді, максималды концентрациясы Құркөл және Балқылдақ көлдерінде. Антропогендік фактордың әсерінен темір мен кремний концентрациясының шамалы жоғарылауы, жоғарғы аймақтарынан төменгі аймақтарына дейін болды. Су сапасын жіктеудің бірыңғай жүйесі негізінде Павлодар Ертіс өңіріндегі су объектілерінің сапасына бағалау жүргізілді. Кремний, темір және ПО шамасы арасындағы орташа байланысы анықталды. Компоненттердің таралуы туралы деректерді Ертіс бассейнінің су сапасын толық бағалау үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: кремний, темір, тотығу, табиғи сулар, гидрохимия, шекті рұқсат етілген концентрация, ластану, экология.

DISTRIBUTION OF THE SILICON, IRON AND OXIDIZABILITY IN THE WATER BODIES OF THE PAVLODAR ERTIS REGION

**S. Romanova^{1*} Doctor of Geographical Sciences, E. Krupa^{1,2} Doctor of Biological Sciences,
A. Serikova¹**

¹«Institute of Zoology», Almaty, Kazakhstan

² Kazakhstan Agency of Applied Ecology, Almaty, Kazakhstan

E-mail: sofiyarom@mail.ru

The materials of our own research on the distribution of silicon, iron and the value of permanganate oxidability in the Irtysh River basin in the summer of 2023 presented. It has

been established that the content of these components and their ratios are not the same in the water of rivers and lakes. The values of permanganate oxidizability (PO) for the water of the Irtysh River in most cases did not exceed the average values for natural waters of arid zones (5...10 mgO/dm³), as well as the maximum permissible concentrations for fishery waters. The water of floodplain lakes and storage lakes is more enriched with easily oxidizing organic substances (8.62...31.51 mgO/dm³). The maximum concentrations of silicon did not always correspond to the minimum values of total mineralization. The distribution of dissolved total iron is uneven and varies between 0.072...1.740 mg/dm³, with a maximum concentration in oz. Kurkol and the Balkyldak storage lake. From the upper to the lower sections of the Ertis, there was a slight increase in the concentration of iron and silicon, as a result, of the influence of an anthropogenic factor. The assessment of the quality of the water bodies of the Pavlodar Irtysh region was carried out on the basis of a Unified water quality classification system. The relationship of the average strength between silicon, iron and the value of PO is revealed. The data on the distribution of these components can be used for a more complete assessment of the water quality of the Yertis basin.

Keywords: silicon, iron, oxidizability, natural waters, hydrochemistry, maximum permissible concentration, pollution, ecology.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Романова С. М. – доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии, РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, пр. аль-Фараби 93, Алматы, Казахстан, sofiyarom@mail.ru

Крупа Е. Г. – доктор биологических наук, заведующий лаборатории гидробиологии и экотоксикологии, РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, пр. аль-Фараби 93, Алматы, Казахстан, elena_krupa@mail.ru

Серикова А. С. – научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии, РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, пр. аль-Фараби 93, Алматы, Казахстан, serikova.aiz@mail.ru

Романова С. М. – география ғылымдарының докторы, «Зоология институты» ШЖҚ РМҚ гидробиология және экотоксикология зертханасының бас ғылыми қызметкері, әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, Қазақстан, sofiyarom@mail.ru

Крупа Е. Г. – биология ғылымдарының докторы, «Зоология институты» ШЖҚ РМҚ гидробиология және экотоксикология зертханасының меңгерушісі, әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, Қазақстан, elena_krupa@mail.ru

Серикова А. С. – «Зоология институты» ШЖҚ РМҚ гидробиология және экотоксикология зертханасының ғылыми қызметкері, әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, Қазақстан, serikova.aiz@mail.ru

Romanova S. – Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology», al-Farabi ave. 93, Almaty, Kazakhstan, sofiyarom@mail.ru

Krupa E. – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology», al-Farabi ave. 93, Almaty, Kazakhstan, elena_krupa@mail.ru

Serikova A. – Researcher at the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology», al-Farabi ave. 93, Almaty, Kazakhstan, serikova.aiz@mail.ru

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution

Романова С.М. - разработка концепции, проведение статистического анализа, проведения исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

Крупа Е.Г. - разработка методологии, ресурсы

Серикова А.С. - проведение исследования

Романова С.М. - тұжырымдаманы әзірлеу, статистикалық талдау жүргізу, зерттеу жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Крупа Е.Г. - әдістемені әзірлеу, ресурстар

Серикова А.С. - зерттеу жүргізу

Romanova S. - concept development, conducting statistical analysis, conducting a research, preparing and editing the text, visualization

Krupa E. - methodology development, resources

Serikova A. - conducting a research