

## Изучение химических свойств подземных вод и почвы Республики Каракалпакстан на примере Караузьякского района

Алим Асаматдинов<sup>1,2\*</sup>, Шухрат Муродов<sup>2</sup>, Оралбай Кудияров<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Нукусский государственный педагогический институт им. Ажинияза [asamatdinov1973@gmail.com](mailto:asamatdinov1973@gmail.com)

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт окружающей среды и природоохранных технологий [m.oikos@mail.ru](mailto:m.oikos@mail.ru)

<sup>3</sup>Среднеобразовательная школа №12 Канлыккульского района [kudyarovorabay33@gmail.com](mailto:kudyarovorabay33@gmail.com)

\*Корреспонденция: [asamatdinov1973@gmail.com](mailto:asamatdinov1973@gmail.com)

**Аннотация:** В статье представлены результаты исследования химических свойств подземных вод и почв Караузьякского района Республики Каракалпакстан в условиях усиливающейся аридизации климата и дефицита водных ресурсов Приаралья. Проведён анализ гидрогеологических условий района, выполнена оценка минерализации и гидрохимического состава подземных вод на основе данных 20 эксплуатационных скважин, а также исследованы показатели засоления и агрохимические свойства почвенного профиля. Для интерпретации гидрохимических особенностей использована диаграмма Пайпера, позволившая установить основные типы подземных вод и направления их геохимической эволюции. Выявлена последовательная трансформация химического состава вод от гидрокарбонатно-кальциевого через гидрокарбонатно-натриевый к хлоридно-натриевому типу, обусловленная процессами ионного обмена, испарительного концентрирования и вторичного засоления. Установлено преобладание натриевых и гидрокарбонатных ионов в большинстве исследованных проб и показана связь между ростом минерализации подземных вод и ухудшением их качества. Исследование почв выявило щелочную реакцию среды (рН 8,4–9,4), повышенное содержание водорастворимых солей и наличие высокой корреляции между электропроводностью насыщенного почвенного экстракта и суммарным содержанием солей ( $R^2 = 0,987$ ). Полученные результаты свидетельствуют о тесной взаимосвязи процессов гидрогеохимической трансформации подземных вод и вторичного засоления почв. Практическая значимость работы заключается в возможности использования выявленных закономерностей для совершенствования мониторинга подземных вод, оценки экологических рисков и разработки мероприятий по устойчивому управлению водными ресурсами в условиях экологического кризиса Приаралья.

### Цитирование:

Асаматдинов, А., Муродов, Ш., Кудияров, О. (2026). Изучение химических свойств подземных вод и почвы Республики Каракалпакстан на примере Караузьякского района. Вестник ЕНУ имени Л.Н. Гумилева. Серия Химия, География. 155(2), 10-30. <https://doi.org/10.32523/3107-278X-2026-155-2-10-30>

Академический редактор:  
Э.Е. Копишев

Поступила: 20.05.2026  
Исправлена: 11.06.2026  
Принята: 12.06.2026  
Опубликована: 30.06.2026



**Copyright:** © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

**Ключевые слова:** подземные воды; Караузьякский район; Республика Каракалпакстан; гидрохимический состав;

минерализация; засоление почв; электропроводность; диаграмма Пайпера; гидрогеохимическая трансформация; Приаралье.

## 1. Введение

Регион Приаралья и Республика Каракалпакстан относятся к числу наиболее уязвимых территорий Центральной Азии в условиях климатических изменений и длительного антропогенного воздействия. Усыхание Аральского моря, сокращение стока Амударьи, рост минерализации речных вод с 0,5–0,7 г/дм<sup>3</sup> в 1960–1980-е до 1,0–1,5 г/дм<sup>3</sup> и выше в 2020-е, а также вторичное засоление почв сделали поверхностные источники крайне ненадёжными.

Подземные воды приобретают статус основного альтернативного ресурса. По данным государственного кадастра на 01.06.2025, в Республике эксплуатируется 699 скважин с суммарным отбором около 78,61 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Доминирующим в использовании грунтовых вод является направление по обводнению пастбищ 61,5 %, затем производственно-технические нужды 22,0 %, хозяйственно-питьевое потребление составляет лишь ~9,2 %.

Геополитический регион Центральной Азии характеризуется континентальным засушливым и полусушливым климатом со среднегодовым количеством осадков 600–800 мм в горных районах и 80–150 мм в пустынных регионах (Qadir et al, 2009). Специфические климатические условия Центральной Азии определяют решающую роль воды в урбанизации, поддержании жизни и сохранении уникальных природных объектов (Karkra et al, 2017). В связи с последствиями глобального потепления и ростом спроса на продовольствие и энергию из-за быстрого роста населения по всей Центральной Азии, водные ресурсы в этом регионе испытывают все большее давление (Ruan et al, 2020). Поэтому дефицит воды и неравномерное пространственное распределение водных ресурсов значительно ограничивают социально-экономическое развитие региона Центральной Азии (Guo et al, 2016). Помимо дефицита водных ресурсов, в Центральной Азии нарастают проблемы загрязнения воды и связанные с этим проблемы со здоровьем (Бектурганов и др., 2016). В ряде исследований сообщалось о чрезмерной солёности воды ниже по течению рек Амударья и Сырдарья и описывались источники загрязняющих веществ, сбрасываемых в поверхностные воды (Osokova et al, 2000; Tornqvist et al, 2011; LenECg et al, 2021).

Целью статьи является исследование химических свойств подземных вод и почв Караузякского района Республики Каракалпакстан, оценка степени минерализации и засоления, определение гидрогеохимических особенностей формирования и трансформации состава подземных вод, а также выявление экологических рисков их использования для питьевого водоснабжения и сельского хозяйства в условиях аридизации климата и дефицита водных ресурсов.

Научная новизна исследования заключается в установлении современных закономерностей формирования химического состава подземных вод и процессов засоления почв Караузякского района Республики Каракалпакстан; выявлении гидрогеохимической трансформации подземных вод от гидрокарбонатно-кальциевого к хлоридно-натриевому типу; определении роли ионного обмена и испарительного концентрирования в процессах минерализации; а также в количественном обосновании связи между электропроводностью почвенного раствора и накоплением водорастворимых солей в почвенном профиле.

### Основные гидрогеологические комплексы подземных вод

С гидрогеологической точки зрения Республика Узбекистан характеризуется значительной неоднородностью распределения ресурсов подземных вод. Наиболее крупные и стратегически важные месторождения пресных и слабоминерализованных подземных вод сосредоточены в северо-западной части страны - в пределах Республики Каракалпакстан, Приаралья и прилегающих пустынных территорий.

В настоящее время в этом регионе выделены четыре ключевых месторождения подземных вод, имеющих региональное значение для водоснабжения, сельского хозяйства и потенциального промышленного развития:

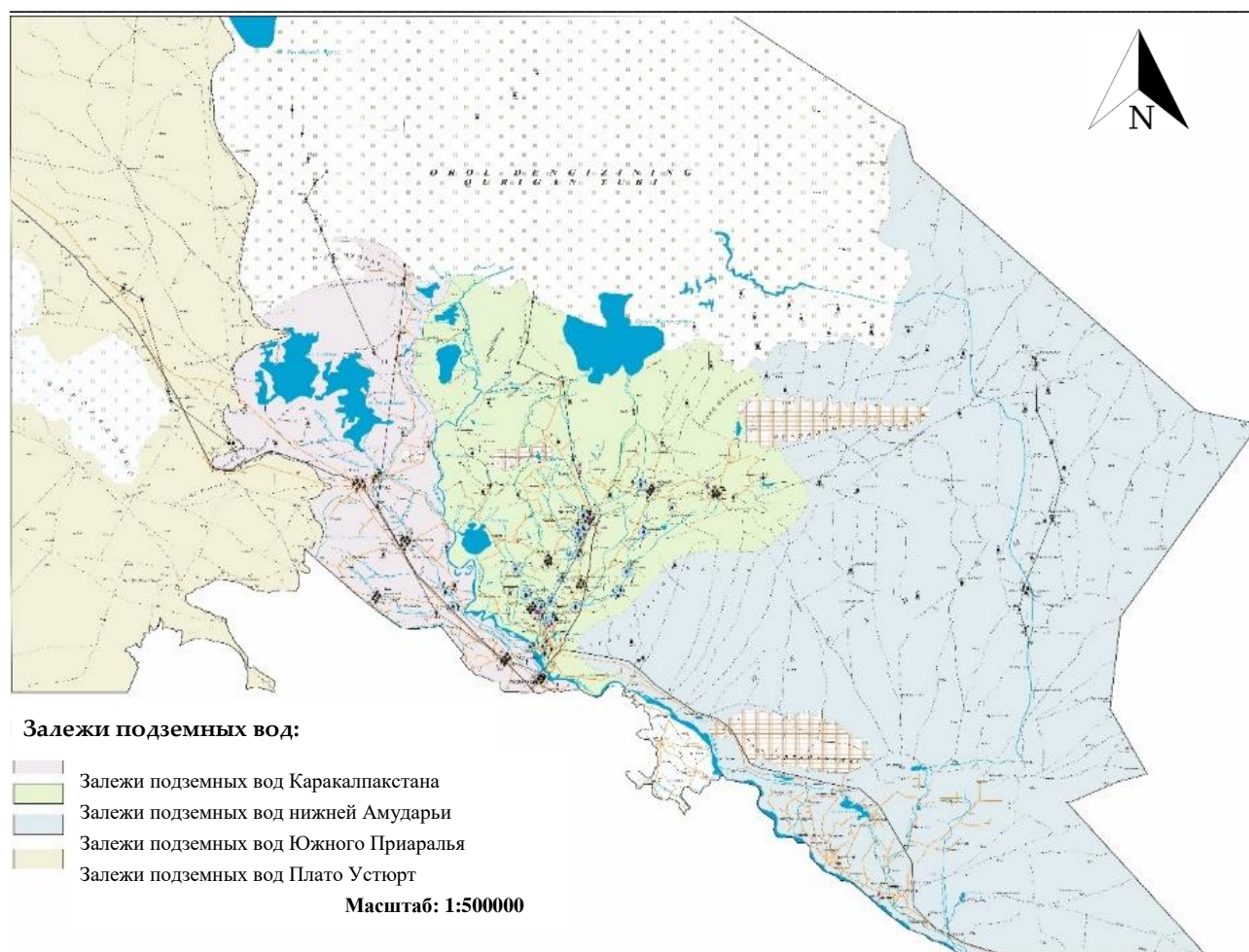
1. Месторождения подземных вод Каракалпакстана. Они охватывают левобережную часть нижнего течения реки Амударья в Республике Каракалпакстан. Характеризуются сложной структурой водоносных горизонтов, включающих как безнапорные аллювиальные горизонты, так и напорные (артезианские) горизонты более глубоких неогеново-четвертичных отложений. Значительная часть запасов подвержена вторичному засолению в результате повышения уровня грунтовых вод и капиллярного подъема солей.

2. Месторождения подземных вод нижнего течения Амударьи расположены на правом берегу нижнего течения реки Амударья (преимущественно в Хорезмской области и на юго-востоке Каракалпакстана). Они состоят в основном из высокопроницаемых аллювиальных водоносных горизонтов. Отложения образуются за счет просачивания из русла реки и ирригационных систем, что приводит к тесной гидравлической связи с поверхностными водами.

3. Залежи подземных вод Южного Аральского моря. Расположенное в южной части Аральского моря, в зоне влияния сокращающегося Аральского моря, месторождение характеризуется наличием нескольких артезианских комплексов в неогеново-четвертичных отложениях. Артезианские воды демонстрируют повышенную минерализацию по мере приближения к бывшему морскому бассейну, но в некоторых районах сохраняются горизонты приемлемого качества для бытового и питьевого водоснабжения. Запасы формируются преимущественно за счет боковой фильтрации из зоны подпитки на юге и юго-востоке.

4. Залежи подземных вод Устюртского плато. Расположено на Устюртском плато (северный Каракалпакстан). Водоносные горизонты представлены преимущественно трещинно-жировыми и трещинно-поровыми системами в палеогеново-неогеновых карбонатно-терригенных отложениях. Солончатые и слабосолончатые воды встречаются в виде локализованных линз и зон активного водообмена в верхней части разреза; ниже преобладают сильно минерализованные рассолы. Месторождение имеет большое значение как потенциальный источник промышленной и питьевой воды для разработки месторождений газового конденсата и инфраструктуры плато (Отчет).

Перечисленные месторождения (рис.1) представляют собой основную базу для децентрализованного водоснабжения в условиях дефицита поверхностных вод в северо-западном регионе Узбекистана. Вместе с тем их эксплуатация сопряжена с рядом гидрогеологических и экологических рисков: вторичное засоление, снижение напоров в артезианских горизонтах, загрязнение коллекторно-дренажными стоками и общее ухудшение качества подземных вод в зоне Приаралья под влиянием аридизации климата и антропогенной нагрузки (Lilly et al., 2026).



**Рисунок 1.** Карта месторождений подземных вод. (Lilly et al., 2026)

Дальнейшее рациональное использование указанных месторождений требует комплексного мониторинга, моделирования режима подземных вод и внедрения современных технологий охраны и искусственного восполнения запасов (Чембарисов и др., 2022).

На территории Республики Каракалпакстан гидрогеологические условия низовий и дельты реки Амударья определяют особую роль подземных вод как альтернативного и стратегически важного источника водоснабжения в условиях хронического дефицита поверхностного стока и прогрессирующей деградации качества речных вод.

Среди эксплуатируемых и перспективных объектов особое значение имеют два крупных гидрогеологических комплекса, приуроченных к правобережной и левобережной частям долины нижней Амударьи.

Правобережное месторождение подземных вод расположено на правом берегу реки в пределах административных границ Каракалпастана. Основной источник питания фильтрационные потери из русла Амударьи и крупных магистральных каналов. Гидравлическая связь с поверхностными водами обуславливает сезонные колебания уровня и химического состава подземных вод. Минерализация в зоне активного водообмена обычно составляет 0,5–1,5 г/дм<sup>3</sup>, что позволяет классифицировать эти воды как пресные и слабоминерализованные. Месторождение активно используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения населённых пунктов и производственно-технических нужд.

Левобережное месторождение подземных вод охватывает левобережную часть дельты и низовий Амударьи, включая территории Ходжейлийского, Шуманайского, Кунградского, Канлыкульского и частично Муйнакского районов. Водоносные комплексы представлены многослойной толщей четвертичных аллювиальных отложений с преобладанием песчаных и

супесчаных фракций вдоль русла реки и крупных каналов (Кегейли, Куаныш-жарма, Октябрь-Арна и др.). Формирование пресных и слабосоленых линз происходит за счёт инфильтрации из поверхностных водотоков; мощность пресноводных линз достигает 20–40 м при ширине 1–3 км. В приканальных зонах активно применяются методы искусственного восполнения запасов и локального опреснения. Минерализация варьирует от 0,6–1,2 г/дм<sup>3</sup> в зонах интенсивного питания до 3–5 г/дм<sup>3</sup> и более в периферийных участках, подверженных влиянию коллекторно-дренажного стока и вторичного засоления.

Оба месторождения характеризуются высокой перспективностью благодаря наличию значительных эксплуатационных запасов пресных и условно-питьевых вод, относительно благоприятным фильтрационным свойствам водовмещающих пород, возможности комбинированного использования с поверхностными источниками в многоводные периоды, потенциалу для дальнейшего наращивания добычи путём строительства новых водозаборов и внедрения технологий защиты от засоления.

Таким образом, правобережное и левобережное месторождения подземных вод нижней Амударьи остаются ключевыми элементами системы децентрализованного водоснабжения Республики Каракалпакстан. Их рациональное использование требует комплексного гидрогеологического мониторинга, математического моделирования режима, внедрения технологий искусственного пополнения запасов и строгого контроля качества подземных вод в условиях нарастающего антропогенного и климатического стресса в Приаральском регионе (Бахиев, 2025).

## **2. Материалы и методы**

### *2.1. Аллювиальные горизонты нижней Амударьи*

Это наиболее доступные, востребованные пресные и слабоминерализованные линзы четвертичного возраста. Правобережное месторождение тесная гидравлическая связь с Амударьёй и магистральными каналами, минерализация составляет 0,5–1,5 г/дм<sup>3</sup>, основное питание фильтрационные потери. Структура Левобережного месторождения многослойные песчаные и супесчаные отложения, пресные линзы мощностью 20–40 м, шириной 1–3 км; минерализация 0,6–1,2 г/дм<sup>3</sup> в зонах питания 3–5 г/дм<sup>3</sup> на периферии. Коэффициент фильтрации 5–25 м/сут (до 40–50 м/сут в грубообломочных фациях).

### *2.2. Артезианские комплексы плато Устюрт и Южного Приаралья*

Устюртское месторождение трещинно-поровые и жильные системы в палеоген-неогеновых карбонатно-терригенных породах, минерализация 7–25 г/дм<sup>3</sup> и выше. Использование преимущественно техническое (газодобыча) и поение скота. Южно-Приаральское месторождение напорные горизонты неоген-четвертичного и мелового возраста, минерализация от 3–5 до 10–50 г/дм<sup>3</sup>. Самоизлив на ряде участков питьевое использование возможно только после фильтрации и опреснения.

### *2.3. Меловой комплекс Южного Приаралья*

Мощность 210–650 м (средняя 300–500 м), глубина кровли 150–1200 м напорные условия (самоизлив до 20–80 м). Коэффициент фильтрации 1–15 м/сут (песчаники), 0,5–8 м/сут (известняки); минерализация 5–15 г/дм<sup>3</sup> преимущественно хлоридно-натриевые рассолы.

Перспективными и активно используемыми в Республике Каракалпакстан считаются подземные воды в водоносных горизонтах мощностью 10–40 м, приуроченных преимущественно к четвертичным и неоген-четвертичным песчаным и песчано-гравийным отложениям аллювиального и субаэрального генезиса. Эти горизонты формируют локальные и протяженные пресные и слабоминерализованные линзы в долине и дельте нижней Амударьи, а также в приканальных зонах основных магистральных ирригационных систем.

### *2.4. Ключевые характеристики подземных вод*

Караузьякский район расположен в северной части Каракалпакстана (на правом берегу реки Амударьи) и считается орошаемым районом с типичными пустынными условиями. Ключевые параметры основаны на многолетних наблюдениях (включая 2025–2026 гг.). Уровень грунтовых вод (долгосрочные колебания, средний многолетний уровень и внутригодовые изменения). Изучение минерализации (солености) и химического состава.

Высокая минерализация делает воду непригодной для питья без опреснения и ограничивает ее использование в сельском хозяйстве. Влияние орошения: просачивание из каналов (Таш-Арна, Кок-Озек и др.) и плохой дренаж повышают уровень воды и увеличивают соленость. В сельской местности многие жители зависят от грунтовых вод (в некоторых деревнях до 70 %), что создает риски для здоровья.

### 2.5. Отбор проб воды

Мониторинг включает: глубину (скважины, точки наблюдения), отбор проб для определения минерализации, химического состава (сухой остаток, хлориды и др.) и частоту (сезонно/ежемесячно на ключевых участках). В 2025 году проводился мониторинг скважин в этом районе для обеспечения устойчивого управления. Объектами исследования были грунтовые воды из скважин в Караузьякском районе. Для исследования в 2024 и 2025 годах были отобраны пробы воды для анализа (таблица №1) химического состава из 20 скважин в Караузьякском районе (рис. №2) в соответствии с установленными стандартами (Asamatdinov, 2025) в чистые полимерные контейнеры объемом 1000 см<sup>3</sup>. Контейнеры были полностью заполнены водой и герметично закрыты крышками для удаления воздуха. Проба не хранилась и анализировалась как можно скорее после отбора, но не позднее чем через 24 часа (Plueova et al., 2023). Для определения засоленности почв проведены измерения электрической проводимости в водной вытяжке при соотношении объемов почва: вода 1:5 (ЕС 1:5). Измерения проводили в dS/m (децисименс на метр) электрокондуктометром, имеющим электрод с температурным компенсатором.

Метод оценки степени засоления почв по электрической проводимости насыщенных почвенных экстрактов принят в международной практике из-за его простоты, однако в местных условиях ранее широко не применялся. В результате репрезентативного числа измерений ЕС<sub>e</sub> и ЕС 1:5, для условий Узбекистана получен коэффициент пересчета “К”, равный 4,0, который позволяет по измеренным значениям ЕС в водной вытяжке 1:5 оценивать степень засоления почв используя.

### 2.6. Отбор почвы

Образцы проб отбирали с помощью ручного бура и чистым шпателем клали в чистые полиэтиленовые пакеты примерно по 1 кг. Отобранные образцы сушили в комнатной температуре в течение 7 суток. Координаты отбора образцов - Караузьякский район (43°02'37.6"N 60°03'00.5"E). Для образца почвенного разреза (Р-1, Караузьяк) были выполнены следующие анализы:

1. Определение механического состава почвы методом седиментации (метод Стокса).
2. Измерение показателя почвы рН.
3. Измерение электропроводности ЕС в водной вытяжке 1:5, (с пересчётом в ЕС<sub>e</sub>), dS/m. Оценка степени засоления почвы по методике ФАО.
4. Определение содержания общего количества солей (плотный остаток) % - методом выпаривания.
5. Определение ионного состава почвы HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> по общепринятой методике в водной вытяжке 1:5, выраженный в % и в мг-экв на 100 г почвы.
6. Определение содержания гипса и карбонатов в солянокислой вытяжке.

Агрохимические анализы почвы

1. Содержание гумуса, методом Тюрина

2. Содержание питательных элементов NPK (в подвижных формах: N-NO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O)

**Подготовка образцов почвы**

Образцы почвы высушиваются на воздухе, размельчаются в фарфоровой ступке с помощью пестика и просеиваются через сито с ячейками размером в 1 мм. По международным стандартам широко используется просеивание почвы через сито диаметром 2 мм, так как большинство почв Центральной Азии имеют пик распределения частиц почвы по их размерам, который в международной классификации относится к фракции “пыли”, мало вероятно, что эта разница может послужить причиной получения большой разницы величин при анализах.

**Приготовление водной вытяжки**

Из-за того, что доминирующей проблемой в регионе является засоление земель, анализы почвы обычно производятся на водных экстрактах из почвы. 20 грамм мелкозема (образцы почвы 1 мм) взбалтываются вместе со 100 миллилитрами дистиллированной воды в течение 5 минут и затем эта суспензия фильтруется.

**Сумма солей или плотный остаток в водной вытяжке**

Сумма солей или плотный остаток в водной вытяжке определяется с помощью взвешивания остатка из почвенной аликвотной пробы, высушенной в чашке в начале на водяной бане, а затем в сушильном шкафу. Для почв используется следующее равенство: (Wt соли (г) ах объем экстрагирующего вещества (100 мл) ах 100·K) / (Объем аликвотной пробы x wt почвы (20 г)), где K - коэффициент, обычно равный 1

**pH - водородный показатель**

Эта величина измеряется стандартным хлористо-ртутным электродом с автоматической температурной компенсацией. В образцах почвы величина pH измеряется в водной суспензии 1:5

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

10 мл пробы водной вытяжки из почвы титруется на фоне 0,01N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, используется в качестве индикатора метилоранж. Процент содержания HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> во фракции мелкозема почвы равен 0,0315x, где ax – объем титра в мл.

**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>**

5 мл пробы водной вытяжки из почвы нагревается вместе с раствором BaCl<sub>2</sub> и осадок заливается горячей, разведенной соляной кислотой (HCl), затем все это высушивается и взвешивается.

**Cl<sup>-</sup>**

10 мл пробы водной вытяжки из почвы титруется на фоне стандартного раствора AgNO<sub>3</sub> до изменения цвета.

**Ca<sup>2+</sup>**

10 мл пробы водной вытяжки из почвы титруется на фоне 0,05N раствора Трилона - Б - комплексного реагента (можно использовать также EDTA), используется в качестве индикатора мурексид.

**Mg<sup>2+</sup>**

10 мл пробы водной вытяжки из почвы титруется на фоне стандартного раствора комплексного реагента Трилона - Б, в качестве индикатора используется Черный эрихром.

**K<sup>+</sup> и Na<sup>+</sup>**

Измеряется с помощью пламенного газового фотометра с использованием соответствующих фильтров

**Содержание органического вещества**

Содержание органического вещества в почве определяется по методу И.В. Тюрина. Метод основан на окислении углерода гумуса раствором хромового ангидрида в серной кислоте и титровании неиспользованного хромового ангидрида солью Мора. Полученные величины органического углерода умножаются на 1,72, и в результате определяется расчетное содержание органического вещества в почве (organic mater).

### **Определение азота нитратов, аммиака.**

Содержание усвояемого азота в почве определяется колориметрированием. Основной колориметрического определения нитратов по методу Гранвальд-Ляжу служит реакция между нитратами и дисульфифеноловой кислотой, приводящая к образованию тринитрофенола. В щелочной среде тринитрофенол образует солеобразное производное, имеющее желтую окраску.

Аммиак из почвы извлекается 1 %-ным раствором хлористого калия. В основу метода положена реакция между щелочным раствором йодистой ртутно-калиевой соли с аммиачными солями, в результате которой получается йодистый меркуроаммоний, имеющий желтую окраску.

## **3. Результаты**

### **3.1. Основные гидрогеологические характеристики продуктивных горизонтов**

По литолого-фациальному составу преобладают хорошо отсортированные пески средней и крупной зернистости, прослой супесей, гравийно-галечниковых отложений. Коэффициент фильтрации обычно составляет 5–25 м/сут, реже до 40–50 м/сут в наиболее проницаемых фациях. Мощность водоносного пласта варьирует от 10 до 40 м (наиболее часто 15–30 м), максимальные значения характерны для прирусловых и приканальных зон, где мощность пресноводных линз достигает 25–40 м. Глубина залегания: от 3–8 м в зонах интенсивного питания до 15–25 м на периферии линз; в ряде участков возможно формирование безнапорных и слабонапорных условий.

Минерализация в центральных частях линз 0,5–1,2 г/дм<sup>3</sup> пресные и условно-питьевые воды, по периферии возрастает до 1,5–3,0 г/дм<sup>3</sup> под влиянием бокового притока засоленных грунтовых вод и капиллярного поднятия солей.

### **Основные гидрогеологические характеристики мелового комплекса**

По литолого-фациальному составу преобладают терригенно-карбонатные отложения, хорошо проницаемые песчаники (кварцевые, полевошпатово-кварцевые, часто слабосцементированные), алевролиты и известняки (органогенно-детритовые, оолитовые, мергелистые). В разрезе наблюдаются чередования проницаемых коллекторов (песчаники мощностью 20–150 м) с относительно водоупорными прослоями глин, алевролитов и мергелей.

Мощность водовмещающих отложений варьируется от 210 до 650 м (в среднем 300–500 м в наиболее продуктивных зонах); максимальные значения характерны для погруженных частей бассейна в направлении к центру бывшего Аральского моря и южным депрессиям. Глубина залегания кровли продуктивного комплекса от 150–300 м в периферийных зонах, до 600–1200 м и более в центральных частях Южно-Приаральского прогиба.

Таким образом, меловые песчаники и известняки мощностью 210–650 м остаются стратегическим резервом глубинных подземных вод для технического и ограниченного хозяйственного использования в южной части Приаралья, где поверхностные и мелкие подземные ресурсы практически исчерпаны или деградированы (Rakhmatullaev Sh. et al, 2012).

### **Структура эксплуатации и использование (по состоянию на 2025 г.)**

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к увеличению роли опреснительных установок в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения населения за счёт использования подземных вод различной степени минерализации. Это обусловлено прогрессирующим дефицитом поверхностных пресных вод реки Амударья, вторичным засолением мелких водоносных горизонтов, истощением локальных пресных линз аллювия и общим ухудшением качества доступных ресурсов в условиях экологического кризиса Приаралья и аридизации климата. Согласно данным государственного кадастра подземных вод, который ведётся Каракалпакской гидрогеологической станцией (в структуре Государственного предприятия «Узбекгидрогеология» или профильных органов), по

состоянию на 01.06.2025 года на территории республики зарегистрировано 1447 эксплуатационных скважин различного назначения и глубины.

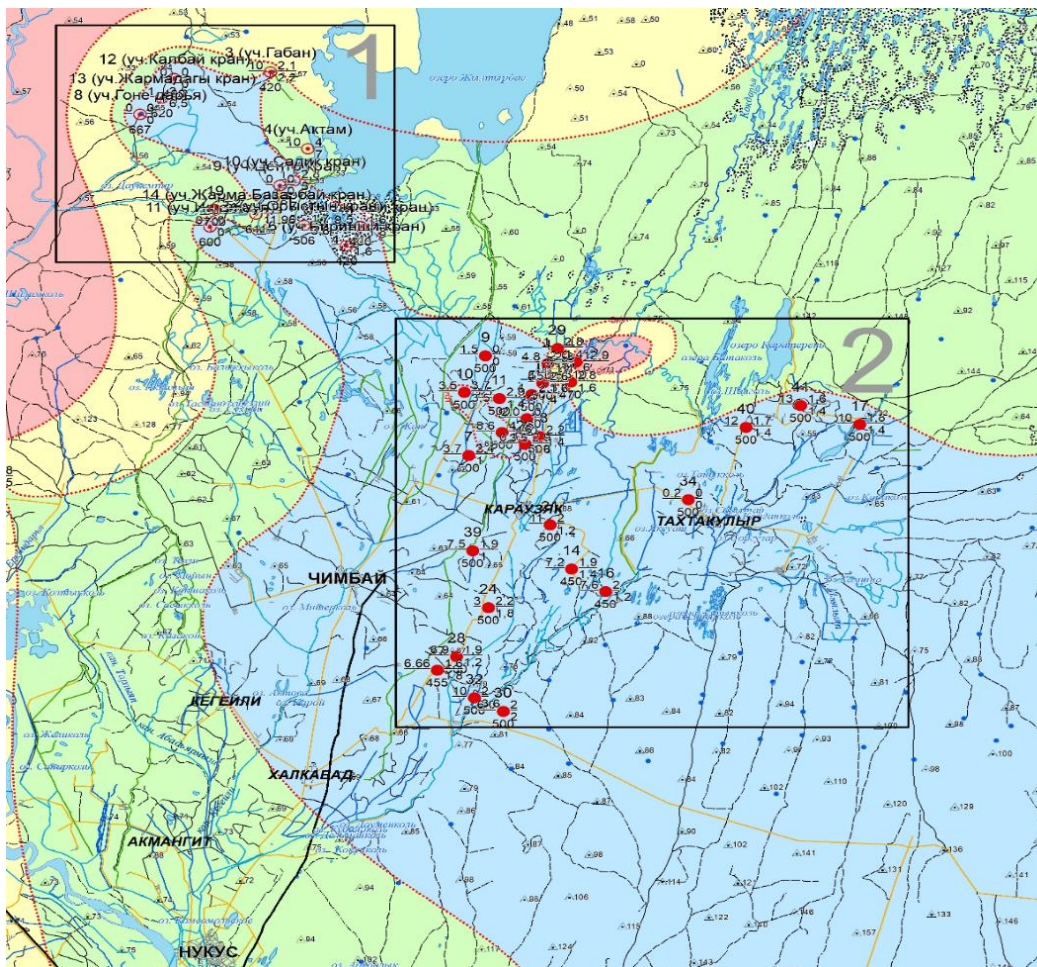


Рисунок 2. Карта расположения скважин подземных вод в Караузьякском районе

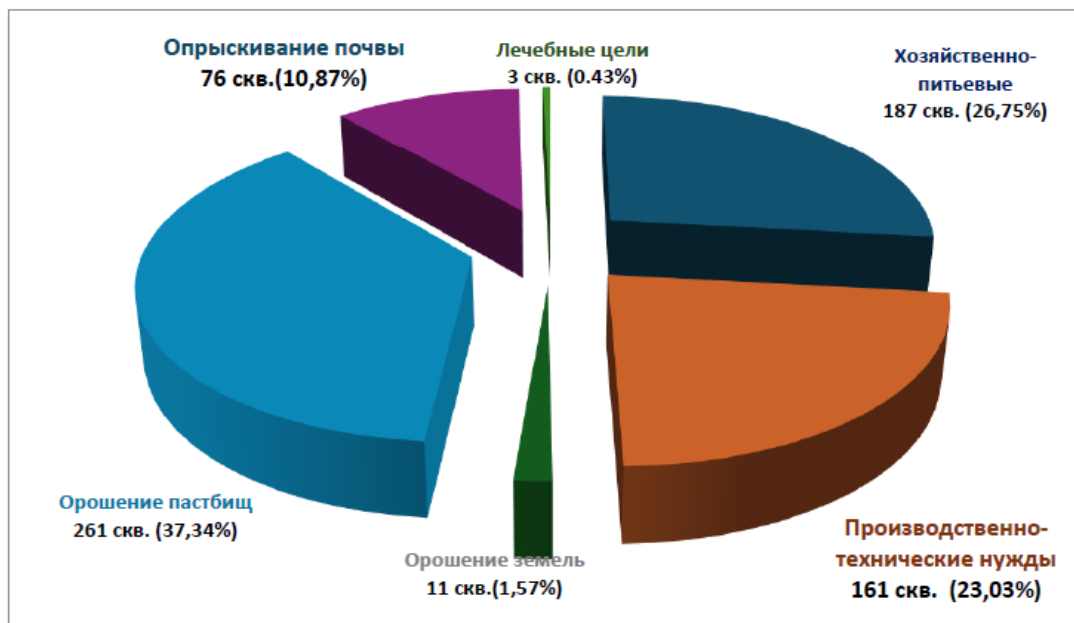
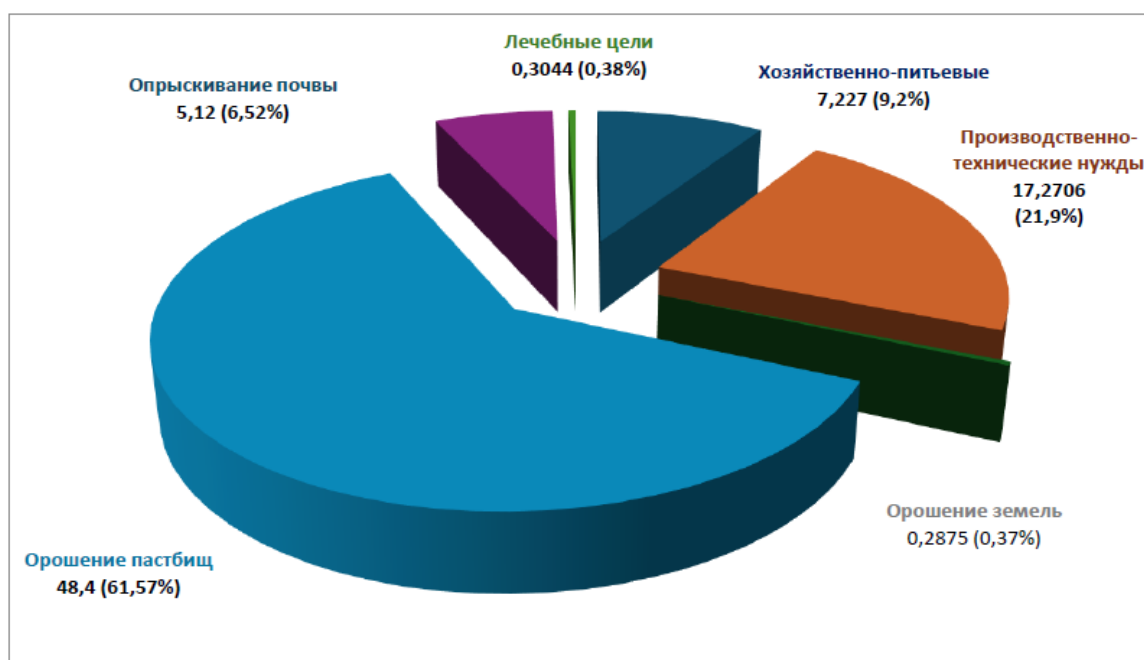


Рисунок 3. Диаграмма распределения действующих эксплуатационных скважин и добываемых с их помощью подземных вод (шт/процент)

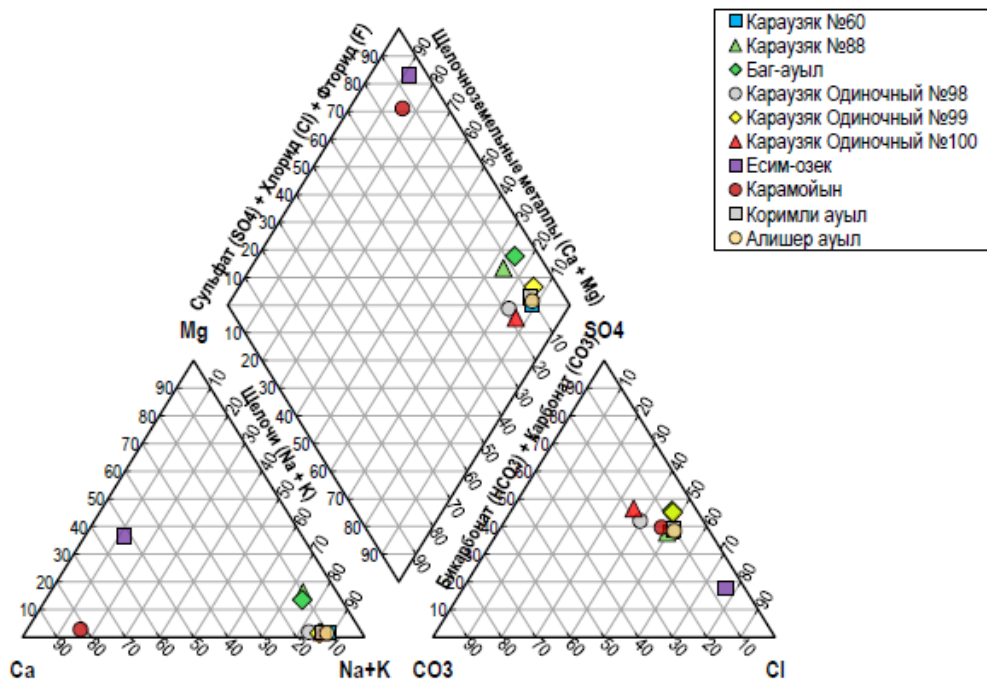


**Рисунок 4.** Диаграмма распределения действующих эксплуатационных скважин и добываемых с их помощью подземных вод (тыс. м<sup>3</sup>/сут/процент)

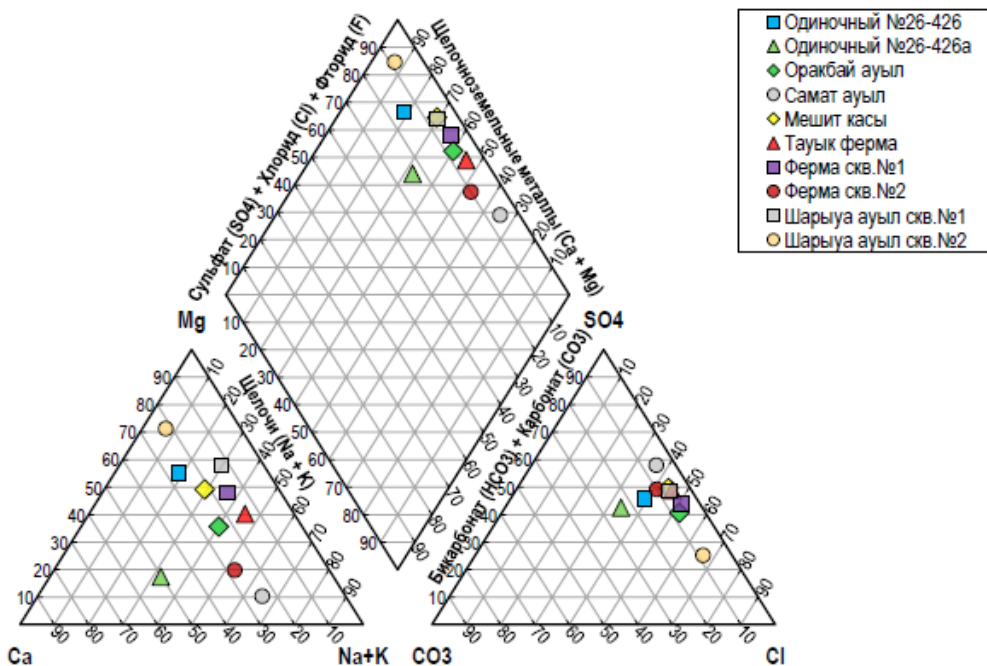
Распределение (рис. 3-4) эксплуатационных запасов по основным категориям потребления выглядит следующим образом: на хозяйственно-питьевые нужды отбор осуществляется из 187 скважин в объеме 7,227 тыс. м<sup>3</sup>/сут  $\approx$  9,2 % от общего отбора. Данный объем преимущественно формируется за счёт пресных и слабоминерализованных линз четвертичных аллювиальных отложений правобережья и левобережья нижней Амударьи, а также локальных горизонтов с искусственным пополнением. На производственно-технические нужды наиболее значительный по объёму сектор 17,2706 тыс. м<sup>3</sup>/сут из 161 скважины  $\approx$  22,0 % от общего отбора. Воды используются преимущественно для обеспечения объектов газодобычи и коммунальных нужд промышленных зон. На орошение земель составляет 0,2875 тыс. м<sup>3</sup>/сут из 11 скважин  $\approx$  0,4 %. Объём незначителен и ориентирован на локальное орошение приусадебных участков, тепличных хозяйств или небольших массивов солевыносливых культур вблизи водозаборов. На орошение пастбищ самый крупный по объёму сектор 48,41 тыс. м<sup>3</sup>/сут из 261 скважины  $\approx$  61,5 % от общего отбора. Данный показатель отражает критическую роль подземных вод в поддержании животноводства в пустынных и полупустынных территориях Каракалпакстана. На опрыскивание почвы борьба с пыльными бурями, закрепление песков, агролесомелиорацию забирается 5,12 тыс. м<sup>3</sup>/сут из 76 скважин  $\approx$  6,5 %. Воды применяются для увлажнения поверхности почв, подавления соляных и пыльных бурь с высохшего дна Аральского моря, а также в мероприятиях по фитомелиорации и закреплению подвижных песков. На лечебные цели (санаторно-курортные нужды) расходуется примерно в объеме 0,3044 тыс. м<sup>3</sup>/сут из 3 скважин  $\approx$  0,4 %. Задействованы специфические минеральные воды часто термальные или с повышенным содержанием микроэлементов из локальных горизонтов, пригодные для наружного применения или после специальной подготовки.

Анализ химического состава исследуемых скважин (табл.1 и рис.5) представляет нам наглядный пример о минерализации подземных вод исследуемого района. Большинство образцов расположены в нижней части алмаза, ближе к верхней части, где преобладают Са (кальций) и HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (бикарбонаты/карбонаты), с заметным вкладом Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup> и Cl<sup>-</sup> в некоторых случаях.

На скважине Караузяк №60 (рис.5а) синий квадрат ближе к центру нижней части, значительный процент  $\text{Ca}^{2+}$ , а также  $\text{Na}^+\text{+K}^+$  и  $\text{HCO}_3^-$ , вероятно, смешанный тип  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{Na}^+$  -  $\text{HCO}_3^-$ . На скважине Караузяк №88 зеленый треугольник - низкое содержание  $\text{Ca}^{2+}$ , высокое содержание  $\text{Na}^+\text{+K}^+$ , заметное содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  ближе к типу  $\text{Na}^+$  -  $\text{SO}_4^{2-}$  -  $\text{HCO}_3^-$  или смешанному щелочному типу. Скважина Баг-аул показывает высокое содержание  $\text{Ca}^{2+}$  (приблизительно 80–90 %), низкое содержание других катионов преимущественно кальций - бикарбонатный.



a)



b)

Рисунок 5. Диаграмма Пайпера для грунтовых вод Караузякского района

На скважинах (рис.5. а) Караузяк №60 катионы:  $\text{Na}^+\text{K}^+ \approx 75\text{--}85\%$ ,  $\text{Ca}^{2+} \approx 10\text{--}15\%$ ,  $\text{Mg}^{2+} \approx 5\text{--}10\%$ , анионы:  $\text{HCO}_3^- \approx 50\text{--}60\%$ ,  $\text{Cl}^- \approx 30\text{--}40\%$ ,  $\text{SO}_4^{2-} \approx 5\text{--}10\%$ , тип воды  $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$  (с примесью  $\text{Cl}^-$ ), слабо минерализованная. Караузяк №88 катионы:  $\text{Na}^+\text{K}^+ \approx 70\text{--}80\%$   $\text{Ca}^{2+} \approx 10\text{--}20\%$   $\text{Mg}^{2+} \approx 5\text{--}10\%$ , анионы:  $\text{HCO}_3^- \approx 45\text{--}55\%$   $\text{Cl}^- \approx 35\text{--}45\%$   $\text{SO}_4^{2-} \approx 5\text{--}10\%$  более минерализованная, чем в №60 усиливается роль хлоридов. Баг-ауыл катионы:  $\text{Na}^+\text{K}^+ \approx 60\text{--}70\%$   $\text{Ca}^{2+} \approx 20\text{--}25\%$ ,  $\text{Mg}^{2+} \approx 10\text{--}15\%$ , анионы:  $\text{HCO}_3^- \approx 55\text{--}65\%$ ,  $\text{Cl}^- \approx 25\text{--}30\%$ ,  $\text{SO}_4^{2-} \approx 10\text{--}15\%$ . Тип:  $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ , переходный тип: меньше натрия → слабее ионный обмен, сильно смещены в сторону Ca и  $\text{HCO}_3^-$  кальций-гидрокарбонатные воды. На скважине Карамойин красный круг показывает о низком содержании  $\text{Ca}^{2+}$ , высокое содержание  $\text{Na}^+\text{K}^+$  и высокое содержание  $\text{Cl}^-$ , хлоридно-натриевый тип, солончатая/минерализованная вода. В пределах исследуемой территории прослеживается направленная трансформация гидрохимического состава подземных вод от гидрокарбонатно-кальциевых к гидрокарбонатно-натриевым и далее к хлоридно-натриевым типам.

**Таблица 1.** Данные химического анализа подземных вод Караузякского района

№	Название скважин	Запах	Послевкусие	Мутность	Аммоний ( $\text{NH}_4^+$ ), мг-экв/л	( $\text{NO}_2^-$ ), мг-экв/л	( $\text{NO}_3^-$ ), мг-экв/л	Окисляемость	Сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), мг-экв/л	Полная минерализация (сухой остаток)	Общее железо ( $\text{Fe}^{+2}$ и $\text{Fe}^{+3}$ ), мг-экв/л	Медь ( $\text{Cu}^{+2}$ ), мг-экв/л	Фтор ( $\text{F}^-$ ), мг-экв/л	Свинец ( $\text{Pb}$ ), мг-экв/л	Марганец ( $\text{Mn}^{+2}$ ), мг-экв/л
1	Баг-ауыл	0	2	1,3	1,27	0,02	0,0	4,1	705,6	2970	0,04	0,04	1,1	0	0
2	Есим-озек	0	2	0,2	0,9	0,0	0,0	2,3	508,8	2190	0,06	0	1,56	0	0
3	Карамойын	2	2	0,5	0,13	0,03	0,0	2,6	537,6	2250	0	0	1,3	0	0
4	Коримли	0	2	0,8	1,1	0,02	0,0	3,4	494,4	2900	0,06	0	1,08	0	0,001
5	Скв.№ 60	1	2	0,2	1,0	0,06	2,55	5,5	302,4	2960	0	1,18	1,44	0	0,001
6	Скв.№ 26/426	1	2	0,7	1,5	0,0	1,76	3,3	936,0	4800	0,12	5,76	0,70	0	0,003
7	Скв.№ 26/426а	1	2	0,0	1,5	0,02	0,79	5,4	724,8	3520	0	3,78	0,48	0	0,001
8	Скв.№ 88	2	2	1,1	1,5	0,01	7,04	2,2	432,0	3430	0,12	3,0	0,32	0	0,002
9	Скв.№ 98	2	0	2,2	0,02	0,07	5,41	1,1	220,8	1010	0,1	3,44	0,18	0	0
10	Скв.№ 99	0	2	0,8	1,5	0,01	1,18	1,6	643,2	3800	0,08	3,20	0,76	0	0,01
11	Скв.№ 100	1	2	0,7	1,5	0,01	0,35	1,7	355,2	2240	0,06	0,74	0,48	0	0,001
12	С.Камалов (Алишер ауыл)	0	2	0,3	0,71	0,01	0,0	2,2	499,2	2100	0	0	1,18	0	0

13	С.Камалов (Орақбай ауыл)	1	2	0,2	0,41	0,01	0,0	3,4	460,8	2350	0,04	0	0,94	0	0
14	Самат ауыл	1	2	0,7	1,15	0,02	0,0	3,0	590,4	2350	0,06	0	1,26	0	0
15	Мешит касы	1	1	1,1	1,26	0,0	0,0	3,6	508,8	2580	0,06	0	1,28	0	0
16	Тауық ферма	2	2	0,7	1,1	0,07	0,0	4,0	566,4	3010	0,04	0	1,1	0	0,001
17	Ферма №1	2	1	0,7	0,4	0,01	0,0	2,7	504,0	1980	0,10	0	1,48	0	0
18	Ферма №2	0	1	0,9	0,2	0,01	0,44	3,0	336,0	2120	0,04	0	1,26	0	0,001
19	Шарыуа ауыл №1	0	2	0,9	1,1	0,02	0,0	4,2	480,0	2640	0,04	0,04	1,18	0	0
20	Шарыуа ауыл №2	2	2	1,0	1,26	0,04	0,0	4,4	504,0	2690	0,02	0	1,02	0	0,001

Данная эволюция обусловлена сочетанием процессов ионного обмена и испарительного концентрирования, наиболее выраженных в скважине Есим-озек, характеризующейся максимальной степенью минерализации. Исследуемые (рис. 5- б) воды характеризуются преобладанием хлоридного анионного состава и варибельным катионным соотношением от кальциево-магниевого до натриевого. Это свидетельствует о сложной гидрогеохимической эволюции, обусловленной сочетанием процессов испарительного концентрирования, ионного обмена и возможного антропогенного воздействия.

Карамойын и некоторые скважины Караузяк № 88, № 60 демонстрируют сдвиг в сторону натриево-хлоридных и смешанных типов более минерализованных, возможно, под влиянием испарения, засоления почвы или древних соляных горизонтов (А. Асаматдинов (а), 2026).

Наличие точек данных с высоким содержанием  $SO_4$  (скважина Есим-озек и некоторые Караузяк) может указывать на влияние сульфатных пород или антропогенного загрязнения (удобрения, дренаж). Такие диаграммы часто используются в исследованиях грунтовых вод в засушливых регионах, включая Республику Каракалпакстан, где наблюдается градиент от пресной воды на аллювиальных конусах до более соленой воды на более низких высотах. Караузяк и окружающие его точки, вероятно, представляют собой разные горизонты или участки одного и того же водоносного комплекса с различной степенью солености (Р. Хожамуратова и др. 2026).

Катионно-анионный анализ подземных вод Караузякского района показал существенную пространственную изменчивость их химического состава. Среди катионов основную роль играют натрий и калий ( $Na^+ + K^+$ ), кальций ( $Ca^{2+}$ ) и магний ( $Mg^{2+}$ ), тогда как анионный состав формируется преимущественно гидрокарбонатами ( $HCO_3^-$ ), хлоридами ( $Cl^-$ ) и сульфатами ( $SO_4^{2-}$ ). Соотношение этих компонентов определяет гидрохимический тип исследуемых вод и отражает особенности процессов водообмена в водоносных горизонтах.

По результатам интерпретации диаграммы Пайпера установлено, что большинство исследованных проб относятся к гидрокарбонатно-натриевому и гидрокарбонатно-кальциевому типам. Для скважин Караузяк № 60 и Караузяк № 88 характерно преобладание катионов  $Na^+ + K^+$  (70–85 % эквивалентного содержания), что свидетельствует о развитии процессов катионного обмена между подземными водами и глинистыми минералами водовмещающих пород. В анионном составе данных вод доминируют гидрокарбонаты  $HCO_3^-$  при заметном участии хлоридов  $Cl^-$ .

Для вод скважины Баг-ауыл характерна повышенная доля кальция  $Ca^{2+}$  и гидрокарбонатов  $HCO_3^-$ , что позволяет отнести их к кальциево-гидрокарбонатному типу.

Формирование такого состава связано с растворением карбонатных пород и относительно слабым влиянием процессов засоления.

В ряде скважин наблюдается увеличение содержания хлоридов  $\text{Cl}^-$  и сульфатов  $\text{SO}_4^{2-}$ , сопровождающееся ростом минерализации. Это указывает на процессы испарительного концентрирования, поступление солей из засоленных пород и вторичное засоление территории. Наиболее минерализованные воды характеризуются переходом от гидрокарбонатного к хлоридно-натриевому типу, что свидетельствует о прогрессирующей гидрогеохимической трансформации водоносной системы.

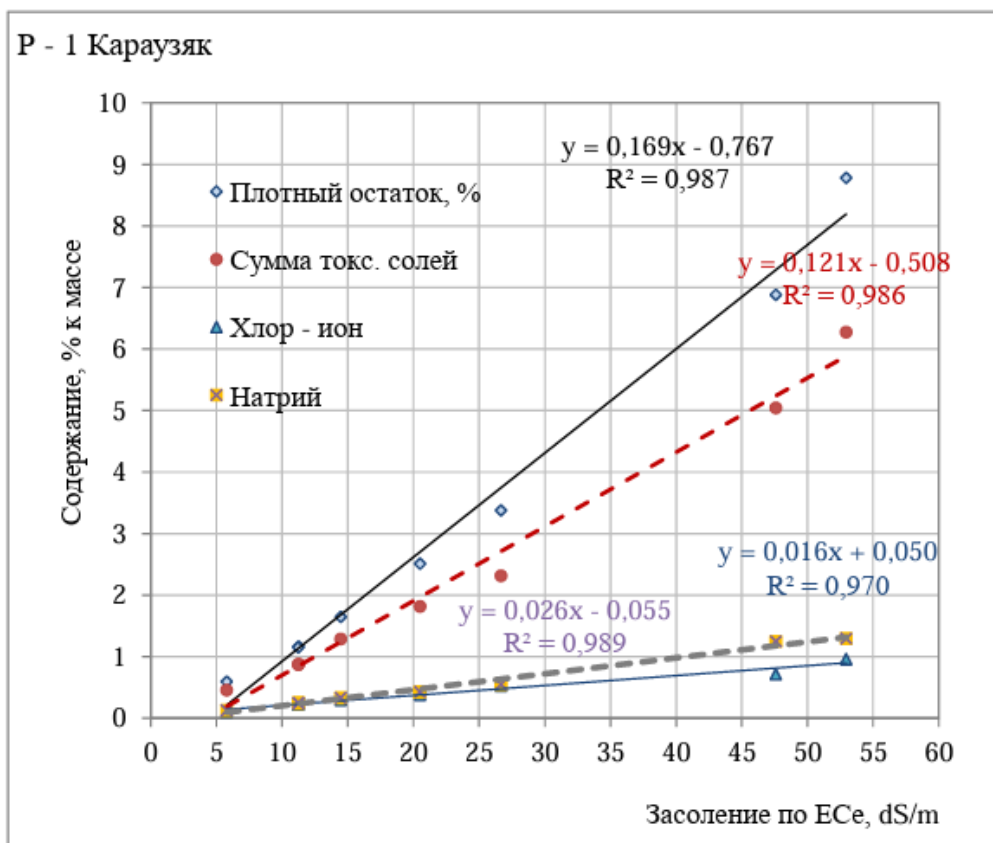
Таким образом, катионно-анионный анализ показал, что химический состав подземных вод Караузякского района формируется под влиянием процессов растворения минералов, ионного обмена, испарительного концентрирования и антропогенной нагрузки. Выявленная смена гидрохимических типов от гидрокарбонатно-кальциевых к гидрокарбонатно-натриевым и далее к хлоридно-натриевым водам отражает усиление процессов минерализации и засоления в условиях аридного климата Приаралья.

pH водной вытяжки из образцов почвы Р-1 Караузяк составляет от 8,4 до 9,4. При этих показателях почва образцов почвенного профиля оценивается как щелочная (pH 8,5 – 9,0) и сильно щелочная (pH более 9,0, таблица №2). Обычно все микроэлементы хорошо усваиваются растениями при pH менее 8,4, то есть показатель pH почвы в обоих почвенных разрезах, ограничивающий доступность микроэлементов для растений (M. Zakirov et al. 2026).

На рисунке №6 представлена зависимость содержания водорастворимых компонентов в почве от степени засоления, выраженной через показатель  $\text{EC}_{1:5}$  ( $\text{dS/m}^{-1}$ ) для участка **Р-1 Караузяк**. Анализ демонстрирует выраженную положительную корреляцию между ростом засоления и накоплением основных солевых компонентов (A. Ajiev et al. 2023). Наиболее интенсивное увеличение наблюдается для плотного остатка, который характеризует общую минерализацию почвенного раствора (A. Асаматдинов (б), 2026). Линейная зависимость описывается уравнением, Коэффициент детерминации  $R^2=0,987$  свидетельствует о высокой степени достоверности модели и практически линейном характере накопления солей при увеличении  $\text{EC}_{1:5}$  ( $\text{dS/m}^{-1}$ ). Это указывает на устойчивое возрастание общей минерализации среды по мере усиления процессов засоления (A. Ажиев и др, 2023).

**Таблица 2.** Результаты измерений pH, электропроводности и определения ионного состава почвы методом водной вытяжки

Горизонты, см	Сумма ток. солей	pH	EC1:5, dS/m	ECe, dS/m	Плотн. остаток, %	Содержание растворимых ионов						
						% к массе						
						$HCO_3^-$	$Cl^-$	$SO_4^{2-}$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+$	$K^+$
Р-1 Кораўзак												
0-25	4,990	8,4	11,90	47,60	6,884	0,031	0,718	3,456	0,218	0,118	1,250	0,450
25-50	5,922	8,7	13,24	52,96	8,782	0,033	0,963	4,416	0,238	0,142	1,300	0,870
50-75	2,282	8,7	6,67	26,68	3,376	0,021	0,525	1,536	0,16	0,071	0,550	0,235
75-100	1,754	9,0	5,13	20,52	2,512	0,020	0,385	1,152	0,094	0,056	0,433	0,154
100-125	1,238	9,4	3,62	14,48	1,648	0,017	0,298	0,720	0,048	0,041	0,333	0,063
125-150	0,874	9,4	2,82	11,28	1,164	0,020	0,245	0,418	0,03	0,025	0,250	0,036
150-200	0,875	9,4	2,81	11,24	1,152	0,020	0,224	0,436	0,032	0,025	0,250	0,032
200-250	0,449	9,3	1,45	5,80	0,596	0,020	0,109	0,240	0,020	0,012	0,130	0,015



**Рисунок 6.** Связь между содержанием отдельных показателей засоления почвы с величиной электропроводности насыщенного почвенного экстракта ЕСе

#### 4. Обсуждение

Ускоренное бурение и отбор приводят к прогрессирующему истощению ресурсов подземных вод. Снижение уровней и напоров в наблюдательных скважинах фиксируется падением уровня на 1,5–5,0 м за 5–10. В артезианских комплексах Южного Приаралья и Устюрта снижение пьезометрических уровней приводит к уменьшению дебитов скважин и риску прекращения самоизлива.

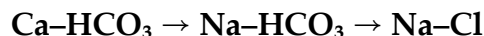
При ухудшении качества воды формируются конусы засоления, минерализация растёт, особенно в периферийных частях линз и при миграции высокоминерализованных вод из глубоких горизонтов. Вторичное засоление усиливается капиллярным поднятием солей при падении уровня.

Сокращение эксплуатационных запасов: Общий отбор подземных вод в Каракалпакстане достигает десятков тысяч м<sup>3</sup>/сут (по состоянию на 2025 г. ~78,61 тыс. м<sup>3</sup>/сут из 699 скважин), превышая естественное пополнение в аридных условиях. Пресные ресурсы аллювия истощаются быстрее, чем восполняются за счёт фильтрации (А. Asamatdinov et al., 2025) из реки и каналов (которая сама сокращается).

Экологические и социально-экономические риски: угроза безвозвратной потери значительной части пресных запасов в ближайшие десятилетия, усиление деградации пастбищ, снижение продуктивности животноводства, рост затрат на опреснение для питьевых нужд.

По результатам проведенных исследований можно выделить следующие новые гидрохимические закономерности:

1. Установлена последовательность гидрогеохимической трансформации подземных вод Караузякского района. Впервые для исследуемой территории показано, что химический состав подземных вод изменяется по схеме:



То есть по мере увеличения минерализации происходит уменьшение доли кальция и гидрокарбонатов и увеличение содержания натрия, хлоридов и сульфатов. Это отражает эволюцию вод от относительно пресных к засоленным.

2. Установлена ведущая роль катионного обмена в формировании натриевых вод. Для скважин Караузяк № 60 и № 88 выявлено преобладание  $\text{Na}^+\text{+K}^+$  (70–85 % эквивалентного состава), что свидетельствует о развитии процессов обмена между подземными водами и глинистыми минералами водовмещающих пород. Ранее для Караузякского района количественная оценка данного процесса не приводилась.

3. Установлена связь между ростом минерализации и изменением анионного состава

Показано, что увеличение общей минерализации сопровождается:

- снижением относительной роли  $\text{HCO}_3^-$ ;
- увеличением содержания  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ ;
- переходом вод к хлоридно-натриевому типу.

Это свидетельствует об усилении процессов испарительного концентрирования и вторичного засоления в условиях аридного климата Приаралья.

4. Установлена количественная зависимость между ЕСе и содержанием водорастворимых солей в почвах. Впервые для почв Караузякского района получена высокая корреляция между электропроводностью насыщенной пасты (ЕСе) и содержанием водорастворимых компонентов:

- коэффициент детерминации  $R^2 = 0,987$ ;
- рост ЕСе сопровождается практически линейным накоплением солей.

Это позволяет использовать ЕСе как надежный диагностический показатель степени засоления почв района.

5. Установлена взаимосвязь между гидрохимией подземных вод и почвенным засолением. Показано, что участки с повышенной минерализацией подземных вод характеризуются:

- высокой щелочностью почв (рН 8,4–9,4);
- повышенным содержанием водорастворимых солей;
- усилением процессов вторичного засоления.

Для Караузякского района эта связь рассмотрена комплексно в системе «подземные воды – почва».

## 5. Заключение

Подземные воды Каракалпакстана остаются критически важным ресурсом в условиях экологического кризиса Приаралья. Однако текущие объёмы отбора уже превышают естественное пополнение в аридных условиях, а интенсивная эксплуатация ускоряет истощение и деградацию качества. Переход к устойчивому управлению требует немедленного внедрения современных технологий мониторинга, защиты и восполнения запасов, а также интеграции климатических сценариев в долгосрочное планирование.

Перспективы дальнейших исследований связаны с углублённым изучением процессов формирования и трансформации химического состава подземных вод Караузякского района в условиях продолжающейся аридизации климата и антропогенной нагрузки. В первую очередь целесообразно расширить сеть наблюдательных скважин и выполнить многолетний мониторинг гидрохимических показателей для выявления сезонной и межгодовой динамики минерализации подземных вод.

## 6. Вспомогательный материал: нет вспомогательного материала.

## 7. Вклады авторов

Концептуализация - Ш.М., А.А.; методология - Ш.М.; программное обеспечение - О.К.; валидация - О.К., А.А.; формальный анализ - А.А., О.К.; исследование - А.А., Ш.М., О.К.; ресурсы - А.А.; курирование данных - Ш.М.; написание - подготовка оригинального черновика - А.А.; написание - рецензирование и редактирование - Ш.М.; визуализация - А.А.; руководство - А.А.; администрирование проекта - А.А.; получение финансирования - А.А.

## 8. Информация об авторах

Асаматдинов, Алим – доцент кафедры химии, Нукусский государственный педагогический институт им. Ажинияза, ул. П. Сейтова, б/н, Нукус, Узбекистан, 230100; [asamatdinov1973@gmail.com](mailto:asamatdinov1973@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0006-6572-7333>

Муродов, Шухрат – профессор, доктор технических наук, Научно-исследовательский институт окружающей среды и природоохранных технологий, Ташкент, Узбекистан, 111104; [m.oikos@mail.ru](mailto:m.oikos@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0006-9815-7664>

Кудияров, Оралбай – независимый соискатель, Среднеобразовательная школа №12 Канлыккульского района, Узбекистан, 230100; [kudyarovoralbay33@gmail.com](mailto:kudyarovoralbay33@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0006-9362-3283>

**9. Финансирование:** Данная статья подготовлена при поддержке совместного проекта «FARM – Содействие устойчивым решениям в области использования подземных вод для сельских фермерских общин в Каракалпакстане, Узбекистан», финансируемого Федеральным министерством исследований и образования Германии (BMBF) и Министерством высшего образования, науки и инноваций Узбекистана (MHESI).

**10. Благодарности:** Мы выражаем благодарность сотрудникам Приаральской гидрогеологической экспедиции за предоставление данных и техническую помощь.

**11. Конфликты интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

## 12. Список литературы

1. Asamatdinov, A., & Dzhaksymuratov, K. (2025). Hydrogeological conditions of the dried-up bottom of the Aral Sea and adjacent territories of the South Aral Sea artesian basin. *Journal of Science and Education in Karakalpakstan*, 3(2), 114–116.
2. Asamatdinov, A., & Dzhaksymuratov, K. (2025). Prospects for the use of groundwater in the Aral Sea region for the sustainable development of the region. *Journal of Science and Education in Karakalpakstan*, 5(3), 49–55.
3. Bakhiev, Kh. A. (2025). Monitoring of the composition and quality of water resources in Karakalpakstan (Monitoring sostava i kachestva vodnykh resursov v Karakalpakstane in Russian). *Universum: Tekhnicheskie nauki*, 141(12).
4. Bekturganov, Z., Tussupova, K., Berndtsson, R., Sharapatova, N., Aryngazin, K., & Zhanasova, M. (2016). Water related health problems in Central Asia – a review. *Water*, 8(6), 219. <https://doi.org/10.3390/w8060219>
5. Chembarisov, E. I. (2022). *Features of hydrological and reclamation monitoring of the irrigated territory of the Republic of Karakalpakstan* (Osobennosti gidrologicheskogo i meliorativnogo monitoringa oroshaemoi territorii Respubliki Karakalpakstan in Russian). Lesson Press.
6. Guo, L., Zhou, H., Xia, Z., & Huang, F. (2016). Evolution, opportunity and challenges of transboundary water and energy problems in Central Asia. *SpringerPlus*, 5. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3616-0>

7. Hamidov, A. (2020). Impact of climate change on groundwater management in the northwestern part of Uzbekistan. *Agronomy*, 10(8), 1173. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081173>
8. Karakalpak State Geophysical Service. (2025). *Report on groundwater monitoring in the Republic of Karakalpakstan for 2022–2025*.
9. Karkra, R., Kumar, P., Bansod, B. K. S., Bagchi, S., Sharma, P., & Krishna, C. R. (2017). Classification of heavy metal ions present in multi-frequency multi-electrode potable water data using evolutionary algorithm. *Applied Water Science*, 7, 3679–3689. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0514-0>
10. Leng, P., Zhang, Q., Li, F., Kulmatov, R., Wang, G., Qiao, Y., Wang, J., Peng, Y., Tian, C., Zhu, N., Hirwa, H., & Khasanov, S. (2021). Agricultural impacts drive longitudinal variations of riverine water quality of the Aral Sea basin: Amu Darya and Syr Darya rivers, Central Asia. *Environmental Pollution*, 284, 117405. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117405>
11. Lilly, L., Stefan, C., & Asamatdinov, A. (2026). Development of a web-based hydro-environmental atlas for the Republic of Karakalpakstan, Uzbekistan. *Universum Journal*, 3(44).
12. Ososkova, T., Gorelkin, N., & Chub, V. (2000). Water resources of Central Asia and adaptation measures for climate change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 61, 161–166. <https://doi.org/10.1023/A:1006394808699>
13. Pan, X. (2020). Quantitative detection and attribution of groundwater level variations in the Amu Darya Delta. *Water*, 12(10), 2869. <https://doi.org/10.3390/w12102869>
14. Qadir, M., Noble, A. D., Qureshi, A. S., Gupta, R. K., Yuldashev, T., & Karimov, A. (2009). Salt-induced land and water degradation in the Aral Sea basin: A challenge to sustainable agriculture in Central Asia. *Natural Resources Forum*, 33(2), 134–149. <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2009.01217.x>
15. Rakhmatullaev, Sh. (2012). Groundwater resources of Uzbekistan: an environmental and operational overview. *Central European Journal of Geosciences*, 4(1), 67–80.
16. Ruan, H. W., Yu, J. J., Wang, P., & Wang, T. Y. (2020). Increased crop water requirements have exacerbated water stress in the arid transboundary rivers of Central Asia. *Science of the Total Environment*, 713, 136585. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136585>
17. Tlueova, A. (2023). Relation of hydrogeology and contaminant sources to drinking water quality in Southern Kazakhstan. *Water*, 15(24), 4240. <https://doi.org/10.3390/w15244240>
18. Törnqvist, R., Jarsjö, J., & Karimov, B. (2011). Health risks from large-scale water pollution: Trends in Central Asia. *Environment International*, 37(2), 435–442. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.11.006>
19. Zakirov, M. M., Ochilov, G. E., Djaksimuratov, K. M., Asamatdinov, A. O., & Snow, D. (2026). Key characteristics of the ecological and geodynamic conditions in Southern Karakalpak Ustyurt of Uzbekistan. *Land*, 15, 782. <https://doi.org/10.3390/land15050782>
20. Khojamuratova, R., Dzhaksymuratov, K., & Asamatdinov, A. (2026). Groundwater monitoring for water supply and land irrigation in the Karauzyak district (Monitoring gruntovykh vod v tselyakh vodosnabzheniya i orosheniya zemel 'v Karauzyakskom raione in Russian). In *Innovative equipment and technologies for agricultural development under climate change and water scarcity in the Aral Sea region* (Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologii dlya razvitiya sel'skogo khozyaistva v usloviyakh izmeneniya klimata i nekhvatki vody v regione Aral'skogo moraya) (pp. 6–64). Nukus, Uzbekistan.
21. Asamatdinov, A. O. (2026a). Groundwater monitoring of the Karauzyak district (Monitoring gruntovykh vod Karauzyakskogo raiona in Russian). *Universum: Tekhnicheskie nauki*, 3(144), 8–14. <https://doi.org/10.32743/UniTech.144.3.22233>
22. Asamatdinov, A. O. (2026b). Physicochemical characteristics of Aralkum sands (Fiziko-khimicheskaya kharakteristika peskov Aralkumov in Russian). *Universum: Tekhnicheskie nauki*, 3(144), 22–28. <https://doi.org/10.32743/UniTech.2024.144.3.22232>

23. Asamatdinov, A. O., Dzhaksymuratov, K. M., & Yessenbaev, G. R. (2025). The study of groundwater in the Karauzyak district for the sustainable development of human settlements. *Science and Education in Karakalpakstan*, 3(1), 31–35.
24. Azhiev, A., Mambetullaeva, S., & Orazbaev, T. (2023). Current state of the soil cover formed on the dried-up bottom of the Aral Sea (Sovremennoe sostoyanie pochvennogo pokrova, obrazovavshegosya na obsokhsheem dne Aral'skogo morya in Russian). *Vestnik KKO AN RUz*, 2, 42–49.
25. Ajiev, A., Mambetullaeva, S., & Orazbayev, T. (2023). The current state of the soil cover formed on the dried-up bottom of the Aral Sea. *Lampyrid*, 13, 403–412.

## **Қарақалпақстан Республикасының жер асты сулары мен топырақтың химиялық қасиеттерін Қараөзек аудандарының мысалында зерттеу**

**Алим Асаматдинов, Шухрат Муродов, Оралбай Кудияров**

**Аңдатпа:** Бұл мақалада Арал теңізі аймағындағы климаттық құрғақшылық пен су тапшылығының артуы жағдайында Қарақалпақстан Республикасының Қараөзек ауданындағы жер асты сулары мен топырақтарының химиялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Аймақтың гидрогеологиялық жағдайларына талдау жүргізілді, 20 өндірістік ұңғымадан алынған деректер негізінде жер асты суларының минералдануы мен гидрохимиялық құрамы бағаланды, сондай-ақ тұздану көрсеткіштері мен топырақ профилінің агрохимиялық қасиеттері зерттелді. Гидрохимиялық сипаттамаларды түсіндіру үшін Пайпер диаграммасы қолданылды, бұл жер асты суларының негізгі түрлерін және олардың геохимиялық эволюциясының бағыттарын анықтауға мүмкіндік берді. Ион алмасу, булану концентрациясы және екінші реттік тұздану процестерінен туындаған сулардың химиялық құрамының гидрокарбонат-кальцийден гидрокарбонат-натрийге дейін хлорид-натрийге бірізді түрде өзгеруі анықталды. Зерттелген үлгілердің көпшілігінде натрий мен гидрокарбонат иондарының басым болуы анықталды және жер асты суларының минералдануының артуы мен оның сапасының нашарлауы арасындағы байланыс көрсетілді. Топырақ талдауы сілтілі рН (рН 8,4–9,4), суда еритін тұз мөлшерінің жоғары екенін және қаныққан топырақ сығындысының электр өткізгіштігі мен жалпы тұз мөлшері арасындағы күшті корреляцияны ( $R^2 = 0,987$ ) анықтады. Бұл нәтижелер жер асты суларының гидрогеохимиялық трансформация үдерістері мен топырақтың екінші реттік тұздануы арасындағы тығыз байланысты көрсетеді. Бұл зерттеудің практикалық маңыздылығы жер асты суларын бақылауды жақсарту, экологиялық тәуекелдерді бағалау және Арал теңізі аймағының экологиялық дағдарысы жағдайында су ресурстарын тұрақты басқару шараларын әзірлеу үшін осы заңдылықтарды пайдалану мүмкіндігінде жатыр.

**Түйін сөздер:** жер асты сулары; Қараөзек ауданы; Қарақалпақстан Республикасы; гидрохимиялық құрамы; минералдануы; топырақтың тұздануы; электр өткізгіштігі; Пайпер диаграммасы; гидрогеохимиялық трансформация; Арал теңізі аймағы.

## **Study of the chemical properties of groundwater and soil in the Republic of Karakalpakstan on the example of the Karauzyak district**

**Alim Asamatdinov, Shukhrat Murodov, Oralbay Kudiyarov**

**Abstract:** This article presents the results of a study of the chemical properties of groundwater and soils in the Karauzyak district of the Republic of Karakalpakstan under conditions of increasing climatic aridity and water shortages in the Aral Sea region. An analysis of the hydrogeological conditions of the region was conducted, an assessment of the mineralization and hydrochemical composition of groundwater was made based on data from 20 production wells, and salinization indicators and the agrochemical properties of the soil profile were also investigated. A Piper diagram was used to interpret the hydrochemical characteristics, allowing us to identify the main types of groundwater and the directions of their geochemical evolution. A consistent transformation of the chemical composition of the waters from hydrocarbonate-calcium through hydrocarbonate-sodium to chloride-sodium was revealed, caused by the processes of ion exchange, evaporative concentration, and secondary salinization. The predominance of sodium and hydrocarbonate ions was established in most of the studied samples, and a relationship was demonstrated between the increase in groundwater mineralization and the deterioration of its quality. Soil analysis revealed an alkaline pH (pH 8.4–9.4), elevated water-soluble salt content, and a strong correlation between the electrical conductivity of the saturated soil extract and the total salt content ( $R^2 = 0.987$ ). These results demonstrate a close relationship between the processes of hydrogeochemical transformation of groundwater and secondary soil salinization. The practical significance of this study lies in the potential use of these patterns to improve groundwater monitoring, assess environmental risks, and develop measures for sustainable water resource management in the context of the Aral Sea region's environmental crisis.

**Keywords:** groundwater; Karauzyak district; Republic of Karakalpakstan; hydrochemical composition; mineralization; soil salinization; electrical conductivity; Piper diagram; hydrogeochemical transformation; Aral Sea region.