

С.М. Романова<sup>1\*</sup>, А.С. Серикова<sup>1</sup>,  
Р.Е. Махмутова<sup>1</sup>, Е.Г. Крупа<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>РГП «Институт зоологии» КН МНВО РК, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахстанское агентство прикладной экологии, Алматы, Казахстан

\*e-mail: sofiyaram@mail.ru

## ИЗМЕНЕНИЕ ИОННО-СОЛЕВОГО СОСТАВА ВОДЫ РЕКИ ШУ (КАЗАХСТАНСКАЯ ЧАСТЬ) В МНОГОЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ

Приведены материалы исследования ионно-солевого состава воды по течению р. Шу в пунктах п. Кайнар и п. Конаева Жамбылской области за многолетний период (2014...2023 гг.). Установлено, что ионный состав воды верхнего участка р. Шу (п. Кайнар) характеризовался относительно устойчивым гидрокарбонатно-кальциевым составом, вследствие вымывания их из карбонатных пород, распространённых в водосборном бассейне.

Солевой гипотетический состав воды р. Шу (п. Кайнар) представлен шестью солями:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  (22,1...59,2),  $\text{MgSO}_4$  (6,7...41,1),  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (0,8...55,4),  $\text{NaCl}$  (3,3...17,9),  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  (0,0...16,5) и  $\text{CaSO}_4$  (0,0...10,2% эквивалентов от общей суммы солей). Пределы изменения общей минерализации воды р. Шу (п. Конаева) в 2019...2023 гг. составляли 447,2...897,8 мг/дм<sup>3</sup>, что превышает ее максимальные значения за эти же годы в п. Кайнар на 38,5...282,5 мг/дм<sup>3</sup>. Вода здесь чаще слабощелочная средней жесткости. В ионном составе преобладают сульфат- и кальций или натрий ионы. В солевом составе воды р. Шу (п. Конаева) кроме вышеприведённых солей появляется хлорид магния, что привело к протеканию процессов метаморфизации в прямом направлении.

При использовании шуйской воды на орошение или в технических целях возможно образование твёрдых солей карбоната кальция и сульфата кальция. Для солонцеватых почв, такыров речного бассейна такие соли окажут мелиорирующее влияние, а при нагревании весьма вероятна активизация выпадения карбонатов и сульфатов кальция в техническом оборудовании.

**Ключевые слова:** ионный и солевой состав, минерализация, жёсткость, гидрохимия, экология.

S.M. Romanova<sup>1\*</sup>, A.S. Serikova<sup>1</sup>, R.E. Makhmutova<sup>1</sup>, E.G. Krupa<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>"Institute of Zoology" Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup> Kazakhstan Agency of Applied Ecology, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: sofiyaram@mail.ru

### Changes in the ion-salt composition of the Shu river water (Kazakhstan part) in the long-term cycle

The materials of a study of the ion-salt composition of water along the Shu River in the village of Kainar and village of Konaeva, Zhambyl region, over a long-term period (2014...2023) are presented. It was found that the ionic composition of the water in the upper section of the Shu River (Kainar village) was characterized by a relatively stable bicarbonate-calcium composition, due to their leaching from carbonate rocks common in the drainage basin.

The hypothetical salt composition of the water of the Shu River (Kainar village) is represented by six salts:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  (22,1...59,2),  $\text{MgSO}_4$  (6,7...41,1),  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (0,8...55,4),  $\text{NaCl}$  (3,3...17,9),  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  (0,0...16,5) and  $\text{CaSO}_4$  (0,0...10,2 % equivalents of the total amount of salts). The limits of changes in the total salinity of the Shu River (Konaeva village) in 2019...2023 were 447,2...897,8 mg/dm<sup>3</sup>, which exceeds its maximum values for the same years in Kainar village by 38,5...282,5 mg/dm<sup>3</sup>. The water here is more often slightly alkaline of medium hardness. The ionic composition is dominated by sulfate and calcium or sodium ions. In addition to the above salts, magnesium chloride appears in the salt composition of the Shu River (Konaeva village), which led to the processes of metamorphosis in the forward direction.

When using Shu water for irrigation or for technical purposes, the formation of solid salts of calcium carbonate and calcium sulfate is possible. For brackish soils, such as those of the river basin, such salts will have a reclamation effect, and when heated, the precipitation of calcium carbonates and sulfates in technical equipment is very likely to intensify.

**Keywords:** ионный и солевой состав, минерализация, жёсткость, гидрохимия, экология.

С.М. Романова<sup>1\*</sup>, А.С. Серікова<sup>1</sup>, Р.Е. Махмутова<sup>1</sup>, Е.Г. Крупа<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>КР ФЖБМ ФК «Зоология институты» ШЖК РМК, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Қазақстан қолданбалы экология агенттігі, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: sofiyaram@mail.ru

## Көпжылдық көрсеткіштер бойынша Қазақстан бөлігіндегі Шу өзенінің иондық-тұздық құрамының өзгеруі

Мақалада Жамбыл облысы Қайнар кенті мен Қонаев кенті пункттерінде (2014...2023 жж.) Шу өзенінің ағысы бойынша судың иондық-тұздық құрамын зерттеу материалдары келтірілген. Шу өзенінің (Қайнар кенті) жоғарғы бөлігіндегі судың иондық құрамы салыстырмалы түрде тұрақты гидрокарбонат-кальций құрамымен сипатталады негізгі себептердің бірі дренажды бас-сейнде таралған карбонатты жыныстармен шайылуы нәтижесінде.

Шу өзенінде (Қайнар) судың тұздық гипотетикалық құрамы алты түрлі байланыспен ұсынылған:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  (22,1...59,2),  $\text{MgSO}_4$  (6,7...41,1),  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (0,8...55,4),  $\text{NaCl}$  (3,3...17,9),  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  (0,0...16,5) және  $\text{CaSO}_4$  (0,0...10,2% тұздардың жалпы сомасынан эквиваленттері). 2019 жылды Шу (Қонаев) сұзының жалпы минералдануының өзгеру шегі 2014..2023 жылдар аралығында 447,2...897,8 мг/дм<sup>3</sup> болды, бұл Қайнар кентіндегі осы жылдардағы ең жоғары мәндерінен 38,5...282,5 мг/дм<sup>3</sup> асып түсті. Мұндағы су көбінесе сілтілі және сәл сілтілі, орташа көрмектілікке ие. Иондық құрамда сульфат пен кальций немесе натрий иондары басым. Судың тұзды құрамындағы р. Шу (Қонаев) жоғарыда аталған тұздардан басқа магний хлориді пайда болады, бұл метаморфизация процестерінің тікелей бағытта жүруіне әкелді.

Шу өзені сұзын суару үшін немесе техникалық мақсатта пайдаланған кезде кальций карбонаты мен кальций сульфатының қатты тұздары пайда болуы мүмкін. Тақыр және тұзды топырақтар үшін мұндай тұздар қалпына келтіретін әсер етеді, ал техникалық мақсаттарға қолдану барысында суды қыздырған кезде карбонаттар мен кальций сульфаттарының тұңбаға түсін белсендіруі мүмкін.

**Түйін сөздер:** иондық, және тұздық құрам, минералдану, көрмектілік, гидрохимия, экология.

### Введение

Природные воды по существу являются растворами природных соединений, поэтому они рассматриваются как природные равновесные физико-химические экосистемы, состоящие из воды и растворенных в ней веществ. К ним применимы законы и теории растворов и индивидуальных веществ. Состав природных вод аридных и гумидных областей отражает физико-химические условия их происхождения и существования в окружающей среде. Процессы образования и накопления солей достаточно хорошо изучены для рапных озер (Гроховский Л. М., 1972; Посохов Е.В., 1955; Никольская Ю.П., 1961; Замана Л.В., 2010; Колпакова М.Н. и др., 2015). Однако для речных вод, имеющих малую или среднюю минерализацию, эти процессы освещены недостаточно, а для р. Шу такие исследования ранее не проводились. По мнению авторов настоящего сообщения процессы образования солей, в частности, карбонатов, сульфатов щелочноземельных металлов протекают не только в минерализованных водах озер, но и в речных мало-минерализованных водах с меньшей скоростью (Беремжанов Б.А., 1968; Романова С.М., 2004).

На формирование химического состава воды рек, протекание процессов образования солей

в них влияют естественные (климат, почвы водохранилища, донные отложения, растительность, морфометрические и гидрологические характеристики, в первую очередь малая водность, протяженность) и антропогенные факторы (зарегулирование стока реки, использование воды на орошение, поступление сбросных вод и др.).

Река Шу относится к бассейну Аральского моря, имеет длину 1067 км, протекает по территории двух Республик Кыргызстан и Казахстан, где площадь бассейна реки составляет 200,36 тыс. км<sup>2</sup>, из них 164,56 тыс. км<sup>2</sup> ... на территории Казахстана (Мустафаев Ж.С. и др., 2014).

Шу образуется от слияния рек Кочкор и Джуванарык в горных системах Тянь-Шаня. Имеет сток в Иссык-Кульской котловине, Чуйской долине, далее пересекает пустыню Муонкум и теряется во впадине Ащиколь. Средний расход воды около 70 м<sup>3</sup>/с, которая используется в основном для орошения сельскохозяйственных угодий. На реке Шу построены 2 водохранилища (Ортотокойское в Киргизии и Тасоткельское в Казахстане) и другие ирригационные сооружения. Основные притоки: справа Чон-Кемин, Ыргайты, Какпатас; слева Аламедин, Аксу, Курагаты. Река Шу относится к Шу-Талассской природно-хозяйственной системе. По показа-

телям водного стресса, определяемого как доля ежегодно используемых запасов воды в стране на общественные нужды (для бассейновой Шу-Таласской ПХС они составляют 4,1 км<sup>3</sup>/год) от количества возобновляемых водных ресурсов среднемноголетнего значения речного стока (4,2 км<sup>3</sup>/год), данная система относится к категории чрезвычайно высокого уровня водного стресса (Толеубаева Л.С., 2008). Численность населения в бассейне р. Шу составляет 1,4 млн. человек. В бассейне р. Шу (в среднем течении) под сельскохозяйственными угодьями занято около 78 % площади земель от общей площади орошаемых земель 473,4 тыс. га. А в верховье р. Шу сосредоточено 33,1 тыс. га орошаемых земель и лишь 5,2 тыс. га в ее низовье.

Основная часть исследуемой территории (73 %) лежит в зоне пустынь и полупустынь, отроги горных систем Тянь-Шаня занимают около 14 %. Предгорная степная часть, занимающая 13% территории Жамбылской области, активно используется в сельскохозяйственных целях. Шу-Таласский гидрографический бассейн расположен, в основном, на территории Жамбылской области и частично в Южно Казахстанской области (Созакский район). Общая площадь Шу-Таласского и Асинского гидрографического бассейна составляет 186,79 тыс. км<sup>2</sup>, или 6,8 % площади республики. В гидрографическом бассейне имеются 3 крупные реки (Шу, Талас и Асы), 242 малые реки (в том числе в бассейне р. Шу 158), 35 озер, 3 крупных водохранилища комплексного назначения (Тасоткельское на реке Шу с проектной емкостью 620,0 млн. м<sup>3</sup>, Терс-Ачибулакское на р. Терс, одной из основных притоков р. Асы 158,0 млн. м<sup>3</sup> и Ынталынское на р. Шабакты бассейна р. Асы ... 30,0 млн. м<sup>3</sup>), 38 малых водохранилищ емкостью от 1 до 10 млн. м<sup>3</sup> (суммарной емкостью 130,6 млн. м<sup>3</sup>), 164 копани и прудов (с суммарной емкостью 72,2 млн. м<sup>3</sup>). Следует отметить, что Жамбылская область находится в условиях лимитированного водопользования, когда около 80 % водных ресурсов поступает из сопредельной Кыргызской Республики (Ибраев Т.Т., 2006).

Территория исследуемого региона расположена в четырех агроклиматических зонах. Северная часть бассейна реки Шу расположена в очень сухой и жаркой пустынной местности (Мойынкумы), центральная и южная часть в сухой и жаркой и в очень сухой зоне предгорий.

В низовьях рек Шу и Таласа, а также в понижениях рельефа пустынь распространены

такырные почвы и такыры. Для пустынь характерны серо-бурые почвы, рыхло песчаные и песчаные сероземы, для предгорий сероземы (Салихов Т.К., 2021). Ландшафтное разнообразие и климатические особенности территории определяют видовой состав и распределение животного и растительного мира. Характерными особенностями климата являются обилие солнца, засушливость и континентальность. Мустафаев Ж.С. с соавторами на основе многолетних информационно-аналитических материалов (1930...2017 гг.) о среднегодовых температурах воздуха и осадках изучили тенденцию изменения климата водосборного бассейна р. Шу (Мустафаев Ж.С. и др., 2019). В частности, показано, что среднегодовая температура воздуха постепенно повышается, а годовые атмосферные осадки уменьшаются. Данный факт в ближайшее время может привести к усилению аридизации климата региона.

Исследуемая территория богата минерально-сырьевыми ресурсами. Так, в Жамбылской области выявлены и разведаны значительные запасы полезных ископаемых: фосфориты, цветные металлы, руды черных металлов, минеральные соли, топливное сырье, разнообразные строительные материалы (строительные и отделочные камни, песчано-гравийный материал, карбонатные породы, гипс и др.).

В связи с вышеизложенным целью работы являлось исследовать современный ионный и солевой (гипотетический) состав воды р. Шу (в пределах Казахстана) в различные сезоны многолетнего цикла (2014...2023 гг.). Полученные данные будут полезны для составления солевого баланса реки, оценки качества воды, для учета возможного осаждения карбоната и сульфата кальция из речной воды при использовании на орошение или в технических целях.

## Материалы и методы

Материалом исследования послужили кадастровые и мониторинговые данные РГП «Казгидромет» за период 2014...2023 гг. (Информационный бюллетень Казгидромет, 2014...2023; Государственный водный кадастр, Казгидромет, 2014...2023 гг.) и экспедиционные материалы авторов предыдущих лет (1972, 1984...1985 гг.) (Беремжанов Б.А. и др., 1973; Романова С.М. и др., 1986).

Для исследования были выбраны 2 участка по течению р. Шу в Жамбылской области: гидропост п. Кайнар, находящийся на

границе с Кыргызстаном (Кордайский район, координаты 43.291862...74.197591) (рисунок 1). Далее по течению реки Шу находится второй гидропост у с. Конаева (Шуский район, координаты 43.627941...73.811315). На этом участке вода р. Шу несет свои воды, вытекая из Тасоткельско-

го водохранилища, в которой смешивается вода впадающих притоков (реки Аксу, Токташ, Кара-балта) и самого водохранилища. Исследование гидрохимии Тасоткельского водохранилища представляет самостоятельный интерес и в данной статье не рассматривается.



Рисунок 1 – Карта бассейна р. Шу в пределах Жамбылской области  
(Тажиев С.Р., 2023)

Для определения растворенных солей нами были использованы концентрации главных ионов. Способ определения гипотетических солей основан на их растворимости, с первую очередь связываются менее растворимые (Никаноров А.М., 2008; Волков А.И. и Жарский И.М., 2005). Поясним на примере среднегодового химического состава воды р. Шу (п. Кайнар), выраженного в ммоль эквивалентной форме. Катионы:  $\text{Ca}^{2+}$  2,46;  $\text{Mg}^{2+}$  1,87;  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  3,34, сумма составляет 7,67 ммоль-экв/дм<sup>3</sup>. Анионы:  $\text{HCO}_3^-$  3,72;  $\text{SO}_4^{2-}$  3,29;  $\text{Cl}^-$  0,66, сумма анионов 7,67 ммоль-экв/дм<sup>3</sup>. Суммируя отдельные величины, получаем, что сумма катионов равна сумме анионов. Далее находим состав отдельных солей и их эквивалентную концентрации в воде. Шу:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  – 2,46;  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  – 1,26;  $\text{MgSO}_4$  – 0,61;  $\text{NaSO}_4$  – 2,68;  $\text{NaCl}$  – 0,66; сумма солей составляет 7,67. Эквивалентные содержания полученных солей переводим в мг/дм<sup>3</sup>:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  – 2,46\*81=199,3;  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  – 1,26\*73=92,0;  $\text{MgSO}_4$  – 0,61\*60=36,6;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 2,68\*71=190,3;  $\text{NaCl}$  – 0,66\*58,5=38,8;

сумма 557,0 мг/дм<sup>3</sup>. По этому способу определен солевой состав воды р. Шу за многолетний период (2014...2023 гг.). Гидрокарбонаты кальция и магния при определенных условиях переходят в соответствующие карбонаты. Расчет последних произведен по уравнению реакции превращения кислых солей в средние.

### Результаты и их обсуждение

Солевой состав речной воды обусловлен особенностями ее химического состава. За исследуемый период в ионном составе воды р. Шу (п. Кайнар) практически постоянно преобладали из анионов  $\text{HCO}_3^-$ , а из катионов  $\text{Ca}^{2+}$  ионы (рисунок 2). Индекс воды по Алекину почти всегда  $\text{C}_{\text{HCO}_3^-}^{\text{Ca}^{2+}}$ . В отдельные сезоны года преобладающими становились  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  (лето 2019 г.),  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Ca}^{2+}$  (лето 2021 г., осень 2023 г.),  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Na}^+$  (осень 2021...2022 гг., лето 2023 г.) или  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Na}^+$  (весна 2014 г., лето 2022...2023 гг.).

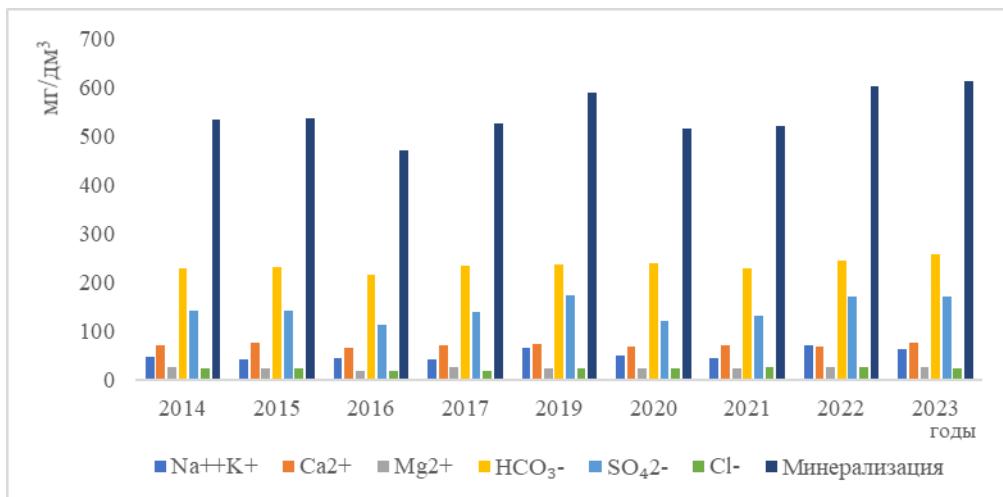


Рисунок 2 – Изменение концентрации главных ионов в воде р. Шу (п. Кайнар) в многолетнем цикле, 2014...2023 гг.

При этом индекс воды по Алекину изменялся на  $S_{\text{II}}^{\text{Mg}}$ ,  $S_{\text{II}}^{\text{Ca}}$ ,  $S_{\text{II}}^{\text{Na}}$ ,  $C_{\text{II}}^{\text{Na}}$ ,  $C_{\text{II}}^{\text{Ca}}$ , т.е. менялся класс и группа воды, но тип оставался стабильно во все годы вторым, что свидетельствовало о преобладающем содержании ионов щелочных металлов над хлоридными ионами. Генетически воды этого типа обычно связаны с различными осадочными породами и продуктами выветривания коренных пород (Никаноров А.М., 2008; Страхов Н.М. и др., 1954; Крученко С.С., 1993). Наблюдаемые процессы, приводящие к изменению концентрации главных ионов и их соотношений, протекали более активно в теплое время года. Выявлена тесная корреляционная связь содержания всех главных ионов и общей минерализации (коэффициент корреляции  $r = 0,91 \dots 0,99$ ) (рисунок 3), а связь содержания  $\text{HCO}_3^-$  и значений pH средней силы.

Изменение класса воды из карбонатного в сульфатный называется в гидрохимии процессами метаморфизации химического состава, протекающими в прямом направлении (Никаноров А.М., 2011; Беремжанов Б.А., 1987; Валяшко М.Г. и др., 1965).

Преобладание гидрокарбонатных и кальций ионов в шуйской воде обусловлено вымыванием их из карбонатных пород (в основном известняков), распространенных в водосборном бассейне реки (Почвы пустынной зоны Казахстана, 1983; Салихов Т.К., 2021). Появление повышенных концентраций сульфатных ионов является следствием вымывания гипса ( $\text{CaSO}_4$ ) из подстилающих пород прилегающей к руслу реки территории, а также химическим выветриванием не

только известняков, но и гипсовых пород (Колпакова М.Н. и др., 2015).

Концентрация хлоридных ионов в течение многолетнего цикла изменялась в более узких пределах ( $11,0 \dots 50,4 \text{ mg/dm}^3$ ) по сравнению с остальными главными ионами. Известно, что сами хлоридные ионы практически не принимают участие в протекании физико-химических процессов, но с их помощью создаются благоприятные условия для различных превращений веществ в системе «вода – донные отложения – почва».

За исследуемый период 2014...2023 гг. среднегодовые значения общей минерализации изменились в пределах  $471,8 \dots 615,5 \text{ mg/dm}^3$  (рисунок 2). Особо выделялось значение минерализации в последние два года, достигшее в летний период  $798,6 \text{ mg/dm}^3$  в 2022 г. и  $994,7 \text{ mg/dm}^3$  осенью 2023 г. В это время класс воды менялся на сульфатный, а группа на натриевую, индекс по Алекину  $S_{\text{II}}^{\text{Na}}$ . Такое повышение минерализации скорее всего связано с уменьшением стока реки (забор воды на орошение), усиливающимися процессами вымывания солей в теплое время года, а также подпиткой подземными водами, более насыщенными природными солями (Тажиев С.Р., 2023). Следует отметить, что не во все исследуемые годы во время снеготаяния и попадания талых маломинерализованных вод в реку Шу (март-май) минерализация воды уменьшается весной по сравнению с таковой в остальные сезоны года. Такое уменьшение среднесезонной величины минерализации на  $81,6 \dots 208,1 \text{ mg/dm}^3$  было обнаружено лишь в 2019...2021 гг.

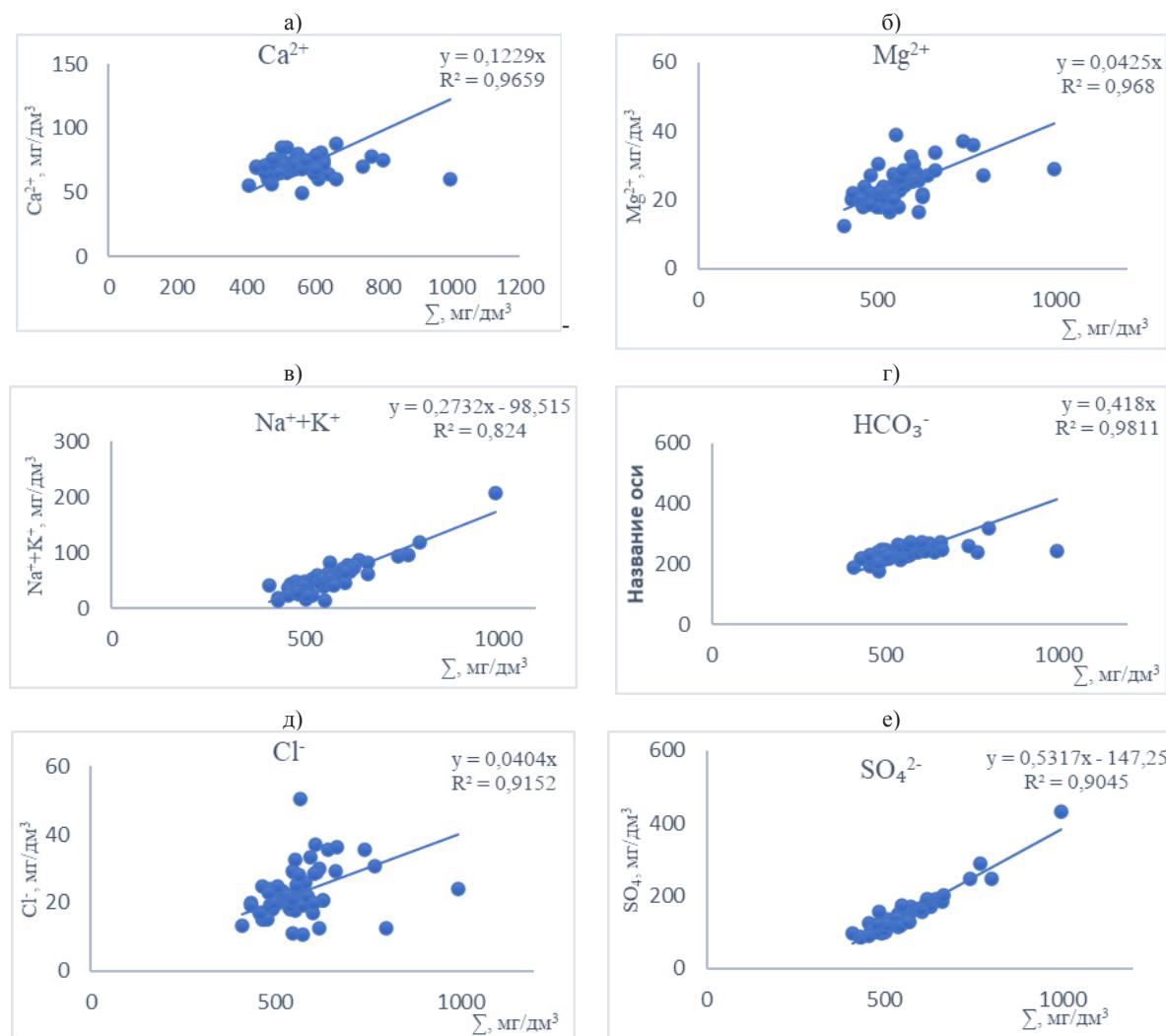


Рисунок 3 – Корреляционная связь между общей минерализацией и содержанием главных ионов в воде р. Шу (п. Кайнар)

Вода р. Шу (п. Кайнар) характеризовалась средней величиной общей жесткости (4,68...5,87 mg-экв/дм<sup>3</sup>), чаще слабо щелочной и реже щелочной реакцией среды, значения pH изменялись от 7,30 до 8,15 и лишь в мае 2022 г. было обнаружено самое большое значение pH, равное 8,50 (таблица 1). Температура воды р. Шу (п. Кайнар) в многолетнем цикле изменялась в пределах 2,0...26,6 °C, при среднегодовых значениях 12,2...15,0 °C. Последние 3 года среднегодовая температура речной воды у п. Кайнар заметно возросла, на 1...2 °C.

В первом приближении судить о генезисе неорганических природных солей можно по тому гидрологическому сезону, в котором наблюдающие изменения наиболее заметны. Как правило,

в период зимней межени в питании реки велика роль подземных вод, а в весеннееводоводье большое значение имеют воды поверхностного питания.

Солевой гипотетический состав воды р. Шу (п. Кайнар) представлен шестью различными солями: гидрокарбонатами кальция и магния, сульфатами магния, натрия и кальция, из хлоридов ... только хлоридом натрия. Из этих солей преобладающими постоянно являлись гидрокарбонаты кальция (22,1...59,2), далее по убывающей концентрации были сульфат магния (6,7...41,1), сульфат натрия (0,8...55,4), хлорид натрия (3,3...17,9), гидрокарбонат магния (0,0...16,5) и сульфат кальция (0,0...10,2 % эквивалентов от общей суммы солей) (рисунок 4).

Таблица 1 – Пределы колебания и средние значения температуры и рН воды р. Шу (п. Кайнар), 2014…2023 гг.

Год	Температура, °C		Реакция среды, величина рН	
	Предельные значения температуры	Средние значения температуры	Предельные значения	Средние значения
2014	2,0…23,2	13,5	7,35…8,00	7,78
2015	4,0…26,6	13,3	7,60…8,15	7,87
2016	2,1…21,0	12,2	7,30…8,05	7,76
2017	4,0…22,6	12,7	7,48…8,05	7,80
2019	2,2…25,0	12,8	7,40…7,90	7,80
2020	3,6…23,0	12,9	7,70…8,00	7,82
2021	5,0…25,0	13,9	7,50…7,90	7,70
2022	4,0…25,0	15,0	7,55…8,50	7,94
2023	4,0…25,0	14,0	7,60…8,15	7,88

Первые четыре соли обнаруживались постоянно в течение годичных циклов, а гидрокарбонат магния чаще присутствовал, сульфат кальция, наоборот, чаще не был обнаружен. Образование гипса в шуйской воде происходило в основном в весенне и летнее время года, когда достигается соотношение  $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-} > 1$ . Содержание различных солей в речной воде меняет-

ся не только в течение годичного цикла, но и за многолетний период. Это зависит от гидрологических факторов (расход воды, водный сток, скорость течения воды в реке), поступлении солей с водосборной площади во время паводка, с атмосферными осадками, а также протекающими химическими процессами в системе «водо-донные отложения-растения».

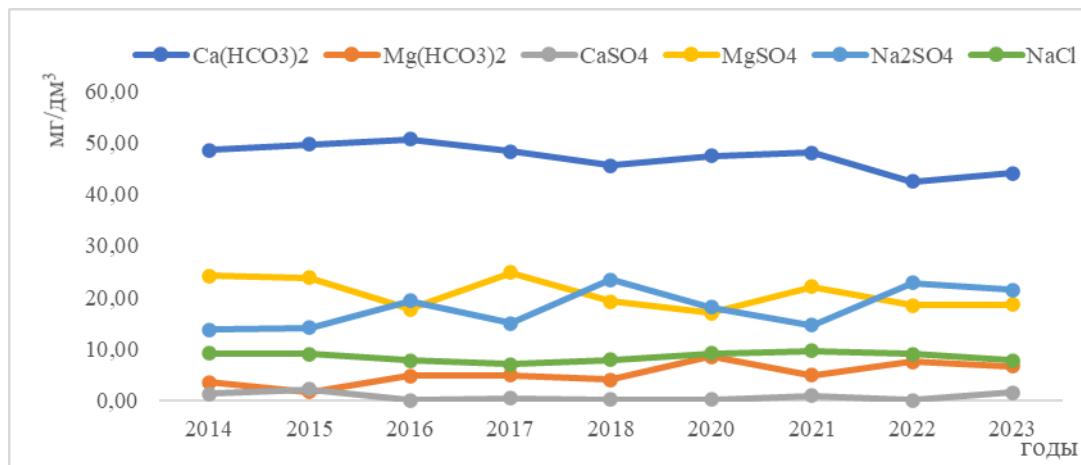


Рисунок 4 – Изменение среднегодового солевого состава воды р. Шу (п. Кайнар) в многолетнем цикле, 2014…2023 гг.

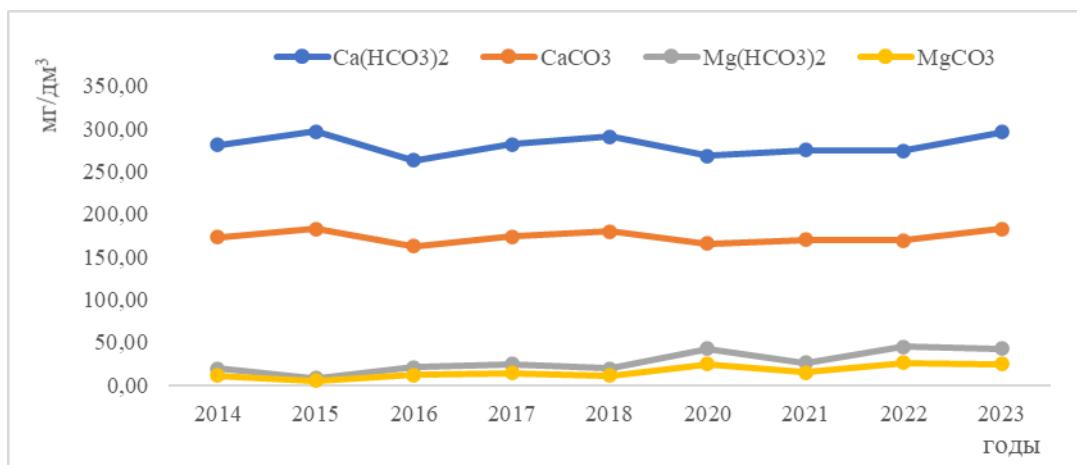
Четкой закономерности в поведении солей за 2014…2023 гг. не выявлено. Поскольку с 2021 по 2023 гг. был исследован состав воды р. Шу (п. Кайнар) ежемесячно (в предыдущие годы … поквартально), удалось выявить следующее. Так, среднегодовое содержание гидрокарбоната кальция во все сезоны 2021…2023 гг.

постепенно снижалось от 51,2 до 44,0 зимой, от 55,0 до 51,0 весной, от 44,1 до 36,2 летом и от 42,0 до 34,0 % экв. от суммы солей. осенью. Среднегодовая концентрация сульфата кальция увеличивалась почти во все сезоны года от 0 до 0,2 зимой, от 0 до 4,3 весной и от 0 до 1,3 % экв. от суммы солей осенью. Более высокие средн-

годовые концентрации сульфата натрия были обнаружены зимой (постепенное увеличение от 14,8 до 28,9), и летом (постепенное увеличение от 13,6 до 31,0 % экв. от суммы солей). Среднегодовое за 2021...2023 гг. содержание сульфата магния и хлорида натрия постепенно уменьшалось в зимнее (соответственно, от 18,1 до 13,7 и от 9,1 до 6,0) и летнее время (соответственно, от 24,4 до 14,0 и от 10,4 до 6,3 % экв. от суммы солей). Относительно гидрокарбоната магния, как относительно неустойчивого соединения, следует отметить постепенные изменения в сторону увеличения и уменьшения в разные сезоны года. Процессы образования ги-

дрокарбонатов кальция и магния в их карбонаты и обратно протекают в водах одновременно в зависимости от температуры, реакции среды, содержания углекислого газа и других факторов. Поэтому их концентрации изменяются в течение определенного отрезка времени (года, месяца, суток). Поведение карбонатов кальция и магния аналогичны их гидрокарбонатам (рисунок 5).

Судя по среднемноголетним концентрациям природных солей для воды р. Шу (п. Кайнар) характерным является следующее отношение:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 > \text{MgSO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaCl} > \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 > \text{CaSO}_4$  (таблица 2).



**Рисунок 5 – Изменение среднегодового содержания гидрокарбонатов и карбонатов кальция и магния в воде р. Шу (п. Кайнар) в многолетнем цикле, 2014...2023 гг.**

**Таблица 2 – Среднемноголетние концентрации солей в воде р. Шу (п. Кайнар) по сезонам года, 2014...2023 гг.**

Сезон года	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{CaS}_0\text{4}$	$\text{MgSO}_4$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{NaCl}$
	% экв / мг/дм <sup>3</sup>					
зима*	49,7/289,2	3,8/19,7	0,6/2,7	19,9/85,9	18,2/93,0	7,8/32,8
весна*	49,0/285,1	3,3/17,5	0,4/2,0	20,9/92,4	17,4/90,9	9,0/38,6
лето*	43,5/280,3	4,9/28,5	1,0/5,4	21,0/100,8	21,0/119,3	8,6/39,8
осень*	45,0/265,7	7,6/40,9	0,4/2,0	18,2/80,4	20,9/109,3	7,9/33,9
среднемноголетнее значение	46,8/280,1	4,9/28,5	0,6/3,0	20,0/90,0	19,4/103,1	8,3/36,3
среднее, 1972 г.**	46,1/218,7	4,4/19,0	0	21,6/56,4	21,6/89,5	11,9/24,9
среднее, 1984-1985 гг.***	46,4/257,6	11,5/57,7	0	14,4/59,4	15,1/73,1	12,6/30,5

Примечание: \* Информационный бюллетень Казгидромет, 2014...2023; \*\*Беремжанов Б.А. и др., 1973; \*\*\* Романова С.М. и др., 1986.

Интересным является факт близкого сходства по содержанию указанных выше солей и ионов в воде р. Шу, определенным еще в 1972 г. Гипса в воде не было обнаружено. В 1984...1985 гг. в воде р. Шу содержание хлорида натрия было несколько больше, а концентрации гидрокарбоната магния и сульфатов натрия и магния, наоборот, меньше, чем среднегодовые концентрации в 2019...2023 гг.

Исследования ионно-солевого состава воды р. Шу (п. Конаев) было проведено в 2019...2020 гг. ежемесячно, а с 2021 по 2023 гг. ежеквартально. Температурный режим здесь мало отличается от такового в п. Кайнар (таблицы 1, 3). Реакция среды на этом участке позволяет отнести воду чаще к слабо щелочной, реже щелочной, значения рН изменяются в пределах 7,50...8,50 (таблица 3). По среднемноголетним значениям величины рН вода относится к слабощелочной. Общая жесткость изменялась в пределах от 4,54 до 8,08 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Пределы изменения общей минерализации 447,2...897,8 мг/дм<sup>3</sup> (среднегодовые колебания 565,0...654,1 мг/дм<sup>3</sup>), что превышает ее максимальные значения за эти же годы в п. Кайнар на 282,5 мг/дм<sup>3</sup>. Наибольшие значения минерализации были зафиксированы в летне-осенний периоды. В ионном составе чаще всего преобла-

дают сульфат- и кальций или натрий ионы (в 21 случае из 32), индексы по Алекину становятся  $S_{\text{Ca}}^{\text{Ca}}$ ,  $S_{\text{Na}}^{\text{Na}}$ ,  $C$ ,  $S_{\text{Mg}}^{\text{Ca}}$ . Выявлен небольшой рост концентрации сульфатных ионов и ионов натрия на этом нижнем участке, предельные значения которых, соответственно, на 13,0...103,7 мг/дм<sup>3</sup> и 1,0...84,7 мг/дм<sup>3</sup> больше, чем таковые концентрации в верхнем участке. Отмеченный рост сульфатных ионов и ионов натрия рассматриваются как ионы, чувствительные к антропогенному воздействию, что может быть вызвано косвенным влиянием специфической хозяйственной деятельностью на водосборе реки (Никаноров А.М., 2008; Колпакова М.Н., Исупов В.П., Борзенко С.В. и др., 2015). В сентябре 2023 г. зафиксировано преобладание содержания хлоридных ионов над ионами натрия и калия, что привело к формированию воды третьего типа. Класс воды сульфатный, группа кальция, индекс  $S_{\text{Ca}}^{\text{Ca}}$ . Третий тип воды характерен для сильнометаморфизованных вод. Вероятнее всего причиной такого изменения состава воды связано с дополнительным поступлением хлоридных ионов в речную воду. Как было отмечено ранее, вода р. Шу на участке п. Конаева вытекает из Тасотельского водохранилища, в которое впадают притоки и в конечном итоге является результатом смешения вод разного химического состава.

Таблица 3 – Пределы колебания и средние значения температуры и рН воды р. Шу (п. Конаева), 2019...2023 гг.

Год	Температура, °С		Реакция среды, величина рН	
	предельные значения температуры	средние значения температуры	предельные значения	средние значения
2019	1,6...2,4	12,0	7,70...8,25	7,98
2020	7,0...19,0	10,0	7,80...8,25	7,97
2021	3,7...25,0	14,0	7,50...7,95	7,69
2022	3,6...25,2	14,2	7,60...8,50	8,07
2023	4,0...24,4	14,5	7,50...8,15	7,90

Солевой гипотетический состав воды р. Шу (п. Конаева) представлен следующими солями: гидрокарбонатами кальция и магния, сульфатами магния, натрия и кальция, хлоридом натрия во все сезоны года и хлоридом магния осенью. Из всех солей по-прежнему оставались гидрокарбонаты кальция, пределы изменения содержания составляли 32,5...51,9 % экв. от общей суммы солей. Далее по убывающему содержанию распределяются сульфат магния (15,6...36,6 % экв), сульфат натрия (6,6...36,3 %

экв.), хлорид натрия (5,4...12,8 % экв), гидрокарбонат магния (0,0...01,0 % экв.), сульфат кальция (0,0...13,6%экв.). Если эти 6 солей обнаружены во все сезоны года, то хлорид магния был обнаружен только осенью 2023 г. в количестве 20,8%экв. Возможно, в это время был осуществлен стихийный сброс жидких или твердых стоков, содержащий ионы магния и хлора. Прослеживая изменение концентрации солей в речной воде, удалось выявить некоторые тенденции к уменьшению содержания гидрокар-

боната магния во все сезоны 2019...2023 гг. и увеличению сульфата кальция. Остальные соли в разные в разные сезоны года имеет тенденции как к уменьшению их содержания, так и к увеличению. Четких закономерностей в поведении минеральных солей на этом участке реки не выявлено, это подтверждает факт, что на ионно-солевой состав воды прежде всего влияет режим работы Тасоткельского водохранилища, химический состав его притоков, процессы смешения разнотипных вод, внутриводоемные процессы. Можно с определенной уверенностью отметить, что вода р. Шу на участке п. Конаева отражает более сильное антропогенное воздействие, чем на более верхнем участке (Ибраев Т.Т., 2006).

В порядке уменьшения среднегодового содержания минеральные соли располагаются в ряд:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 > \text{MgSO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaCl} > \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 > \text{CaSO}_4 > \text{MgCl}_2$  (таблица 4). Доля растворимых сульфатов магния и натрия в шуйской воде у п. Конаева составляла 15,0 % экв. (191,3 мг/дм<sup>3</sup>), а на участке п. Кайнар ... 13,3 %

экв. (165,7 мг/дм<sup>3</sup>). Иными словами, шуйская вода на ниже расположенному участке (п. Конаева) более засульфачена. В почвах водосборного бассейна р. Шу незначительно распространены минералы, содержащие сульфат натрия (глаубериты, мирабилиты) и сульфат магния (кизерит, эпсомит) (Почвы долины, 1971; Мустафаев Ж., 2023; Сейтказиев А.С. и др., 2020), встречаются также источники подземных более минерализованных вод разнообразного химического состава, включая, например, сульфатно-хлоридно-натриевые воды (Смоляр В.А. и др., 2002; Абсаметов М.К. и др., 2017; Тажиев С.Р., 2023). С другой стороны, источником дополнительного поступления сульфатов натрия (и калия), может быть хозяйственная деятельность на водосборе.

Исходя из солевого состава, можно отметить, что при использовании шуйской воды на орошение или в технических целях, при создании благоприятных условий возможно образование твердых солей карбоната кальция и сульфата кальция.

**Таблица 4** – Среднемноголетние концентрации солей в воде р. Шу (п. Конаев) по сезонам года, 2019...2023 гг.

Сезон года	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{MgSO}_4$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{NaCl}$	$\text{CaSO}_4$	$\text{MgCl}_2$
	%экв./мг/дм <sup>3</sup>						
зима	44,9/278,6	6,8/38,2	19,0/90,2	21,4/122,4	7,6/34,4	0,3/1,9	0,0/0,0
весна	46,4/297,9	2,4/13,7	25,3/124,2	15,4/89,9	10,2/48,6	0,4/2,5	0,0/0,0
лето	40,9/298,7	1,5/7,6	26,9/145,0	19,6/131,4	10,0/52,7	1,0/7,8	0,0/0,0
осень	39,3/296,2	1,6/13,7	26,2/138,7	21,3/134,5	9,7/50,9	1,2/18,2	0,7/4,7
среднемноголетнее	42,9/292,9	3,1/18,3	14,3/124,6	19,4/119,5	9,4/46,6	0,8/7,6	0,2/1,2

Для солонцеватых почв, такыров этот факт не является отрицательным, поскольку такие соли окажут мелиорирующее влияние на почву (Эрфан Е., 2008; Петрова Т.А. и Рудзиш Э., 2021). Использование шуйской воды, где требуется нагревание, выпадение карбонатов и сульфатов кальция будет идти активно.

## Заключение

Ионный состав воды верхнего участка р. Шу (п. Кайнар) замноголетний период 2014...2023 гг. (а также в 1972, 1984...1985 гг.) характеризуется практически постоянным преобладанием (56 случаев из 61) гидрокарбонатных ионов и кальций ионов, индекс воды по Алекину почти всегда  $C_{\text{II}}^{\text{Ca}}$ , предельные среднегодовые значения

минерализации составляли 445,0...615,3 мг/дм<sup>3</sup>, общей жесткости 4,68...5,87 мг-экв/дм<sup>3</sup>, pH 7,70...7,94. В редких случаях менялся класс воды на сульфатный и группа на натриевую, магниевую или кальциевую. Преобладание гидрокарбонатных и кальций ионов в шуйской воде является следствием вымывания их из карбонатных пород (в основном известняков), распространенных в водосборном бассейне реки.

Солевой гипотетический состав воды р. Шу (п. Кайнар) представлен шестью различными солями: гидрокарбонатом кальция (22,1...59,2), сульфатом магния (6,7...41,1), сульфатом натрия (0,8...55,4), хлоридом натрия (3,3...17,9), гидрокарбонатом магния (0,0...16,5) и сульфатом кальция (0,0...10,2 % эквивалентов от общей суммы солей). Содержание солей в речной

воде меняется в течение годичного и многолетнего циклов, в связи с изменением гидрологических факторов, поступлением солей с водосборной площади во время паводка, с атмосферными осадками, а также протекающими химическими процессами в экосистеме «водадонные отложения-растения».

Пределы изменения общей минерализации воды р. Шу (п. Конаева) в 2019...2023 гг. составляли 447,2...897,8 мг/дм<sup>3</sup> (среднегодовые колебания 565,0...654,1 мг/дм<sup>3</sup>), что превышает ее максимальные значения за эти же годы в п. Кайнар на 38,5...282,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Вода здесь чаще слабощелочная, средней жесткости. В ионном составе чаще преобладают сульфат- и кальций или натрий ионы (в 21 случае из 32), индексы по Алекину становятся чаще  $S_{\text{II}}^{\text{Ca}}$ ,  $S_{\text{II}}^{\text{Na}}$ , С,  $S_{\text{II}}^{\text{Ca}}$ . Отмеченный рост сульфатных ионов и ионов натрия рассматривают как ионы, чувствительные к антропогенному воздействию, что может быть вызвано косвенным влиянием специфической хозяйственной деятельностью на водосборе реки.

Солевой гипотетический состав воды р. Шу (п. Конаева) представлен семью различными солями: гидрокарбонатом кальция (39,1...46,4), сульфат магния (18,6...26,9), сульфат натрия

(15,4...22,8), хлорид натрия (7,4...10,1), гидрокарбонат магния (1,5...7,0), сульфат кальция (0,3...3,7 % экв. от общей суммы солей). Хлорид магния был обнаружен в осенний период 2023 г. в количестве 6,9 % экв. от общей суммы солей. Шуйская вода у п. Конаева более метаморфизована. Выявлена тенденция к протеканию процессов метаморфизации в прямом направлении.

При использовании шуйской воды на орошение или в технических целях возможно образование твердых солей карбоната и сульфата кальция. Для солонцеватых почв, такыров такие соли окажут мелиорирующее влияние. Использование шуйской воды в технических целях, где требуется нагревание, выпадение карбонатов и сульфатов кальция будет идти активно.

**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.

## Литература

1. Абсаметов М.К., Мухамеджанов М.А., Сыдыков Ж.С., Муртазин Е.Ж. Подземные воды Казахстана – стратегический ресурс водной безопасности страны. – Алматы, 2017. – 220 с.
2. Беремжанов Б.А. Солеобразование в некоторых континентальных бассейнах Казахстана. – Алма-Ата: 1968. – 162 с.
3. Беремжанов Б.А. Химия природных солей. – Алма-Ата: Мектеп, 1987. – 174 с.
4. Беремжанов Б.А., Романова С.М., Аккошкarov О.А., Ибрагимова М.А. К вопросу физико-химической характеристики воды рек Джамбулской области // Химия и химическая технология. – Алма-Ата, 1973. – Вып. 14. – С.189–198;
5. Валяшко М.Г. Поливанова А.И., Жеребцова И.К., Меткин Б.И. Геохимия и генезис рассолов иркутского амфитеатра. – М.: Наука, 1965. – 160 с.
6. Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник – Мн.: Современная школа, 2005. – 608 с.
7. Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Бюллетень» Поверхностные воды суши. Каталожные данные. – Астана: Казгидромет, 2014–2023 гг.
8. Гроховский Л.М. Озерные месторождения солей, их изучение и промышленная оценка. М.: «Недра», 1972. – 168 с.
9. Замана Л.В. Борзенко С.В. Гидрохимия соленых озер Юго-Восточного Забайкалья и определяющие ее современные процессы // География и природные ресурсы. – 2010. – № 4. – С. 100–107.
10. Ибраев Т.Т. Анализ использования водных ресурсов Жамбылской области // Гидрометеорология и экология. – 2006.– № 2. – С. 34–43.
11. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуски с 2014 по 2023 гг.– Астана: Департамент экологического мониторинга МЭПР РК Казгидромет. – 2014–2023
12. Колпакова М.Н., Исупов В.П., Борзенко С.В., Шварцев С.Л., Шацкая С.С. Гидрохимия и геохимическая типизация соленых озер степной части Алтайского края // Вода: Химия и экология. – № 1. – 2015. – С. 18–23.
13. Крученко С.С. Солеобразование, распределение микрокомпонентов в карбонатно-сульфатных системах и природных водах: автореф. ... канд. хим. наук. – Алматы, 1993. – 18 с.
14. Мустафаев Ж. Ландшафтно-экологическое районирование бассейна реки Шу. Гидрометеорология и экология. – 2023. – (4). – С. 17–28.
15. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Мустафаев К.Ж., Даuletбай С.Д. Моделирование функционирования водосборов бассейна реки Шу при их комплексном обустройстве // Гидрометеорология и экология. – № 2. – 2014. – С. 111–1222.

16. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Камалиев А.М. Климатический профиль водосборного бассейна реки Шу. – Гидрометеорология и экология. – № 2. – 2019. – С. 38–49.
17. Никаноров А.М. Гидрохимия. – Изд. 3-е, перераб. и дополн., СПб.: Гидрометеоиздат, 2008. – 462 с.
18. Никаноров А.М. Региональная гидрохимия. Ростов-на-Дону: НОК, 2011. – 389 с.
19. Никольская Ю.П. Процессы солеобразования в озерах и водоемах Кулундинской степи. Новосибирск. Изв-во СО АН СССР, 1961. – 179 с.
20. Петрова Т.А., Рудзиш Э. Виды мелиорантов для рекультивации техногенно нарушенных территорий горной промышленности // MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2021. – (4). – С. 100–112. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2\_021\_4\_0\_100
21. Порохов Е.В. Соляные озёра Казахстана. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 187 с.
22. Почвы долины Чу. – Алма-Ата, 1971. – 374 с.
23. Почвы пустынной зоны Казахстана: (региональная характеристика почв). – Алма-Ата: Изд-во Наука, Казахской ССР, 1983. – 238 с.
24. Романова С.М. Физикохимия процессов метаморфизации и солеобразования в континент и искусств. водоемах Казахстана// Вестник КазНУ. – Серия химическая. – Вып.2. – 2004. – С.119–123.
25. Романова С.М., Ляшенко Л.В., Кайдарова Р.К. Оценка качества поверхностных вод Южного Казахстана // В кн.: Физ.-хим. основы переработки минер. сырья Казахстана. – Алма-Ата, 1986. – С. 59–65.
26. Салихов Т.К. Исследование почвенного покрова Таласского района Жамбылской области. Гидрометеорология и экология. – 2021(3). – С. 76–83. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-102-3-68-73>
27. Сейтказиев А.С., Маймакова А.К. Экологическая оценка исследуемого участка сероземных почв Жамбылской области // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. –2020. – (3(91)): – С. 281–285.
28. Смоляр В.А., Буров Б.В. Водные ресурсы Казахстана (поверхностные и подземные воды, современное состояние) // Справочник. – А.: НИЦ Фылым, 2002. – 596 с.
29. Страхов Н.М., Бродская Н.Г., Князева Л.И. и др. Образование осадков в современных водоемах. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 791 с.
30. Тажиев С.Р. Ресурсы подземных вод Казахстанской части предгорий Киргизского Алатау: формирование, состояние и перспективы использования. дисс...доктора философии (PhD). – Алматы, 2023. – 131с.
31. Толеубаева Л.С., Влияние регулирования речного стока на сезонные риски водообеспечения Арабо-Сырдарьинской природно-хозяйственной системы. – В кн.: Географические проблемы устойчивого развития: теория и практика. – Алматы, 2008. – С. 325–333.
32. Эрфан Е.Эффективность гипса и серы в качестве мелиоранта солонцовых почв//Изв-во ТСХА.–Вып.3.–2008.–С.139–141.

#### References

1. Absametov M.K., Mukhamedzhanov M.A., Sydykov Zh.S., Murtazin E.Zh. Podzemnye vody Kazakhstana – strategicheskii resurs vodnoi bezopasnosti strany. – Almaty, 2017. – 220 s.
2. Beremzhanov B.A. Soleobrazovanie v nekotorykh kontinental'nykh basseinakh Kazakhstana. – Alma-Ata: 1968. – 162 s.
3. Beremzhanov B.A. Khimiya prirodykh solei. – Alma-Ata: Mektep, 1987. – 174 s.
4. Beremzhanov B.A., Romanova S.M., Akkoshkarov O.A., Ibragimova M.A. K voprosu fiziko-khimicheskoi kharakteristiki vody rek Dzhambulskoi oblasti // Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. – Alma-Ata, 1973. – Vyp. 14. – S.189–198;
5. Valyashko M.G. Polivanova A.I., Zherebtsova I.K., Metkikh B.I. Geokhimiya i genezis rassolov irkutskogo amfiteatra. – M.: Nauka, 1965. – 160 s.
6. Volkov A.I., Zharskii I.M. Bol'shoi khimicheskii spravochnik – Mn.: Sovremennaya shkola, 2005. – 608 s.
7. Gosudarstvennyi vodnyi kadastr Respubliki Kazakhstan. Byulleten'» Poverkhnostnye vody sushi. Katalozhnye dannye. – Astana: Kazgidromet, 2014–2023 gg.
8. Grokhovskii L.M. Ozernye mestorozhdeniya solei, ikh izuchenie i promyshlennaya otsenka. M.: «Nedra», 1972. – 168 s.
9. Zamana L.V. Borzenko S.V. Gidrokhimiya solenykh ozer Yugo-Vostochnogo Zabaikal'ya i opredelyayushchie ee sovremennoye protsessy // Geografiya i prirodnye resursy. – 2010. – № 4. – S. 100–107.
10. Ibraev T.T. Analiz ispol'zovaniya vodnykh resursov Zhambylskoi oblasti // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2006.– № 2. – S. 34–43.
11. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchey sredy. Vypuski s 2014 po 2023 gg.– Astana: Departament ekologicheskogo monitoringa MEPR RK Kazgidromet. – 2014–2023
12. Kolpakova M.N., Isupov V.P., Borzenko S.V., Shvartsev S.L., Shatskaya S.S. Gidrokhimiya i geokhimicheskaya tipizatsiya solenykh ozer stepnoi chasti Altaiskogo kraya // Voda: Khimiya i ekologiya. – № 1. – 2015. – С. 18–23.
13. Kruchenko S.S. Soleobrazovanie, raspredelenie mikrokomponentov v karbonatno-sul'fatnykh sistemakh i prirodykh vodakh: avtoref. ... kand. khim. nauk. – Almaty, 1993. – 18 s.
14. Mustafaev Zh. Landshaftno-ekologicheskoe raionirovaniye basseina reki Shu. Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2023. – (4). – S. 17–28.
15. Mustafaev Zh.S., Kozykeeva A.T., Mustafaev K.Zh., Dauletbaev S.D. Modelirovaniye funktsionirovaniya vodosborov basseina reki Shu pri ikh kompleksnom obustroistve // Gidrometeorologiya i ekologiya. – № 2. – 2014. – S. 111–1222.
16. Mustafaev Zh.S., Kozykeeva A.T., Kamaliev A.M. Klimaticheskii profil' vodosbornogo basseina reki Shu. – Gidrometeorologiya i ekologiya. – № 2. – 2019. – S. 38–49.

17. Nikonorov A.M. Gidrokhimiya. – Izd. 3-е, pererab. i dopoln., SPb.: Gidrometeoizdat, 2008. – 462 s.
18. Nikonorov A.M. Regional'naya gidrokhimiya. Rostov-na-Donu: NOK, 2011. – 389 s.
19. Nikol'skaya Yu.P. Protsessy soleobrazovaniya v ozerakh i vodoemakh Kulundinskoi stepi. Novosibirsk. Izv-vo SO AN SSSR, 1961. – 179 s.
20. Petrova T.A., Rudzish E. Vidy meliorantov dlya rekul'tivatsii tekhnogenno narushennykh territorii gornoi promyshlennosti // MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2021. – (4). – S. 100–112. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_4\_0\_100
21. Posokhov E.V. Solyanye ozera Kazakhstana. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1955. – 187 s.
22. Pochvy doliny Chu. – Alma-Ata, 1971. – 374 s.
23. Pochvy pustynnoi zony Kazakhstana: (regional'naya kharakteristika pochv). – Alma-Ata: Izd-vo Nauka, Kazahskoi SSR, 1983. – 238 s.
24. Romanova S.M. Fizikokhimiya protsessov metamorfizatsii i soleobrazovaniya v kontinent i iskusstv. vodoemakh Kazakhstana// Vestnik KazNU. – Seriya khimicheskaya. – Vyp.2. – 2004. – S.119–123.
25. Romanova S.M., Lyashenko L.V., Kaidarova R.K. Otsenka kachestva poverkhnostnykh vod Yuzhnogo Kazakhstana // V kn.: Fiz.-khim. osnovy pererabotki miner. syr'ya Kazakhstana. – Alma-Ata, 1986. – S. 59–65.
26. Salikhov T.K. Issledovanie pochvennogo pokrova Talasskogo raiona Zhambylskoi oblasti. Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2021(3). – C. 76–83. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-102-3-68-73>
27. Seitkaziev A.S., Maimakova A.K. Ekologicheskaya otsenka issleduemogo uchastka serozemnykh pochv Zhambylskoi oblasti // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. –2020. –(3(91)): – S. 281–285.
28. Smolyar V.A., Burov B.V. Vodnye resursy Kazakhstana (poverkhnostnye i podzemnye vody, sovremennoe sostoyanie) // Spravochnik. – A.: NITs Fylym, 2002. – 596 s.
29. Strakhov N.M., Brodskaya N.G., Knyazeva L.I. i dr. Obrazovanie osadkov v sovremennykh vodoemakh. – M.: Izd-vo ANSSSR, 1954. – 791 s.
30. Tazhiev S.R. Resursy podzemnykh vod Kazakhstanskoi chasti predgorii Kirgizskogo Alatau: formirovaniye, sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya. diss... doktora filosofii (RhD). – Almaty, 2023. – 131s.
31. Toleubaeva L.S., Vliyanie regulirovaniya rechnogo stoka na sezonnnye riski vodoobespecheniya Aralo-Syrdar'inskoi prirodno-khozyaistvennoi sistemy. – V kn.: Geograficheskie problemy ustoichivogo razvitiya: teoriya i praktika. – Almaty, 2008. – S. 325–333.
32. Erfan E. Effektivnost' gipsa i sery v kachestve melioranta solontsovnykh pochv // Izv-vo TSKhA. – Vyp.3. – 2008. – S.139–141.

**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: softiyarom@mail.ru);

Е.Г. Крупа – доктор биологических наук, заведующий лабораторией гидробиологии и экотоксикологии РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: elena.krupa@zool.kz);

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

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

**Авторлар туралы мәлімет:**

Романова С.М. – география гылымдарының докторы, «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының бас гылыми қызыметкери, Алматы, Қазақстан, e-mail: softiyarom@mail.ru

Крупа Е.Г. – биология гылымдарының докторы, «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының менгерушісі, Алматы, e-mail: elena.krupa@zool.kz

Серикова А.С. – «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының гылыми қызыметкери, Алматы, e-mail: aizada.serikova@zool.kz

Махмутова Р.Е. – «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының гылыми қызыметкери, Алматы, e-mail: rabat.makhutova@zool.kz

**Information about authors:**

Romanova S. – doctor of geographical sciences, leading researcher of the laboratory of hydrobiology and ecotoxicology, «Institute of Zoology», Almaty, e-mail: softiyarom@mail.ru

Krupa E. – doctor of biological sciences, head of the laboratory of hydrobiology and ecotoxicology, «Institute of Zoology», Almaty, e-mail: elena.krupa@zool.kz

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

Makhmutova R. – researcher at the laboratory of hydrobiology and ecotoxicology, «Institute of Zoology», Almaty, e-mail: rabat.makhutova@zool.kz

Поступила 25 января 2025 года  
Принята 25 сентября 2025 года