

С.М. Романова* , А.С. Серикова , Р.Е. Махмұтова 

РГП «Институт зоологии» КН МНВО РК, Алматы, Казахстан

*e-mail: sofiyarom@mail.ru

РЕЖИМ И ДИНАМИКА ИОННО-СОЛЕВОГО СОСТАВА ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩА ТАСОТКЕЛЬ И ЕГО ПРИТОКОВ (2014–2023 гг.)

Приведены результаты многолетнего изменения минерализации и ионно-солевого состава воды одного из важнейших мелиоративных сооружений Казахстана – водохранилища Тасоткель на р. Шу, используемого в основном для орошения 42,1 тыс. га земель в Шуском и Мойынкүмском районах Жамбылской области. Рассмотрено влияние основных притоков (Карабалта, Аксу, Токтас) на формирование химического состава воды водохранилища.

Установлено, что в период с 2014 по 2023 гг. общая минерализация воды в водохранилище Тасоткель изменялась в пределах 289,3–714,2, составляя в среднем $556,9 \pm 11,0$ мг/дм³, и незначительно отличается от средней минерализации воды верхнего участка реки Шу $541,5 \pm 14,0$ мг/дм³. Более высокую минерализацию воды имеют притоки Карабалта $1316,9 \pm 50,9$ мг/дм³, Аксу $773,4 \pm 16,8$ мг/дм³ и Токтас $1050,0 \pm 38,0$ мг/дм³. В их ионном составе чаще преобладают сульфатные ионы и ионы натрия или магния. Во все сезоны года, кроме осеннего периода, вода водохранилища была карбонатно-кальциевого состава. Осенью вода водохранилища по классификации О.А. Алекина относилась к сульфатному классу, магниевой или натриевой группе второго типа. В этот период преобладающими солями становились $MgSO_4$ и Na_2SO_4 , привносимые притоками.

Выявлено, что в нижнем течении реки Шу (п. Конаев) зафиксировано увеличение минерализации воды на $80,1 \pm 13,4$ мг/дм³ по сравнению с верхним участком. В последние три года исследования (2021–2023 гг.) наблюдалось более высокое среднегодовое значение минерализации воды рек Сарыкау ($1204,6 \pm 54,7$), Карабалта ($1396,9 \pm 60,2$), Аксу ($812,3 \pm 23,2$) и Токтас ($1153,8 \pm 58,9$) по сравнению с предыдущими годами, соответственно, Сарыкау ($1114,0 \pm 203,4$), Карабалта ($1176,9 \pm 86,8$), Аксу ($725,2 \pm 21,2$) и Токтас ($925,0 \pm 49,5$).

Относительно низкая минерализация воды Тасоткельского водохранилища (меньше 1 г/дм³) и преобладание гидрокарбонатных солей кальция оказывает благоприятное мелиоративное влияние на солонцеватые и щелочные почвы района исследования. В случае использования воды рек Карабалта, Токтас и Шу для орошения или технических целей возможно образование твердых солей карбоната и сульфата кальция. Вероятность интенсивного осаждения этих солей увеличивается при нагревании воды, что может привести к образованию накипи и засорению технического оборудования.

Ключевые слова: Тасоткель, минерализация, ионно-солевой состав, гидрохимия, формирование химического состава воды, экология.

S.M. Romanova*, A.S. Serikova, R.E. Makhmutova

«Institute of Zoology», Almaty, Kazakhstan

*e-mail: sofiyarom@mail.ru

Regime and dynamics of the ion-salt composition of the Tasotkel reservoir and its tributaries (2014–2023)

This article examines the multi-year (2014–2023) changes in mineralization and the ionic-salt composition of one of Kazakhstan's most important reclamation structures the Tasotkel Reservoir on the Shu River. This reservoir serves as a primary water supply source for agriculture in the Shu and Moiynkum districts of the Zhambyl region and is used for irrigating 42.1 thousand hectares of land. The study analyzes the impact of the main tributaries (Karabalta, Aksu, and Toktas) on the formation of the reservoir's chemical composition.

Between 2014 and 2023, the mineralization of the Tasotkel Reservoir varied within 289,3–714,2, averaging $(556,9 \pm 11,0)$ mg/dm³, which is not significantly different from the average mineralization of the upper section of the Shu River $(541,5 \pm 14,0)$ mg/dm³. However, the high mineralization of the Karabalta $(1316,9 \pm 51,0)$, Aksu $(773,4 \pm 16,8)$, and Toktas $(1050,0 \pm 38,0)$ rivers did not have a significant impact on the overall salinity of the reservoir. Throughout all seasons except autumn, the reservoir water

was of a carbonate-calcium composition. During autumn, according to Alekin O.A.'s classification, the water belonged to the sulfate class and the magnesium or sodium group of the second type. During this period, MgSO_4 and Na_2SO_4 salts predominated, which was linked to the influence of the tributaries.

In the lower reaches of the Shu River (near Konaev settlement), an increase in water mineralization by $80,1 \pm 13,4 \text{ mg/dm}^3$ was recorded compared to the upper section. Over the last three years (2021–2023), the average annual mineralization of the Sarykau ($1204,6 \pm 54,7$), Karabalta ($1396,9 \pm 60,2$), Aksu ($812,3 \pm 23,2$), and Toktas ($1153,8 \pm 58,9$) rivers was higher compared to previous years: Sarykau ($1114,0 \pm 203,4$), Karabalta ($1176,9 \pm 86,8$), Aksu ($725,2 \pm 21,2$), and Toktas ($925,0 \pm 49,5$), respectively.

The relatively low mineralization of the Tasotkel Reservoir water (less than 1 g/dm^3) and the predominance of calcium bicarbonate have a beneficial reclamation effect on the saline and alkaline soils of the study area. However, using water from the Karabalta, Toktas, and Shu rivers for irrigation or technical purposes may lead to the formation of solid calcium carbonate and calcium sulfate salts. The likelihood of intensive precipitation of carbonate and sulfate salts increases when the water is heated, potentially leading to scale formation and clogging of technical equipment.

Keywords: Tasotkel, mineralization, ionic-salt composition, hydrochemistry, water chemical composition formation, ecology

С.М. Романова*, А.С. Серікова, Р.Е. Махмутова

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

*e-mail: sofiyarom@mail.ru

Тасөткел су қоймасы және оның салаларындағы судың иондық-тұздық құрамы режимі мен динамикасы (2014–2023 ж.)

Мақалада Қазақстандағы маңызды мелиорациялық нысандардың бірі – Жамбыл облысының Шу және Мойынқұм аудандарында ауыл шаруашылығын сумен қамтамасыз етуге арналған және 42,1 мың га жерді суаруға пайдаланылатын Шу өзеніндегі Тасөткел су қоймасының минерализациясы мен иондық-тұздық құрамының 2014–2023 жылдардағы өзгерістері зерттелді. Зерттеу барысында негізгі салалардың (Қарабалта, Ақсу, Тоқтас) су қоймасындағы химиялық құрамның қалыптасуына әсері қарастырылды.

2014–2023 жылдар аралығында Тасөткел су қоймасындағы судың минерализациясы $289,3$ – $714,2$, шегінде өзгеріп, орташа мәні ($556,9 \pm 11,0$) мг/дм^3 құрады, бұл Шу өзенінің жоғарғы ағысындағы орташа минерализациядан ($541,5 \pm 14,0$) мг/дм^3 айтарлықтай айырмашылығы жоқ. Алайда Қарабалта ($1316,9 \pm 51,0$), Ақсу ($773,4 \pm 16,8$) және Тоқтас ($1050,0 \pm 38,0$) өзендеріндегі судың жоғары минерализациясы су қоймасының жалпы тұздылығына айтарлықтай әсер етпеді. Күз мезгілінен басқа барлық маусымдарда су қоймасының суы карбонатты-кальцийлі құрамда болды. Ал күзде судың химиялық құрамы Алекин О.А. классификациясы бойынша сульфатты класқа, екінші типтің магний немесе натрий тобына жататыны анықталды. Бұл кезеңде MgSO_4 және Na_2SO_4 тұздары басым болды, бұл су қоймасына құятын өзендердің әсерімен байланысты.

Шу өзенінің төменгі ағысында (Қонаев кенті) судың минерализациясы жоғарғы ағысқа қарағанда $80,1 \pm 13,4 \text{ мг/дм}^3$ жоғары екені анықталды. Соңғы үш жылда (2021–2023 ж.) Сарықау ($1204,6 \pm 54,7$), Қарабалта ($1396,9 \pm 60,2$), Ақсу ($812,3 \pm 23,2$) және Тоқтас ($1153,8 \pm 58,9$) өзендеріндегі минерализацияның орташа жылдық мәні алдыңғы жылдармен салыстырғанда жоғары болды: сәйкесінше, Сарықау ($1114,0 \pm 203,4$), Қарабалта ($1176,9 \pm 86,8$), Ақсу ($725,2 \pm 21,2$) және Тоқтас ($925,0 \pm 49,5$).

Тасөткел су қоймасындағы судың салыстырмалы түрде төмен минерализациясы (1 г/дм^3 -ден төмен) және кальций гидрокарбонатының басым болуы зерттелген аймақтың сортаң және сілтілі топырақтарына жағымды мелиорациялық әсер етеді. Ал Қарабалта, Тоқтас және Шу өзендерінің суын суару немесе техникалық мақсаттарда пайдалану кезінде кальций карбонаты мен кальций сульфатының қатты тұздарының түзілуі мүмкін. Әсіресе, судың қыздырылуы карбонат пен сульфат тұздарының қарқынды шөгу ықтималдығын арттырып, бұл техникалық жабдықтардың бітелуіне және қақтың пайда болуына әкелуі мүмкін.

Түйін сөздер: Тасөткел, минерализация, иондық-тұздық құрам, гидрохимия, судың химиялық құрамының қалыптасуы, экология

Введение

Тасоткельское водохранилище, построенное на р. Шу, является основным водосборником и используется в основном для орошения 42,1 тыс.

га земель в Шуском и Мойынкумском районах Жамбылской области республики Казахстан. В настоящее время в Казахстане эрозии подверглось около 180 млн га земель, что составляет 60% территории страны. Из них 41% дегради-

ровало вследствие засоления (Esembekova & Esengeldieva, 2019; Kovda, 2008). В Жамбылской области подземные воды являются основным источником питьевого водоснабжения населения, тогда как поверхностные воды преимущественно используются для нужд сельского хозяйства.

Несмотря на наличие данных о составе воды реки Шу и подземных вод (Kaziev et al., 1971; Zaurbek, 2005; Starodubtsev & Truskavetskii, 2007; Kunshygar & Kulebaev, 2011; Klimenko et al., 2022), исследование формирования химического состава воды Тасоткельского водохранилища и его изменение в многолетнем цикле до сих пор не были полноценно изучены. В связи с этим актуальны исследования ионно-солевого состава Тасоткельского водохранилища и ее притоков.

В работе использованы основные гидрохимические показатели воды Тасоткельского водохранилища и ее притоков за период 2014–2023 гг., опубликованные в Информационных бюллетенях, а также каталожные сведения Казгидромета (Kazhydromet, 2014–2023).

Целью исследования является оценка сезонных и годовых изменений ионно-солевого состава воды водохранилища, а также влияние его притоков Аксу, Токтас, Карабалта и реки Шу на формирование качественного и количественного состава воды.

Тасоткель – одно из крупнейших водохранилищ в южной части Жамбылской области. Оно расположено на реке Шу, недалеко от границы с Кыргызстаном. Водохранилище было построено в 1963 году, а в 1974 году прошло реконструкцию и было повторно введено в эксплуатацию. Его общий объем составляет 620 млн м³, однако, согласно указанию областного комитета, из-за сейсмической опасности было разрешено наполнять водохранилище только до отметки 516,0 м, что соответствует объему 420 млн м³ (Krutov, 2020). Длина водохранилища составляет 18 км, максимальная ширина – 8,5 км, максимальная глубина – 23 м, средняя глубина – 8,1 м. Тасоткель является одним из важнейших мелиоративных сооружений Казахстана. Вдоль его берегов расположены различные природные станции и пастбища.

Река Шу протекает по территории Казахстана и Кыргызстана, охватывая Кордайский, Шуский, Мойынкумский и Сарысуский районы Жамбылской области. Она формируется в результате слияния рек Жуанарык и Кошкаркол, берущих начало с ледников Терской Алатау и

Киргизского хребта, и впадает в Ащыколь-Акжайкынскую впадину. Общая длина Шу составляет 1186 км, из которых 850 км проходят по территории Казахстана. Площадь водосборного бассейна – 200,36 тыс. км², из них 164,56 тыс. км² принадлежат Казахстану. У реки Шу около 80 притоков. В среднем течении ширина русла составляет 50–100 м, в нижнем – 40–60 м. Основные источники питания – ледниковые, снеговые, подземные и дождевые воды.

Река Карабалта расположена в долине Шу и протекает с юга на север вдоль уклона. Ее общая длина – 129 км, из которых 26 км находятся на территории Казахстана. Ширина русла составляет 4–6 м, на некоторых участках достигает 6–12 м. Глубина реки варьирует от 0,2 до 1,0 м, скорость течения – 0,5–2,0 м/с, площадь водосбора – 577 км². Основное питание реки обеспечивается ледниковыми и талыми снеговыми водами. Почвы вдоль реки сложены аллювиально-пролювиальными отложениями неоген-четвертичного возраста, состоящими из крупнозернистых песчано-глинистых пород (Samibaeva, 2018).

На территории Кыргызстана, в городе Карабалта, с 1955 года функционирует Кара-Балтинский горно-обогатительный комбинат, занимающий площадь 550 км².

Река Токтас (Токташ) протекает по территории Меркенского и Шуского районов. Ее общая длина составляет 115 км, из которых 32 км находятся в Казахстане, площадь водосбора – 660 км². Исток реки расположен на ледниках Киргизского хребта. В верхнем и среднем течении она протекает через крутые обрывистые ущелья. Питание реки осуществляется за счет снеговых, ледниковых и подземных вод. В зимний период (декабрь–февраль) русло замерзает. Берега реки используются как сенокосные угодья. Вода активно применяется для орошения сельскохозяйственных угодий.

Река Аксу – левый приток Шу, берет начало на северных склонах Киргизского хребта. Длина реки составляет 155 км, из них 20,09 км находится в Казахстане, площадь водосбора – 483 км². В бассейне реки насчитывается 5 малых притоков общей длиной 5 км и несколько небольших озер общей площадью более 4,2 км². Основное питание обеспечивается ледниковыми и снеговыми водами. Около 70% годового стока приходится на период с мая по июль. Вода пресная, средняя минерализация составляет 130–140 мг/дм³ (по данным 2003 года). Вода реки Аксу широко ис-

пользуется для орошения сельскохозяйственных угодий (Ayagan, 2003).

Река Сарыкау в пределах территории Кыргызстана называется Саргоу, однако информация о ней весьма ограничена. Основные гидрохимические показатели и расход воды приведены только Казгидрометом [7–8].

Территория Жамбылской области относится к зоне расположения Шу-Сарысуйского бассейна, который представляет собой крупную гидрогеологическую структуру, включающую пористые и пластовые подземные воды. Данный бассейн характеризуется мощными неоген-кайнозойскими рыхлыми отложениями. Основными источниками питания пресных и слабоминерализованных подземных вод являются Киргизский Алатау и хребет Каратау.

Общий расход подземных вод составляет 261,19 м³/с, из которых воды с минерализацией до 1 г/л – 172,84 м³/с, а воды с минерализацией от 1 до 3 г/л – 87,36 м³/с. Мухамеджановым М.А. установлено, что изменение климатических условий не оказало значительного влияния на формирование подземных водных ресурсов в данном регионе (Mukhamedzhanov & Tleuova, 2024).

Климат северных равнин и центральных долин засушливый. Летние месяцы очень жаркие, средняя температура в июле составляет 21–25°C, может достигать 45–48°C. Зимой в северной части средняя температура варьирует от –8 до –12°C, в южных районах – от –4 до –7°C.

Годовое количество осадков на равнине составляло 140–220 мм, в среднем 135 мм, а в предгорьях – 210–330 мм, в горных районах реки Шу – от 363 до 501 мм. При этом максимальные осадки приходятся на зиму и весну (Mustafaev et al., 2019).

В равнинных районах из-за сильных ветров и недостатка влаги испаряемость достигала 1000 мм. Наивысший уровень испарения наблюдался в июле, а самый низкий – в ноябре.

В горных районах Жамбылской области величина испаряемости изменялась в зависимости от абсолютной высоты: на высоте 2000–2500 м – 480–500 мм; на 3300 м – снижалась до 230–290 мм. В предгорных равнинах испаряемость варьировала в пределах 630–790 мм, в среднем составляла 570 мм (Batabergenova, 1978; Nekrasov, 1987).

В горных районах Киргизского хребта среднемноголетнее количество атмосферных

осадков изменялось в пределах 600–800 мм. В предгорных равнинах количество осадков за многолетний период варьировало от 129–240 мм до 555–610 мм, в среднем составляло 327–397 мм. Распределение осадков в течение года неравномерное, их наибольший объем приходился на теплый сезон, максимальное количество осадков выпадало в мае, а на высоте 2000 м – в июне-июле.

Формирование химического состава воды, разнообразие солевого состава и протекание процессов его формирования напрямую зависят от окружающей среды (климата, почвенного покрова, содержания и видов минералов в земной коре, донных отложений, цветения воды, морфометрических и гидрологических характеристик и др.). Для рек основными природными факторами являются объем воды и длина реки, а для водохранилищ – площадь, средняя и максимальная глубины, объем воды и приток рек. Влияют также и антропогенные факторы: регулирование речного стока, использование воды для орошения, поступление загрязняющих веществ в водные объекты и др.

В воде, как и в почве, встречаются различные соли NaCl, Na₂SO₄, NaHCO₃, MgCl₂, Mg(HCO₃)₂, CaSO₄, Ca(HCO₃)₂, но в разных соотношениях. В результате орошения, испарения и подъема грунтовых вод содержание этих солей в почве может увеличиваться. Хотя общее количество солей в почве может быть одинаковым, однако соотношение их качественного и количественного состава различается. Как правило, это напрямую связано с гипотетическим солевым составом как подземных, так и поверхностных вод, поступающих в почву. Высокая концентрация некоторых солей может выступать в качестве токсиканта для растений, негативно влияя на рост и урожайность солечувствительных культур (Mamontov et al., 2012).

Поскольку Тасоткельское водохранилище расположено в аридной зоне, с агрономической точки зрения важным показателем при его использовании для орошения является определение соотношения токсичных и нетоксичных солей в воде. Токсичность солей для растений изменяется в следующем порядке (Minashina, 1974): очень опасные – Na₂CO₃ > NaHCO₃ > NaCl; опасные – CaCl₂, MgCl₂, Na₂SO₄; малоопасные – MgSO₄, CaSO₄.

В этом отношении высокие концентрации натриевых солей (особенно Na₂CO₃ и NaHCO₃)

могут привести к засолению почвы и ухудшению её агрохимических свойств. Поэтому систематический анализ ионного состава воды, используемой для орошения, является важной задачей (Chowdary et al., 2005; Cruz et al., 2013).

Целью данного исследования являлось изучить основные гидрохимические показатели водохранилища Тасоткель и ее притоков в период 2014–2023 гг., провести анализ изменения ионно-солевого состава воды реки Шу до и после водохранилища в различные годы и сезоны. Исследование солевых взаимодействий в водных объектах, оценка качества воды, определение возможности осаждения карбоната и сульфата кальция в водохранилище позволяет дать рекомендации по использованию воды в ирригационных и технических целях.

Материалы и методы

Исследование проведено путем анализа первичных кадастровых и мониторинговых данных Казгидромета, собранных в 2014–2023 гг. [7–8]. Для оценки изменений физико-химических показателей воды рассматривались следующие параметры: температура, расход воды, водородный показатель (рН), содержание и насыщенность растворенным кислородом, концентрация главных ионов. Кроме того, для сравнительного анализа минерализации воды Тасоткельского водохранилища были использованы собствен-

ные данные авторов за июль 2004 и 2007 годов (Кгура, 2012).

Все водные объекты берут начало на территории Кыргызстана. Нами исследованы эти объекты на территории Казахстана: Тасоткельское водохранилище в Жамбылской области и реки, стабильно питающие его с юго-восточной стороны Аксу, Токташ, Карабалта, а также река Сарыкау, впадающая в р. Шу после водохранилища (Рис. 1). Гидропост верхнего течения реки Шу расположен в 2,8 км от границы Кыргызстана, вблизи села Кайнар, Кордайского района. Гидропосты рек Сарыкау, Токташ и Карабалта находятся в приграничной зоне, тогда как гидропост реки Аксу расположен в 16,09 км от границы Кыргызстана, ниже по течению от Аксуского водохранилища на 7,99 км, вблизи села Аксу. Гидропост нижнего течения реки Шу расположен в 47,65 км от Тасоткельского водохранилища, вблизи села Конаев. Полные данные исследуемых объектов приведены в таблице 1.

Классификация химического состава воды проведена по О.А. Алекину (Alekin, 1970). Оценка растворимости солей в воде осуществлялась путем расчета взаимодействий ионов. Использованы основные катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и анионы SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- . Для связывания ионов в гипотетические соли концентрация основных ионов воды должна быть выражена в ммоль/дм³ экв.).

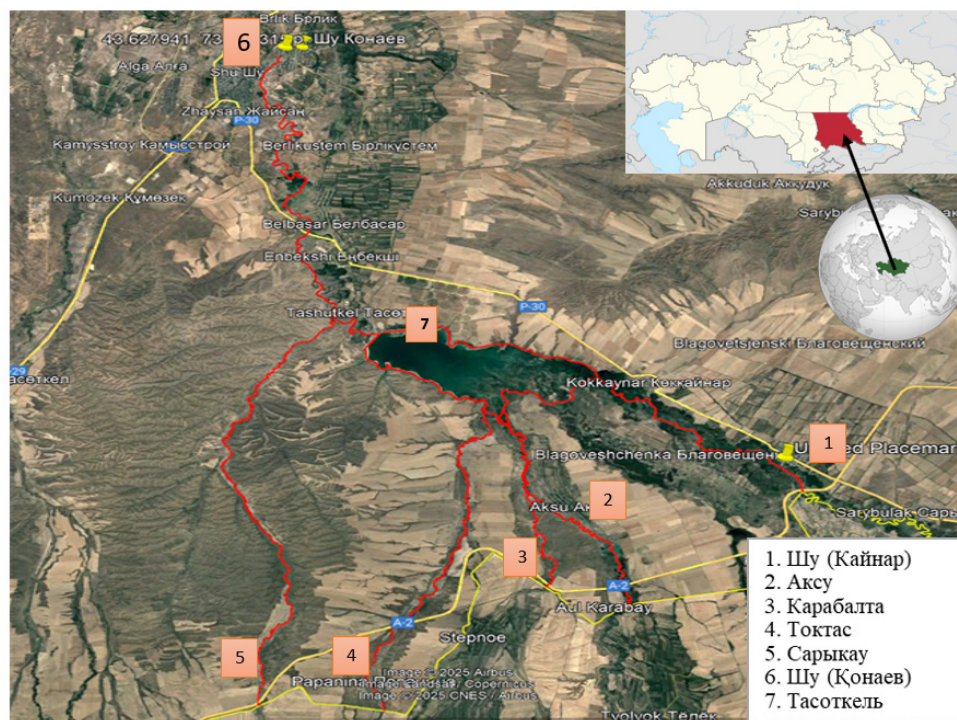
Таблица 1

Географические и гидрологические характеристики исследуемых объектов

объекты исследования	высота над уровнем море, м	координата		длина в части Казахстана, км	скорость течения, м/с	расход воды, м ³ /с	количество
		долгота	широта				
Шу (Кайнар)	526,32	43.291862	74.197591	30,00	1,28	70,0	62
Токтас	575,58	43.128624	73.879763	32,00	0,51	1,18	72
Аксу	530,10	43.250663	74.016463	20,09	1,50	14,2	65
Карабалта	546,41	43.224598	74.048832	26,46	1,06	0,45	66
Сарыкау	583,08	43.118456	73.798775	61,91	0,24	0,81	56
Шу (Конаев)	456,31	43.627941	73.811315	47,65	1,17	46,96	44
Тасоткель	499,00	43.383556	73.899202	18,00	нет данных	Нет данных	38

Рисунок 1

Схема Тасоткельского водохранилища и впадающих в него рек



Определение гипотетического солевого состава напрямую связано с растворимостью солей. Вначале связывали менее растворимые соли и далее соли с увеличивающейся растворимостью. В качестве примера рассмотрены данные по реке Токтас за октябрь 2022 года.

катионы, ммоль/дм ³ экв.		анионы, ммоль/дм ³ экв.	
Ca ²⁺	4,53	HCO ₃ ⁻	4,46
Mg ²⁺	6,87	SO ₄ ²⁻	9,24
Na ⁺ +K ⁺	3,44	Cl ⁻	1,14
Σ ^к	14,84	Σ ^а	14,84

При сложении величин сумма катионов равна сумме анионов. Далее, в соответствии с классификацией Левченко (Levchenko, 1953), на основе соединений солей в реке Токтас определяли их эквивалентные концентрации: Ca(HCO₃)₂ – 4,46; MgSO₄ – 6,87; Na₂SO₄ – 2,30; NaCl – 1,14; CaSO₄ – 0,07 ммоль/дм³ экв.

На основе эквивалентного состава рассчитывали абсолютное количество солей (в сумме должно быть 100 % экв.):

$$\text{Ca(HCO}_3)_2 - 4,46 * 81 = 361,26 \text{ мг/дм}^3 (30,04\% \text{ экв.);}$$

$$\text{MgSO}_4 - 6,87 * 60 = 410,40 \text{ мг/дм}^3 (46,27\% \text{ экв.);}$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 - 2,30 * 71 = 163,30 \text{ мг/дм}^3 (15,53\% \text{ экв.);}$$

$$\text{NaCl} - 1,14 * 58,5 = 66,69 \text{ мг/дм}^3 (7,67\% \text{ экв.);}$$

$$\text{CaSO}_4 - 0,07 * 68 = 4,76 \text{ мг/дм}^3 (0,49\% \text{ экв.).}$$

На основе полученных данных проводили анализ изменений ионно-солевого состава воды исследуемых объектов в различные сезоны 2014–2023 гг. Итак, в воде р. Токташ по показателям за октябрь 2022 года выявлены пять видов солей: гидрокарбонат кальция, сульфат магния, сульфат натрия, хлорид натрия и сульфат кальция. По классификации О.А. Алекина вода относилась к сульфатному классу, группе магния второго типа, индекс S^{Mg}_{II}.

Результаты и их обсуждение

Значения pH речных вод во всех водоемах варьировали в пределах 7,10–8,50. Это свидетельствовало о том, что вода во все сезоны года сохраняла стабильную, чаще слабо щелочную реакцию.

По показателям жесткости наибольшие значения в течение большей части года зафиксированы в реках: Карабалта (6,46–22,28 мг-экв/дм³), Сарыкау (6,00–18,22 мг-экв/дм³) и Токтас (5,76–15,09 мг-экв/дм³). Максимальная жесткость в реке Карабалта отмечена в летний период 2014–2020 гг., 14,0–22,3 мг-экв/дм³. Это связано со снижением уровня воды и повышением температуры. После 2020 года жесткость воды стабилизировалась в пределах 7,22–11,80 мг-экв/дм³. Таким образом, вода реки Карабалта характеризовалась высокой жесткостью, за исключением июля 2016 года, когда был зарегистрирован единственный случай умеренной жесткости 4,46 мг-экв/дм³. Вода рек Токтас и Сарыкау на протяжении всего года оставалась жесткой.

Общая жесткость воды реки Аксу варьировала от мягкой до умеренно жесткой, 4,04–10,59 мг-экв/дм³, составляя в среднем

7,63±0,15 мг-экв/дм³. Жесткость воды в реке Шу увеличивалась вниз по течению. В верхнем участке, в районе поселка Кайнар, значения варьировали от 3,8 до 7,2 мг-экв/дм³ (в среднем 5,48 мг-экв/дм³), тогда как в нижнем участке реки, на гидропосту Конаев, жесткость составляла 4,54–8,08 мг-экв/дм³ (в среднем 6,15 мг-экв/дм³). В водохранилище Тасоткель значения жесткости находились в пределах 2,35–6,47 мг-экв/дм³, в среднем 5,29 мг-экв/дм³. Жесткость воды в водохранилище Тасоткель мало отличалась от жесткости воды реки Шу, оставаясь в пределах средних величин.

По показателям насыщения воды кислородом все исследуемые объекты в течение года оставались в большинстве случаев очень чистыми или чистыми. Особенно высокое содержание кислорода наблюдалось в периоды низких температур воды (таблица 2).

Таблица 2

Предельные значения основных физических и гидрохимических показателей водных объектов за 2014–2023 гг.

Объекты исследования	t, °C	pH	O ₂	жесткость	минерализация
			мг/дм ³ % насыщение	мг-экв/дм ³ средние	мг/дм ³ средние
Тасоткель	2,0–28,0	7,40–8,40	<u>7,2–13,9</u> 58–113	<u>2,35–6,47</u> 5,29±0,12	<u>289,3–714,2</u> 556,9±11,0
Шу (Кайнар)	2,2–25,0	7,50–8,50	<u>8,1–12,4</u> 71–120	<u>3,80–7,20</u> 5,47±0,08	<u>408,9–994,8</u> 557,5±14,0
Аксу	1,4–29,2	7,10–8,50	<u>7,2–13,4</u> 69–104	<u>4,04–10,59</u> 7,63±0,15	<u>435,2–1244,5</u> 773,4±16,8
Карабалта	0,5–30,2	7,30–8,50	<u>6,5–14,0</u> 72–118	<u>4,64–22,28</u> 10,37±0,37	<u>539,0–2054,0</u> 1316,9±51,0
Токтас	0,6–30,2	7,20–8,50	<u>6,4–13,6</u> 74–115	<u>5,76–15,09</u> 9,52±0,24	<u>642,0–1959,0</u> 1050,0±38,0
Шу (Конаев)	1,6–25,2	7,50–8,50	<u>7,4–14,9</u> <u>58–103</u>	<u>4,34–8,01</u> 6,15±0,12	<u>447,2–897,8</u> 621,6±13,4
Сарыкау	1,0–31,2	7,80–8,35	<u>6,2–13,4</u> 73–135	<u>6,40–18,22</u> 10,19±0,30	<u>695,9–1796,4</u> 1156,0±34,6

В многолетнем цикле минерализация воды рек Токтас, Карабалта и Аксу колебалась в широких пределах от 435,2 до 2054,0 мг/дм³, то есть вода притоков изменялась от относительно повышенной солености до солоноватой. Минерализация воды реки Карабалта варьировала в пределах 539,0–2054,0 мг/дм³, в среднем составляла 1316,9±50,9 мг/дм³. В осеннее время года наблюдалось снижение градиента минерализации. В период с 2021 по 2023 год отмечалось заметное

увеличение минерализации в реках Токтас, Сарыкау, Карабалта и Аксу (рисунок 2).

Минерализация воды в водохранилище Тасоткель в 2014–2023 годах варьировала в пределах 289,3–714,2 мг/дм³, со средним значением 556,9±10,9 мг/дм³, причем наименьшее значение было отмечено зимой 2020 г. По более ранним данным (Кгура, 2012) в летние периоды 2002 г и 2007 г минерализация воды водохранилища не выходила за пределы 400,0 мг/дм³. За последние

десять лет минерализация воды в летнее время увеличилась в 1,42 раза.

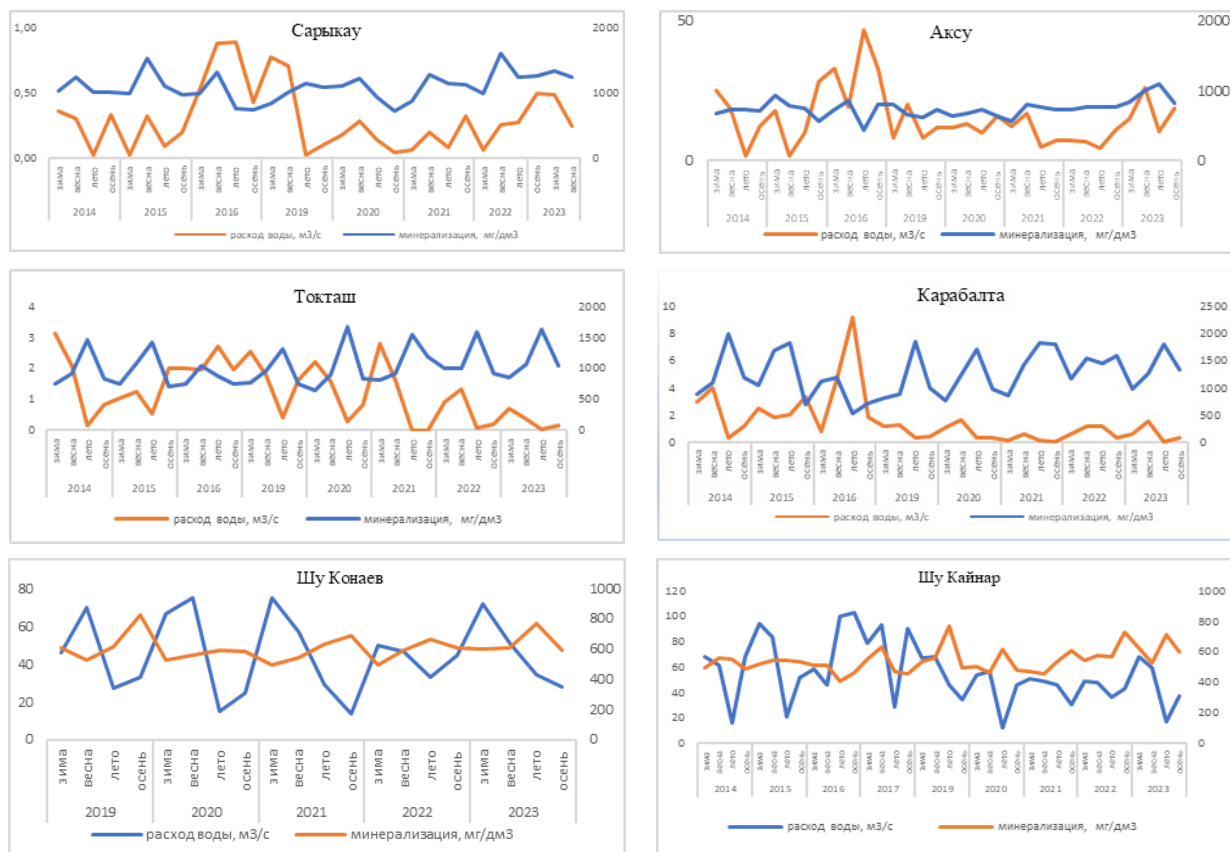
Минерализация воды в реке Шу и водохранилище Тасоткель имела близкие значения. Однако наблюдалось увеличение минерализации воды реки Шу на выходе из водохранилища. В исследуемый период было выявлено постепенное повышение минерализации вдоль течения реки, на 80,0 мг/дм³. Представляет интерес привести данные прежних лет за 1984–1992 гг. Так, в нижнем течении, в 0,3 км ниже села Уланбел, минерализация воды варьировала в пределах 684,0–6582,0 мг/дм³, при этом зафиксировано значительное увеличение концентрации хлорид-ионов. Одной из основных причин этого является то, что с территории Кыргызстана уже приходят воды после использования

в ирригационных целях [6, 24]. В районе города Токмак (Кыргызстан) минерализация воды в реке Шу имела относительно низкое значение (281,1 мг/дм³) (Matveeva et al., 2010).

Построение графиков зависимости общей минерализации от расхода воды рек позволило выявить следующее. Обычно при естественном режиме максимальное значение минерализации наблюдается при минимальном расходе воды. В нашем случае такая зависимость выявлена для рек: Токтас – в 12, Шу в 8, Карабалта, Аксу – в 7, Сарыкау – в 5 из 32 сезонов года, в основном в летне-осенний период (Рис. 2). В остальные сезоны многолетнего цикла режим рек, был нарушенный из-за хозяйственной деятельности. Отмечен рост минерализации по течению р. Шу.

Рисунок 2

Изменение общей минерализации и расходов воды рек в многолетнем цикле (2014–2023 гг.)



Согласно классификации А.О. Алекина в реках Карабалта и Сарыкау в течение года преобладает сульфатный класс воды. В реке Токтас сульфатные классы встречаются в 57 случаях из 72, а в реке Аксу – в 42 случаях из 65. Наличие карбонатных классов не зависит от времени года и изменений температуры воды, что объясняется поступлением карбонатных ионов за счет вымывания их из почв водосборного бассейна. В гидрохимии переход состава воды от карбонатного к сульфатному типу рассматривается как процесс метаморфизации химического состава, происходящий в прямом направлении (Valyashko et al., 1965; Beremzhanov, 1987; Nikanorov, 2011).

Воды Шу и Тасоткеля характеризовались преобладанием карбонатных ионов. Однако в 2019–2023 годах в районе поселка Конаев наблюдался переход состава воды от карбонатного к сульфатному классу, особенно в осенние и летние месяцы. В зимний период вода полностью относилась к карбонатному классу, второго типа.

Если минерализация воды водохранилища Тасоткель соответствовала показателям реки Шу в районе поселка Кайнар, однако по химическому составу вода характеризовалась поразному в течение годичного и многолетнего циклов. Индексы состава воды по Алекину О.А. встречались C_{II}^{Ca} , S_{II}^{Ca} , C_{II}^{Na} , C_{I}^{MgI} , S_{II}^{Na} , S_{II}^{CaNa} , S_{II}^{Mg} .

Так, в осенние периоды в воде Тасоткеля четко прослеживалась принадлежность сульфатного класса, что связано в определенной степени с влиянием состава воды рек Карабалта, Аксу и Токтас, в которой отмечено преобладание сульфатных ионов и ионов натрия или кальция (таблица 3). Вода р.Шу поступает в водохранилище чаще карбонатно-кальциевого состава (52 сезона из 62), а на выходе из водохранилища становится в большинстве случаев сульфатно-натриевой, кальциевой, магниевой (24 сезона из 44). Отмечено, что в воде р. Шу в районе поселка Конаев и водохранилища Тасоткель ионы SO_4^{2-} чаще встречались в летний период. Увеличение водного стока и объема воды в реках Карабалта, Токташ и Аксу, впадающих в водохранилище Тасоткель, а также снижение уровня воды в осенние месяцы приводило к увеличению доли ионов SO_4^{2-} и Na^+ по сравнению с другими сезонами.

В летний период, когда вода интенсивно использовалась для сельского хозяйства и уровень водоема и водотоков снижался, в воде преобладали ионы HCO_3^- , SO_4^{2-} и Mg^{2+} . Это связано с прямым влиянием рек Аксу, Карабалта и Токташ (Рис. 3). В зимние и весенние месяцы ионный состав воды водохранилища соответствовал реке Шу, в этот период преобладали ионы HCO_3^- и Ca^{2+} .

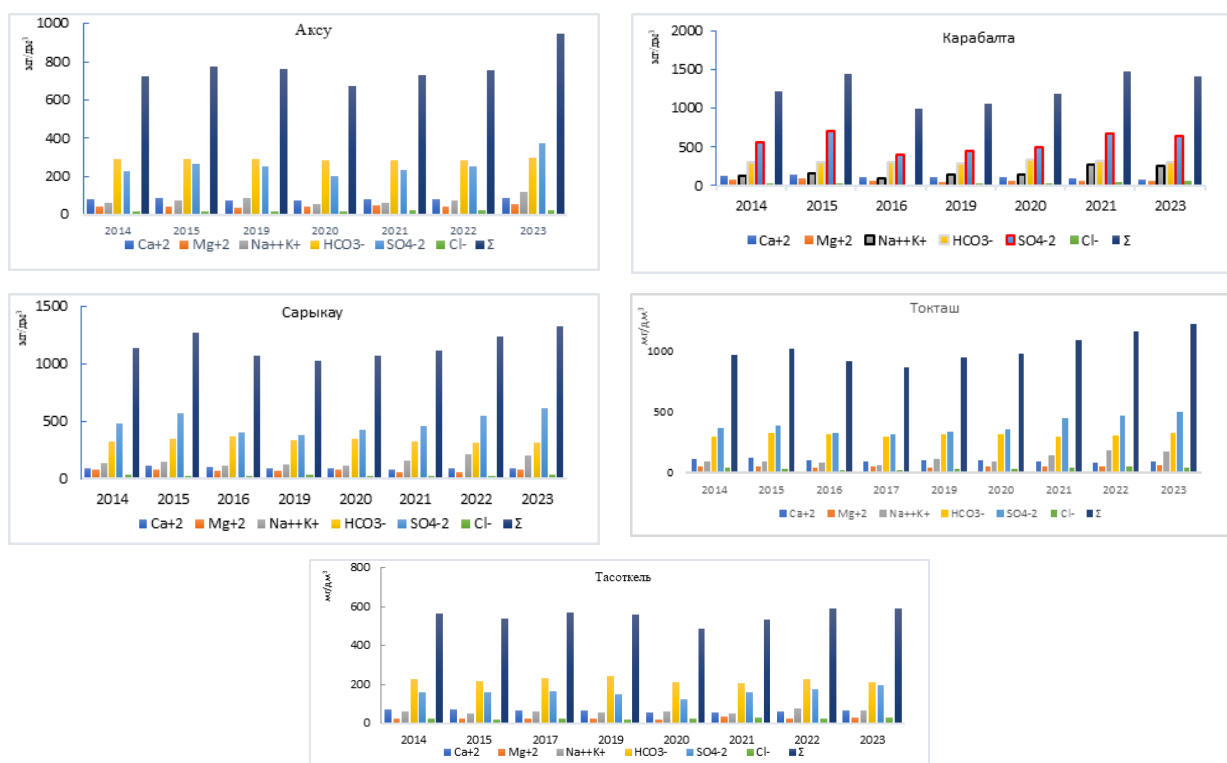
Таблица 3

Среднегодовы́е показатели ионного состава водохранилища Тасоткель и основных впадающих в него рек за 2014–2023 гг., мг/дм³

Объект	HCO_3^-	Na^++K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-
Тасоткель	218,7±5,8	60,1±3,5	64,0±1,6	25,3±1,1	163,6±6,7	25,0±1,4
Карабалта	306,1±6,5	207,6±16,1	102,7±3,3	64,8±2,9	604,4±29,7	41,0±3,0
Шу (Кайнар)	238,7±2,9	54,6±3,6	70,6±0,9	23,8±0,6	149,0±6,6	22,8±0,9
Аксу	288,6±3,5	80,3±4,7	80,7±1,5	44,5±1,3	266,7±10,2	21,8±1,5
Токтас	315,9±5,1	133,8±12,0	101,7±2,1	54,1±2,5	411,5±23,5	40,2±2,6
Шу (Конаев)	227,2±6,7	66,2±3,8	76,2±1,3	28,6±1,1	187,8±7,9	29,6±1,6
Сарыкау	332,8±6,8	154,9±10,4	92,4±2,4	68,1±2,6	489,5±21,9	26,9±2,1

Рисунок 3

Изменение минерализации и ионного состава воды Тасоткельского водохранилища и его притоков в многолетнем цикле, 2014–2023 гг.



Изменения в ионном составе воды можно оценить по значению коэффициентов сравнения. Так, показатель Mg^{2+}/Ca^{2+} в воде р. Шу за 2019–2023 гг. постоянно меньше 1, причем в верхнем участке у п. Кайнар меньше (0,56), чем в нижнем участке (0,63). Как правило, большему значению общей минерализации соответствует и большее значение этого показателя. В воде Тасоткельского водохранилища за этот период соотношение Mg^{2+}/Ca^{2+} становится равным 0,71, что свидетельствует о влиянии притоков Карабалта, Аксу и Токташ, где этот показатель, соответственно, 1,00; 0,091 и 0,89. Значения коэффициента $Mg^{2+}/Ca^{2+} > 1$ (1,04–1,58) выявлены в основном в осенне-зимний период 2014–2023 гг. за счет влияния грунтового питания и процессов, способствующих увеличению доли Mg^{2+} ионов в составе воды притоков.

Поскольку основным источником поступления сульфатов в воде, как полагает большинство исследователей, является гипс (а сульфаты натрия и магния появляются за счёт процессов катионного обмена), то в растворе он образует эквивалентное количество ионов

Ca^{2+} и SO_4^{2-} [22, 23, 29]. Кальций привносится также в воды при растворении карбонатных пород. Поэтому чаще всего в природных водах $C_{Ca^{2+}} > C_{SO_4^{2-}}$. Однако обратимся к нашим расчётам. С 2021 по 2023 гг вода Тасоткельского водохранилища характеризовалась коэффициентом Ca^{2+}/SO_4^{2-} равным 0,82–0,85, а в 2014–2020 гг – 0,96–1,08. Такое соотношение свидетельствовало о метаморфизации воды, связанной с обменом Ca^{2+} на другие ионы, например, Na^+ . Катионный обмен может быть изображён следующим уравнением реакции: $2Na(ПК) + CaSO_4 = Ca(ПК) + Na_2SO_4$, где ПК – поглощающий комплекс. Соотношение Ca^{2+}/SO_4^{2-} , равное 1, свидетельствовало о поступлении соответствующих ионов за счет растворения гипса. В воде притоков коэффициент Ca^{2+}/SO_4^{2-} постоянно меньше 1, который показывал возрастающую роль сульфатных ионов в формировании состава воды. Среднегодовые значения коэффициента Ca^{2+}/SO_4^{2-} в воде р. Шу в верхнем участке изменялись в пределах 0,96–1,33, чаще больше 1, а в нижнем участке – близки к единице. Это говорит о том, что в

нижнем участке р.Шу поступление ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в воду происходило в основном за счет гипса, а в верхнем участке – за счет вымывания кальция из гипса и известняка.

Коэффициент Na^+/Cl^- для всех объектов больше 1. Это свидетельствовало о том, что источником хлоридных ионов являлся не захороненный NaCl (в таком случае $C_{\text{Na}^+} = C_{\text{Cl}^-}$), а процесс выветривания полевых шпатов.

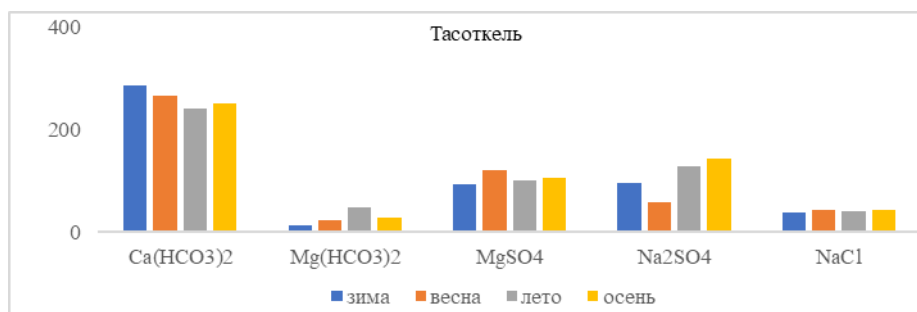
Коэффициент сравнения $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ позволяет судить о соотношении этих ионов. Расчёт пока-

зал, что в воде водохранилища и его притоков сульфаты преобладали, а хлориды имели подчинённое значение.

При расчёте гипотетического состава воды, то есть соотношения ионов, образующих стабильные соли при испарении воды, в водохранилище Тасоткель были выявлены основные соли: гидрокарбонаты кальция и магния, сульфаты магния и натрия, а также хлорид натрия. Опасные для почвы соли в больших количествах не зафиксированы (Рис. 4).

Рисунок 4

Показатели сезонных средних гипотетических изменений солевого состава водохранилища Тасоткель за 2014–2023 гг.



При упорядочивании среднегодовых показателей минеральных солей в порядке убывания в верхнем и нижнем течении реки Шу, а также в реках Аксу, Токтас и водохранилище Тасоткель среднегодовые значения были одинаковыми: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 > \text{MgSO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaCl} > \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 > \text{CaSO}_4$. В реках Сарыкау и Карабалта данный ряд определился следующим образом: $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgSO}_4 > \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 > \text{NaCl} > \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 > \text{CaSO}_4$.

Образование гипса отмечалось в воде рек Карабалта, Токтас и в нижнем течении реки Шу. При этом гипс (CaSO_4) был обнаружен в различные сезоны года. Так, в реке Карабалта гипс отмечался зимой (0,40 мг/дм³) и осенью (0,06 мг/дм³), в реке Токтас – весной (0,03 мг/дм³), а в нижнем течении реки Шу – во все сезоны, кроме зимы. В воде водохранилища Тасоткель, а также рек Шу (Кайнар), Аксу и Сарыкау наличие гипса не зафиксировано (таблица 4).

Таблица 4

Среднемноголетняя концентрация гипотетических солей за 2014–2023 гг.

Объект	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	MgSO_4	Na_2SO_4	NaCl	CaSO_4
	мг/дм³ / % экв.					
Шу (Кайнар)	285,01	27,84	94,15	106,07	37,22	0,00
	46,42	4,98	20,67	19,55	8,38	0,00
Карабалта	402,66	4,76	305,96	513,26	69,06	7,94
	27,28	0,36	27,59	37,91	6,22	0,64
Аксу	324,34	52,00	172,06	179,86	34,87	0,00
	37,45	6,69	26,70	23,60	5,56	0,00
Токтас	404,87	7,67	267,03	293,45	65,60	0,45
	35,11	0,79	30,41	26,28	7,36	0,05

Продолжение таблицы

Объект	Ca (HCO ₃) ₂	Mg (HCO ₃) ₂	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	NaCl	CaSO ₄
	мг/дм ³ / % экв.					
Тасоткель	260,79	28,00	105,13	106,26	41,28	0,00
	42,81	5,01	23,26	19,56	9,36	0,00
Сарыкау	370,86	61,62	280,72	377,63	44,12	0,00
	28,38	5,23	28,85	32,85	4,69	0,00
Шу (Конаев)	305,62	2,74	126,79	132,33	62,56	8,04
	42,21	0,42	23,47	20,75	11,88	1,27

Если рассматривать частоту встречаемости отдельных солей, то первые четыре соединения (Ca(HCO₃)₂, MgSO₄, Na₂SO₄, NaCl) выявлялись во все сезоны года. Однако частота встречаемости гидрокарбоната магния и сульфата кальция варьировала в зависимости от водоема или водотока. В Тасоткеле образование гипса наблюдалось осенью и зимой. В реке Карабалта в период 2014–2021 годов гипс встречался во все сезоны, однако в 2022 году был зафиксирован только в декабре, а в 2023 году – лишь в сентябре. В реке Токтас гипс присутствовал во все сезоны года (в 43 пробах воды из 72), тогда как в реке Сарыкау его встречаемость гораздо меньше, в 6 пробах воды из 56. В нижнем течении реки Шу гипс чаще всего появлялся летом и осенью, в отличие от верхнего участка. Хлорид магния был обнаружен в реке Карабалта в январе 2020 года, а в реке Токтас – осенью 2014 и 2023 годов.

Количество различных солей в речной воде изменялось не только в течение годового цикла, но и на протяжении многолетнего периода. Это связано с влиянием гидрологических факторов (расход воды, скорость течения, водный сток, попуски), поступлением солей с водосборного бассейна во время паводков, атмосферными осадками, а также физико-химическими процессами, происходящими в системе «вода–донные отложения – почва–растения».

В почвах бассейна реки Шу и ее водосборной территории минералы, содержащие сульфат натрия (глауберит, мирабилит) и сульфат магния (кизерит, эпсомит), встречаются крайне редко, а карбонаты кальция и магния, гипс более распространены (Chu Valley Soils, 1971; Seitkaziev & Maimakova, 2020; Mustafaev, 2023). В регионе найдены подземные воды различного химического состава, включая сульфатно-хлоридно-натриевые (Smolyar & Burov, 2002; Absametov et al., 2017; Tazhiyev, 2023). Кроме того, допол-

нительным источником поступления сульфатов натрия и калия могут являться вещества, применяемые в агротехнике возделывания сельскохозяйственных культур (удобрения, ядохимикаты, мелиоранты и др.) и вымываемые из почв водосборного бассейна.

Заключение

Анализ изменений показателей состава воды в 2014–2023 годах показал, что уровень pH во всех исследуемых водных объектах оставался стабильным на протяжении года и колебался от нейтральных до слегка щелочных значений (7,10–8,40). Жесткость воды в водохранилище Тасоткель и реки Шу средняя, соответственно, 5,29±0,12 и 5,47±0,08 мг-экв/дм³. Реки Карабалта, Сарыкау и Токтас чаще имели очень жесткую воду, до 15,09–22,28 мг-экв/дм³.

Среднегодолетний уровень минерализации водохранилища Тасоткель составил 556,9±10,9 мг/дм³. Выявлено влияние рек Токтас, Карабалта и Аксу на ионно-солевой состав и минерализацию воды Тасоткеля. В осенний период, когда объем воды рек увеличивался, вода водохранилища Тасоткель относилась к сульфатному классу, а в остальные сезоны года класс сохранялся карбонатно-кальциевым. Это свидетельствовало о том, что влияние впадающих в него рек проявлялось в основном в периоды повышения их водности. Осенью объем водохранилища Тасоткель достигал минимального уровня. По течению р. Шу минерализация повышалась в среднем на 80,0 мг/дм³, что вызвано влиянием более минерализованной воды впадающей в нее реки Сарыкау.

Рассчитанные коэффициенты сравнения свидетельствовали об изменениях ионного состава воды во всех изученных объектах. Так, значения коэффициента Ca²⁺/SO₄²⁻ изменялись от < 1 до

> 1 , что свидетельствовало о метаморфизации воды, связанной с обменом Ca^{2+} на другие ионы, например, Na^+ . Большому значению показателя $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ соответствовало большее значение общей минерализации.

В порядке убывания среднегодового содержания минеральные соли в воде рек Шу, Аксу, Токтас и водохранилища Тасоткель располагались в следующий ряд: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 > \text{MgSO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaCl} > \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 > \text{CaSO}_4$. В реках Сарыкау и Карабалта данный ряд определился следующим образом: $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgSO}_4 > \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 > \text{NaCl} > \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 > \text{CaSO}_4$.

Содержание солей в воде рек Токтас, Карабалта, Аксу и Сарыкау в большинстве случаев превышало 1 г/л, что является неблагоприятным фактором при использовании на орошение. Преобладание сульфатов натрия и магния в воде рек Сарыкау и Карабалта может привести к образованию солейотложений при техническом и бытовом использовании воды.

Бассейн реки Шу расположен в зоне бурых, серо-бурых и такырных почв, что делает этот регион предрасположенным к засолению. Однако высокое содержание гидрокарбоната кальция, наличие гипса и низкий уровень минерализации

воды р. Шу оказывают положительное влияние на состояние почвы.

Благодарности

Мы признательны РГП «Казгидромет» за поддержку в предоставлении гидрохимических данных.

Исследование выполнено в рамках проекта BR24993060 «Разработка информационной системы для ведения кадастра диких животных Западного Тянь-Шаня с целью их сохранения и устойчивого использования». Проект поддержан Министерством науки и высшего образования Комитетом науки Республики Казахстан.

Вклад авторов

Романова С.М.: разработка концепции, методология, научное руководство, управление проектом, редактирование и доработка рукописи.

Серикова А.С.: проведение исследования, сбор и обработка данных, валидация данных

Махмудова Р.Е.: проведение исследования, сбор и обработка данных, валидация данных

Литература

- Absametov, M. K., Mukhamedzhanov, M. A., Sydykov, Zh. S., & Murtazin, E. Zh. (2017). *Podzemnye vody Kazakhstana – strategicheskii resurs vodnoi bezopasnosti*.
- Alekin, O. A. (1970). *Osnovy gidrokhimii*. Gidrometeoizdat.
- Ayagan, B. G. (Ed.). (2003). *Taraz. Zhambyl oblysy: Entsiklopediya*. Kazak Entsiklopediyasy.
- Batabergenova, M. Sh. (1978). *Gidrogeologicheskie usloviya i formirovanie podzemnykh vod...* (Abstract of candidate dissertation).
- Beremzhanov, B. A. (1987). *Khimiya prirodnnykh solei*. Mektep.
- Chowdary, V. M., Rao, N. H., & Sarma, P. B. S. (2005). Decision support framework for assessment of non-point-source pollution of groundwater in large irrigation projects. *Agricultural Water Management*, 75(3), 194–225.
- Cruz, J. V., Dias, M. I., Silva, M. O., & Prudencio, M. I. (2013). Groundwater composition and pollution due to agricultural practices. *Applied Geochemistry*, 29, 162–173.
- Esembekova, G. B., & Esengeldieva, L. K. (2019). *Vodnyi i solevoi rezhim serozemnykh pochv yuga Kazakhstana*. Yuzhno-Kazakhstanskii gosudarstvennyi universitet im. M. Auezova.
- Kadyrov, V. K., Pirmatov, A., & Karmanchuk, A. S. (1985). Osnovnye rezultaty gidrokhimicheskikh issledovaniy. In *Kompleksnaya avtomatizatsiya meliorativnykh sistem* (pp. 117–123).
- Kazhydromet. (2014–2023). *Gosudarstvennyi vodnyi kadastr Respubliki Kazakhstan. Poverkhnostnye vody sushy*.
- Kazhydromet. (2014–2023). *Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy*.
- Kaziev, K., Pak, L., Chernova, A., & Lubyanykh, N. (1971). Vliyanie khimicheskogo sostava stochnykh vod g. Frunze na kachestvo vody r. Chu i perspektivy ikh ispol'zovaniya. *Voprosy vodnogo khozyaistva*, 20, 82–86.
- Klimenko, O. E., Yevtushenko, A. P., & Klimenko, N. I. (2022). Changes in salt composition of soils under irrigation with brackish water in the steppe Crimea. *Eurasian Soil Science*, 55(12), 1829–1841.
- Kovda, V. A. (2008). *Problemy opustynivaniya i zasoleniya pochv aridnykh regionov mira*. Nauka.
- Krupa, E. G. (2012). *Zooplankton limnicheskikh i loticheskikh ekosistem Kazakhstana*. Palmarium Academic Publishing.
- Krutov, D. A. (2020). Seismousilenie gruntovoi plotiny: Proekt i raschetnoe obosnovanie. *Prirodoobustroistvo*, 1, 79–88.
- Kunshygar, D. Zh., & Kulebaev, K. M. (2011). Gidrokimiya rek Shu, Talas, Asy. *Geografiya i vodnye resursy*, 2, 42–46.
- Levchenko, V. M. (1953). O klassifikatsii prirodnnykh vod. *Gidrokhimicheskie materialy*, 21, 16–18.
- Mamontov, V. G., Gladkov, A. A., & Kuzelev, M. M. (2012). *Prakticheskoe rukovodstvo po khimii pochv*. RGAU–MSKhA.

- Matveeva, I. V., Uralbekov, B. M., Abishev, T. B., Al'kenova, G. T., & Burkitbaev, M. M. (2010). Khimicheskaya kharakteristika prirodnikh vod doliny reki Shu. *Vestnik KazNU. Seriya khimicheskaya*, 2(58), 238–244.
- Minashina, N. G. (1974). *Oroshaemye pochvy pustyni i ikh melioratsiya*. Kolos.
- Mukhamedzhanov, M. A., & Tleuova, Zh. T. (2024). Ekologicheskie problemy i zagryaznenie pit'evykh podzemnykh vod Yuzhnogo Kazakhstana. *Vodnye resursy*, 28.
- Mustafaev, Zh. (2023). Landshaftno-ekologicheskoe raionirovanie basseina reki Shu. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 4, 17–28.
- Mustafaev, Zh. S., Kozykeeva, A. T., & Kamaliev, A. M. (2019). Klimaticheskii profil' vodosbornogo basseina reki Shu. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2(93), 41–54.
- Nekrasov, B. A. (1987). *Formirovanie ekspluatatsionnykh zapasov podzemnykh vod...* (Abstract of candidate dissertation).
- Nikanorov, A. M. (2008). *Gidrokimiya* (3rd ed.). Gidrometeoizdat.
- Nikanorov, A. M. (2011). *Regional'naya gidrokimiya*. NOK.
- Pochvy doliny Chu*. (1971).
- Samibaeva, A. Zh. (2018). Georiski basseina reki Kara-Balta Kirgizstana. *Nauka, novye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana*, 3, 85–88.
- Seitkaziev, A. S., & Maimakova, A. K. (2020). Ekologicheskaya otsenka serozemnykh pochv. *Vestnik Universiteta Shakarima*, 3(91), 281–285.
- Smolyar, V. A., & Burov, B. V. (2002). *Vodnye resursy Kazakhstana*. Fylym.
- Starodubtsev, V. M., & Truskavetskii, S. R. (2007). Degradatsiya pochv v del'takh rek. *Problemy osvoeniya pustyn'*, 26–29.
- Tazhiyev, S. R. (2023). *Resursy podzemnykh vod Kazakhstanskoi chasti predgorii Kirgizskogo Alatau* (Doctoral dissertation).
- Valyashko, M. G., Polivanova, A. I., Zherebtsova, I. K., & Metkikh, B. I. (1965). *Geokhimiya i genezis rassolov*. Nauka.
- Zaurbek, A. K. (2005). Vodnyi balans prirodookhrannykh popuskov r. Shu. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 1, 88–93.

Сведения об авторах:

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

А.С. Серикова – младший научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: aizada.serikova@zool.kz).

Р.Е. Махмутова – младший научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: rabat.makhutova@zool.kz).

Information about authors:

S. Romanova – Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: sofiyarom@mail.ru).

A. Serikova – Junior researcher at the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aizada.serikova@zool.kz).

R.E. Makhmutova – junior researcher at the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: rabat.makhutova@zool.kz).

Авторлар туралы мәлімет:

С.М. Романова – география ғылымдарының докторы, ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: sofiyarom@mail.ru).

А.С. Серикова – ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: aizada.serikova@zool.kz).

Р.Е. Махмутова – ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: rabat.makhutova@zool.kz).

Поступила 13 февраля 2025 года

Принята 25 марта 2026 года