

The operational reserves of groundwater in industrial categories A+B are 2.65 times greater than the actual consumption of the main subsoil users and nearby rural settlements of the Zhambyl and Baizak districts, which are within the contour of the field. And if we take the operational reserves of groundwater of the field in categories A+B+C₁+C₂ in the amount of 502.5 thousand m³ / day, then they are 4.3 times greater than the actual consumption of the main subsoil users and nearby rural settlements of the Zhambyl and Baizak districts, which are within the contour of the field.

If we take the operational reserves of groundwater of the field in categories A+B+C₁+C₂ in the amount of 502.5 thousand m³/day, then they are 4.3 times greater than the actual consumption of the main subsoil users and nearby rural settlements of the Zhambyl and Baizak districts, which are located in the contour of the field.

The operational reserves of groundwater of the deposit will easily provide the city of Taraz, industrial facilities and rural settlements of the Zhambyl and Baizak districts of the Zhambyl region, which are located in the contour of the Southern part of the TAD groundwater for the next 100 years, even if the demand increases by 3 times.

Key words: groundwater, deposit, operational reserves, demand, rural settlements, industrial categories, domestic and drinking water supply, river, mineralization.

Вклад авторов:

Тажиев Султан Рысниязович - формальный анализ, методология, проверка, обзор и редактирование

Муртазин Ермек Жамшитович - курирование данных

Айнаева Адина Эділқызы – обзор, курирование данных

Аденова Динара Кызыбаевна - администрирование проекта

Рахимова Валентина Станиславовна - курирование данных

МРНТИ 38.61.05

DOI <https://doi.org/10.37884/3-2025/42>

Д.К. Аденова, Е.Ж. Муртазин, О.Л. Мирошинченко, Е.В. Сотников, С.Р. Тажиев*

¹ Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, Алматы, Казахстан,
adenovadinara@gmail.com*, ye_murtazin@list.ru, o_mirosh@mail.ru,
sotnikov_yevgeniy@mail.ru, sula_tashiev@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МОНИТОРИНГЕ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ ШУ-ТАЛАССКОГО БАССЕЙНА

Аннотация

Шу-Таласский трансграничный бассейн играет ключевую роль в обеспечении водными ресурсами сельскохозяйственного производства, промышленности и населения приграничных районов Казахстана и Кыргызстана. В условиях обостряющихся климатических изменений, учащающихся засух и неравномерного распределения водных потоков возрастает нагрузка на водные трансграничные ресурсы, что требует внедрения современных методов управления. Одним из наиболее перспективных направлений является применение цифровых технологий, которые позволяют повысить точность, оперативность и прозрачность водного мониторинга. В статье рассматриваются передовые цифровые инструменты, включая геоинформационные системы (ГИС) и цифровое моделирование водного баланса. Особое вниманиеделено практикам ГИС-картирования распределения стока, позволяющим наглядно оценить пространственно-временные изменения в бассейне рек Шу и Талас, а также моделям прогнозирования и сценарного анализа. Отдельно анализируются проблемы открытости и

согласованности водных данных между странами, ограничивающие потенциал цифровой трансформации в трансграничном управлении. Представлены предложения по созданию единой цифровой платформы и гармонизации стандартов мониторинга. Целью исследования является обоснование необходимости комплексной цифровизации водного управления как основы устойчивого водопользования и эффективного трансграничного сотрудничества в бассейне рек Шу и Талас.

Ключевые слова: трансграничные подземные воды, водная безопасность, управление ресурсами, ГИС-технологии, Шу-Таласский бассейн.

Введение

Проблема устойчивого управления подземными водами трансграничных бассейнов приобретает всё большую значимость в контексте изменения климата, роста антропогенной нагрузки и увеличения потребления водных ресурсов. Шу-Таласский трансграничный бассейн, расположенный на территории Республики Казахстан и Кыргызской Республики, представляет собой важный гидрогеологический объект, где подземные воды играют ключевую роль в обеспечении водоснабжения населения, промышленности сельского хозяйства, орошения земель и обводнения пастбищ [1-4].

Учитывая высокую зависимость приграничных территорий от емкостных и возобновляемых ресурсов подземных вод, необходима регулярная оценка их состояния и рациональное управление, основанное на объективных, пространственно- и временно-согласованных данных. Однако эффективный мониторинг водоносных горизонтов затруднён в силу слабой развитости сети наблюдательных скважин, фрагментарности данных, а также отсутствия единой межгосударственной цифровой инфраструктуры для обмена гидрогеологической информацией [5-6].

На этом фоне возрастает значение применения цифровых технологий — геоинформационных систем (ГИС), дистанционного зондирования, автоматизированных станций мониторинга и численного моделирования подземных вод. Эти инструменты позволяют получать комплексную, оперативную и научно обоснованную информацию о динамике водоносных горизонтов, выявлять зоны дефицита, прогнозировать последствия водопользования и обеспечивать прозрачность в трансграничном управлении. В современных условиях цифровизация гидрогеологических наблюдений становится не просто технологической модернизацией, но и необходимым условием устойчивого и координированного водопользования в пределах бассейна [7-9].

В данной статье рассматриваются современные подходы к мониторингу подземных вод с использованием цифровых инструментов, включая геоинформационные системы (ГИС) и численное моделирование. Особое внимание уделяется потенциалу цифровизации в повышении прозрачности, согласованности и научной обоснованности принимаемых управленческих решений в Шу-Таласском трансграничном бассейне.

Методы и материалы

Исследование основано на комплексном междисциплинарном подходе, включающем использование цифровых технологий для сбора, обработки, визуализации и анализа информации о состоянии подземных вод в пределах Шу-Таласского трансграничного бассейна.

1. Анализ фоновых материалов, параметров и проб воды гидрогеологических скважин.
2. Полевые изыскания с установлением географической привязки гидрогеологических скважин и оценкой влияния на состояние окружающей среды.
3. Химический анализ проб воды из скважин для оценки возможности их использования для хозяйствственно-питьевого водоснабжения и орошения земель.
4. Геоинформационное сопровождение работ для накопления данных о состоянии гидрогеологических скважин. Использовались программные средства ArcGIS для пространственной привязки и анализа данных гидрогеологических скважин, границ бассейна, зон водозабора и потенциальных источников загрязнения. Создавались тематические карты:

гидрогеологических и геологических условий; распределения уровней подземных вод; участков превышения предельно допустимых концентраций (ПДК).

5. Произведён анализ существующих архивных и оперативных данных наблюдений за уровнем и минерализацией подземных вод, включая данные наблюдательных пунктов, предоставленные государственными водными и экологическими учреждениями Казахстана. Выполнена предварительная гармонизация разрозненных данных с приведением их к единому формату.

Применённые методы направлены на обеспечение объективной оценки емкостных и возобновляемых ресурсов подземных вод, пространственно-временной динамики уровня и качества вод, а также оценку трансграничных рисков истощения и загрязнения водоносных горизонтов.

Результаты и обсуждение

Казахстан граничит с Российской Федерацией, Китайской Народной Республикой, а также Республиками Узбекистан и Кыргызстан, с которыми разделяет ряд трансграничных водных объектов как поверхностных (реки и озёра), так и подземных (водоносные горизонты и гидрогеологические комплексы). Эти водные системы функционально взаимосвязаны с другими экосистемами, формируя единое природное пространство в пределах общих географических зон и геологических структур [10].

По Республике Казахстан выделено 15 трансграничных бассейнов подземных вод (Таб.1).

Таблица 1 – Общая характеристика трансграничных бассейнов подземных вод

| №№ | Бассейн | Протяженность гос - границы, км | Площадь в пределах РК, тыс.кв.км |
|---|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| А. Граница Республика Казахстан – Российская Федерация | | | |
| 1 | Северо-Казахстанский | 1840 | 147,6 |
| 2 | Прииртышский | 1055 | 97,3 |
| 3 | Прикаспийский | 1680 | 75,0 |
| 4 | Сыртовский | 212 | 2,41 |
| 5 | Южно-Предуральский | 106 | 9,51 |
| Б. Граница Республики Казахстан – Китайская Народная Республика | | | |
| 6 | Зайсанский | 115 | 30,0 |
| 7 | Алакольский | 240 | 26,0 |
| 8 | Жаркентский | 115 | 12,2 |
| 9 | Текесский | 80 | 1,8 |
| В. Граница Республики Казахстан – Кыргызстан | | | |
| 10 | Шуйский | 200 | 7,3 |
| 11 | Северо-Таласский | 58 | 0,672 |
| 12 | Южно-Таласский | 54 | 1,16 |
| Г. Граница Республики Казахстан – Узбекистан | | | |
| 13 | Приташкентский | 394 | 17,0 |
| 14 | Сырдарынинский | 960 | 189,0 |
| 15 | Амударынинский | 700 | 122,5 |
| | | 350* | |

Примечание: * Протяженность госграницы с Туркменией

К трансграничным относятся любые поверхностные или подземные воды, которые обозначают, пересекают границы между двумя и более государствами или расположены в таких границах. Такое определение трансграничных вод дается в Хельсинской конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер, которая была подписана 17 марта 1992 года и вступила в силу 6 октября 1996 года. В настоящее время в Конвенции участвует 35 государств, включая Европейский Союз. 23 октября 2000 года принят Закон №94-п о присоединении Республики Казахстан к Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Водная Конвенция, 2000 г.).

Жамбылская область относится к регионам, не испытывающим дефицита в источниках хозяйственно-питьевого водоснабжения, только отдельные районы северной и северо-восточной ее части отличаются весьма слабой обеспеченностью водными ресурсами. В связи с благоприятными гидрогеологическими условиями хозяйственно-питьевое водоснабжение населения осуществляется преимущественно за счет подземных вод аллювиально-пролювиальных четвертичных отложений конусов выноса и предгорных равнин Киргизского Алатау, а также аллювиальных отложений долин рек Шу, Талас, Асы, Курагаты, которые широко используются для водоснабжения городов, сельских населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных объектов (рис.1) [11].



Рисунок 1 – Обзорная карта района работ (Кордайский район)

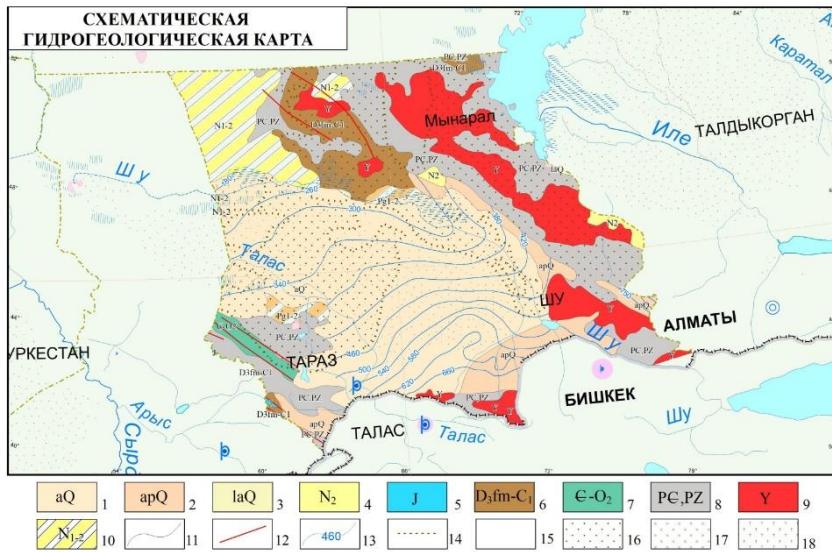
Водный режим рек Шу и Талас характеризуется снеголедниковым питанием. Площадь оледенения в бассейнах рек Шу и Талас составляет 762 км^2 . Ледники накладывают особый отпечаток на гидрологический режим рек: колебания стока горных рек из года в год выровнены, степень оледенения определяет водоносность рек от 50-60% объема годового стока. С уменьшением высоты возрастает доля сезонных снегов до 70 %, дождевая составляющая увеличивается по мере снижения высоты местности от 2 до 11 %. Водные ресурсы бассейнов рек Шу и Талас составляют $4,67 \text{ км}^3$, из них $3,36 \text{ км}^3$ формируется на территории Республики Кыргызстан, в Казахстане $1,29 \text{ км}^3$ [12].

Пространственная визуализация состояния подземных вод

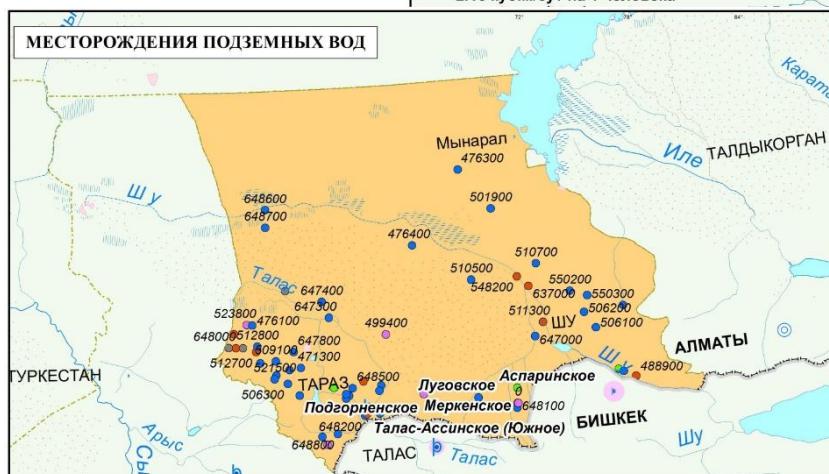
В результате применения ГИС-технологий выполнено пространственное картографирование уровней подземных вод в пределах Шу-Таласского трансграничного бассейна.

Геоинформационная база данных Шу-Таласского трансграничного бассейна включает базу семантических данных и базу графических данных (рис.2). В базе семантических данных информация представлена в табличной форме, в базе графических данных – в виде карт. Элементы, содержащиеся в базах семантических и графических данных, связаны между собой. В качестве атрибутивной информации для графических объектов могут выступать таблицы, принадлежащие базе семантических данных. База графических данных создана средствами ArcGIS, база семантических данных – Excel.

Карты базы графических данных состоят из слоев, выделенных в соответствии с типом представленной информации. Для каждого слоя задаются географическая проекция и структура атрибутивных данных. Данные вводятся путем оцифровки.



Площадное распространение гидрогеологических подразделений, залегающие первыми от поверхности земли. Водоносные горизонты и комплексы, водоносные зоны трещиноватости: 1 – четвертичный аллювиальный комплекс; 2 – четвертичный аллювиально-пропилювальный комплекс; 3 – четвертичный озерно-аллювиальный комплекс; 4 – плиоценовый комплекс; 5 – юрский комплекс; 6 – комплекс преимущественно фамен-нижнекаменноугольных трещиноватых и закарстованных карбонатных пород; 7 – комплекс преимущественно кембрю-среднеорловских трещиноватых и закарстованных карбонатных пород; 8 – зона трещиноватости докембрийских нерасчлененных палеозойских пород; 9 – зона трещиноватости разновозраст локально-водоносный горизонт неогеновых отложений залегающих первыми от поверхности; 12 – тектонически отмеченной уровня грунтовых вод, м; 14 – участки подземных вод 16 – 1 – 3 г/дм³; 17 – 3 – 5 г/дм³; 18 – 5 г/дм³.



Месторождения подземных вод и их целевое назначение

- Хозяйственно-питьевое водоснабжение
 - Орошение земель
 - Хозяйственно-питьевое водоснабжение и орошение земель
 - Хозяйственно-питьевое и производственно-техническое водоснабжение
 - Производственно-техническое водоснабжение

Цифра - наименование месторождения или его номер по ГВК

Рисунок 2 – Геоинформационная база данных

Построенные изолинии уровня позволили выявить общие направления фильтрационного потока, подтверждающие существование гидравлической связи между водоносными горизонтами двух стран. Установлены локальные зоны пониженного давления, приуроченные к районам интенсивного водоотбора для ирригационных нужд, особенно на казахстанской стороне бассейна (Жамбылская область) (рис.3).

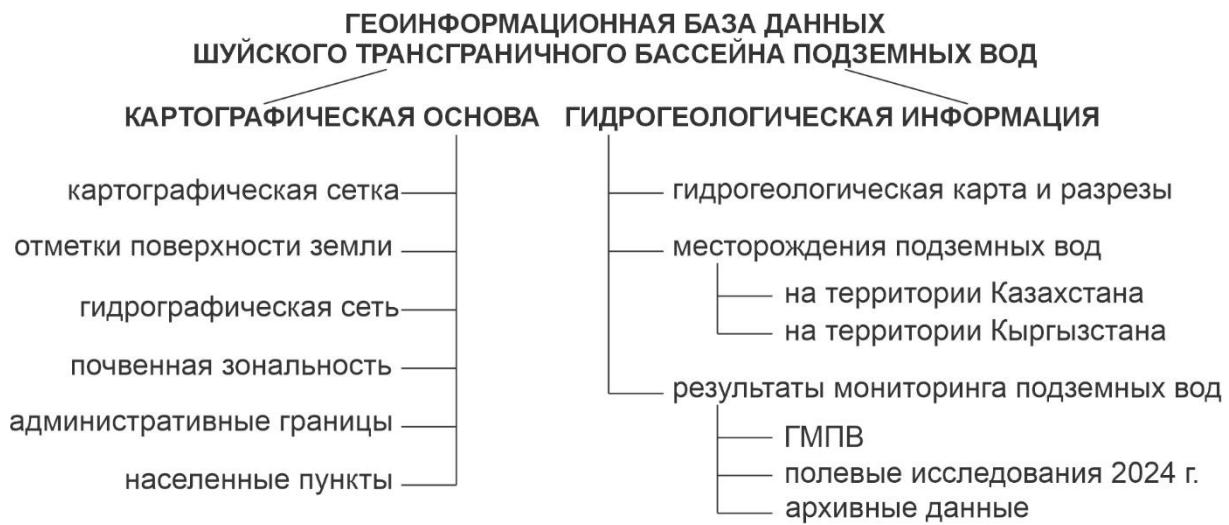


Рисунок 3 – Структура геоинформационной базы данных

Качество подземных вод и риски трансграничного загрязнения

Подземные воды Шу-Таласского бассейна (рис. 4) представляют собой важный компонент водных ресурсов региона, используемых преимущественно для орошения сельскохозяйственных угодий, а также для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения. Учитывая выраженную гидродинамическую связь водоносных горизонтов на территории Казахстана и Кыргызстана, вопросы качества и рационального использования подземных вод приобретают не только локальное, но и трансграничное значение. Химический состав вод формируется под влиянием природных факторов (геологическое строение, гидрогеохимические условия, климатические особенности) и антропогенных нагрузок (интенсивное земледелие, использование минеральных удобрений, промышленные и коммунальные сбросы). В этой связи проведение оценки химического состава, выявление зон потенциального загрязнения и установление тенденций изменения качества подземных вод являются необходимыми мерами для предупреждения негативных последствий как для экосистем бассейна, так и для здоровья населения обоих государств. Полученные данные могут служить научной основой для разработки совместных программ мониторинга, экологической политики и мер по обеспечению устойчивого водопользования в условиях трансграничного характера бассейна.

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА
ШУЙСКОГО ТРАНСГРАНИЧНОГО БАССЕЙНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД**



Гидрогеологические подразделения

- aQ_{III-IV} Водоносный верхнечетвертичный-современный аллювиальный горизонт (гравийно-галечники, разнозернистые пески, супеси и суглинки)
- apQ_{II-III} Водоносный средне-верхнечетвертичный аллювиально-пролювиальный комплекс (валунно- и гравийно-галечники с редкими прослойями грубозернистых песков, галечники, гравий с разнозернистым песчаным заполнителем, суглинки, глины)
- aQ_{II} Водоносный среднечетвертичный аллювиальный горизонт (тонкозернистые пески, с прослойями и линзами слабосцементированных карбонатно-глинистым цементом песчаников, супесей и суглинков)
- N Водоносный неогеновый комплекс (переслаивание песков гравийно-галечников и глин, ниже встречаются прослойи слабосцементированных песчаников залегающих среди аргиллитов)

Зоны разломов

- выходящий на поверхность
- гидрогеологическое значение не выяснено

▲ Участки интенсивной разгрузки

↓ Участки разгрузки

↔ Участки интенсивной инфильтрации

Естественные водопроявления (родники)

- восходящий
- нисходящий

Химический состав воды

- гидрокарбонатно-сульфатный
- гидрокарбонатный
- сульфатно-гидрокарбонатный
- сульфатно-хлоридный
- сульфатный

Искусственные водопроявления

- Скважины

Рисунок 4 – Гидрогеологическая карта Шуйского трансграничного бассейна подземных вод

В процессе исследований по каждому водозабору были отобраны пробы воды на соответствие санитарно-эпидемиологическим требованиям к водоисточникам (таб.2), местам водозабора для хозяйствственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов, согласно Приказу министра здравоохранения Республики Казахстан от 20 февраля 2023 года № 26.

Таблица 2 – Общая характеристика трансграничных бассейнов подземных вод

| Na | Катионы | | | Анионы | | | | | | F | Al ³⁺ | Be ²⁺ | B | Cd | Co | Si | Li | Mn | Cu | Mo | As | Ni | Hg | Pb | Se | Ag | Se ²⁺ | Cr | CN ⁻ | Zn ²⁺ | | |
|-------|---------|------------------|------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|--------|---------|-------|---------|--------|------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|------------------|---------|-----------------|------------------|--------|--------|
| | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | NH ₄ ⁺ | Fe ²⁺ | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 0,25 | 0,05 | 0,005 | 0,03 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 0,025 | 5 | | |
| 200 | | 2 | 0,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 55,00 | 2,90 | 88,10 | 34,00 | <0,05 | <0,1 | <6,0 | 311,20 | 25,90 | 157,30 | 13,00 | <0,005 | 1,50 | <0,001 | <0,0001 | 0,01 | <0,0001 | 0,02 | 7,14 | 0,016 | 0,016 | 0,025 | 0,057 | <0,0001 | 0,027 | <0,001 | <0,0001 | 0,014 | 1,034 | 0,016 | <0,005 | 0,004 | |
| 46,10 | 15,80 | 24,00 | 14,60 | <0,05 | <0,1 | <6,0 | 189,20 | 17,70 | 69,60 | 4,00 | <0,005 | 1,20 | <0,001 | <0,0001 | <0,01 | 0,004 | 0,084 | 6 | 0,008 | 0,0430 | 0,0130 | 0,0190 | 0,0066 | <0,0001 | 0,0200 | 0,0028 | 0,0001 | 0,1825 | 0,0098 | <0,005 | 0,0005 | |
| 18,40 | 1,50 | 64,10 | 18,20 | <0,05 | <0,1 | <6,0 | 231,90 | 11,30 | 53,10 | 14,00 | <0,005 | 1,50 | <0,001 | <0,0001 | <0,01 | 0,001 | 0,099 | 7,7 | 0,005 | 0,0120 | 0,0130 | 0,0330 | <0,0001 | 0,0130 | 0,0052 | 0,4 | 0,021 | <0,005 | 0,0028 | | | |
| 9,00 | 1,50 | 44,00 | 7,30 | <0,05 | <0,1 | <6,0 | 152,50 | 7,10 | 28,40 | 6,00 | <0,005 | 1,30 | <0,001 | <0,0001 | <0,01 | 0,009 | 0,048 | 5,3 | 0,008 | 0,0140 | 0,0180 | 0,0230 | <0,0001 | 0,0081 | <0,0001 | 0,0007 | 0,181 | 0,0110 | <0,005 | 0,0020 | | |
| 56,30 | 2,60 | 50,10 | 19,50 | <0,05 | <0,1 | <6,0 | 219,70 | 18,80 | 106,60 | 8,00 | <0,005 | 1,20 | <0,001 | <0,0001 | <0,01 | 0,009 | 0,086 | 7,3 | 0,01 | 0,0160 | 0,0110 | 0,0900 | <0,0001 | 0,0120 | <0,0001 | 0,03 | 0,0055 | 0,0035 | 0,0190 | <0,005 | 0,0023 | |
| 85,30 | 2,40 | 56,10 | 21,10 | <0,05 | <0,1 | <6,0 | 256,30 | 14,20 | 151,90 | 18,00 | <0,005 | 1,10 | <0,001 | <0,0001 | <0,01 | 0,001 | 0,010 | 7,3 | 0,017 | 0,016 | 0,013 | 0,041 | <0,0001 | 0,014 | <0,0001 | 0,0041 | 0,401 | 0,022 | <0,005 | 0,0023 | | |
| 87,50 | 3,60 | 114,10 | 46,20 | <0,05 | <0,1 | <6,0 | 244,10 | 21,30 | 369,60 | 37,00 | <0,005 | 1,00 | <0,001 | <0,0001 | 0,20 | <0,0001 | 0,019 | 7,8 | 0,003 | 0,0230 | 0,0230 | 0,0560 | <0,0001 | 0,0230 | <0,0001 | 0,0100 | 2,411 | 0,0380 | <0,005 | 0,0039 | | |
| 37,4 | 1,5 | 20 | 7,3 | <0,05 | <0,1 | <6,0 | 122 | 12,8 | 53,1 | 4 | <0,005 | 1,5 | <0,001 | <0,0001 | <0,01 | 0,0007 | 0,004 | 7 | 0,006 | 0,0046 | 0,0093 | 0,021 | <0,0001 | 0,0032 | <0,0001 | 0,016 | 0,0029 | <0,0001 | 0,19 | 0,02 | <0,005 | 0,0003 |
| 21,5 | 0,7 | 16 | 4,9 | <0,05 | <0,1 | <6,0 | 109,8 | 3,2 | 14 | 3 | <0,005 | 1,3 | <0,001 | <0,0001 | <0,01 | 0,0006 | 0,016 | 6,1 | 0,0039 | 0,0035 | 0,0048 | 0,0130 | 0,015 | 0,0017 | <0,0001 | 0,0046 | 0,0011 | <0,0001 | 0,123 | 0,0110 | <0,005 | 0,0004 |
| 17,1 | 1,2 | 18 | 10,9 | <0,05 | <0,1 | <6,0 | 140,3 | 2,1 | 13,2 | 4 | <0,005 | 1,2 | <0,001 | <0,0001 | <0,01 | 0,009 | 0,043 | 7,6 | 0,0048 | 0,0087 | 0,0099 | 0,0130 | <0,0001 | 0,0044 | <0,0001 | 0,01 | 0,0019 | <0,0001 | 0,08 | 0,0110 | <0,005 | 0,0006 |
| 4,2 | 0,7 | 30 | 7,3 | <0,05 | <0,1 | <6,0 | 128,1 | 2,8 | 9,1 | 5 | <0,005 | 1,1 | <0,001 | <0,0001 | <0,01 | 0,0008 | 0,0026 | 4,5 | 0,002 | 0,0064 | 0,0092 | 0,0160 | 0,0160 | 0,0026 | <0,0001 | 0,010 | 0,0029 | <0,0001 | 0,027 | 0,0042 | <0,005 | 0,0014 |

Отбор проб воды проводился с целью установления соответствия исследуемых водоисточников санитарно-эпидемиологическим нормативам. Дальнейший химический анализ проб показал (рис.5), содержание микро и макрокомпонентов в воде по всем отобранным пробам в пределах ПДК, кроме некоторого превышения общей жесткости, фторидов (2,30 мг/л), лития (0,033 мг/л), мышьяка (0,24 мг/л) и свинца (до 0,035 мг/л).

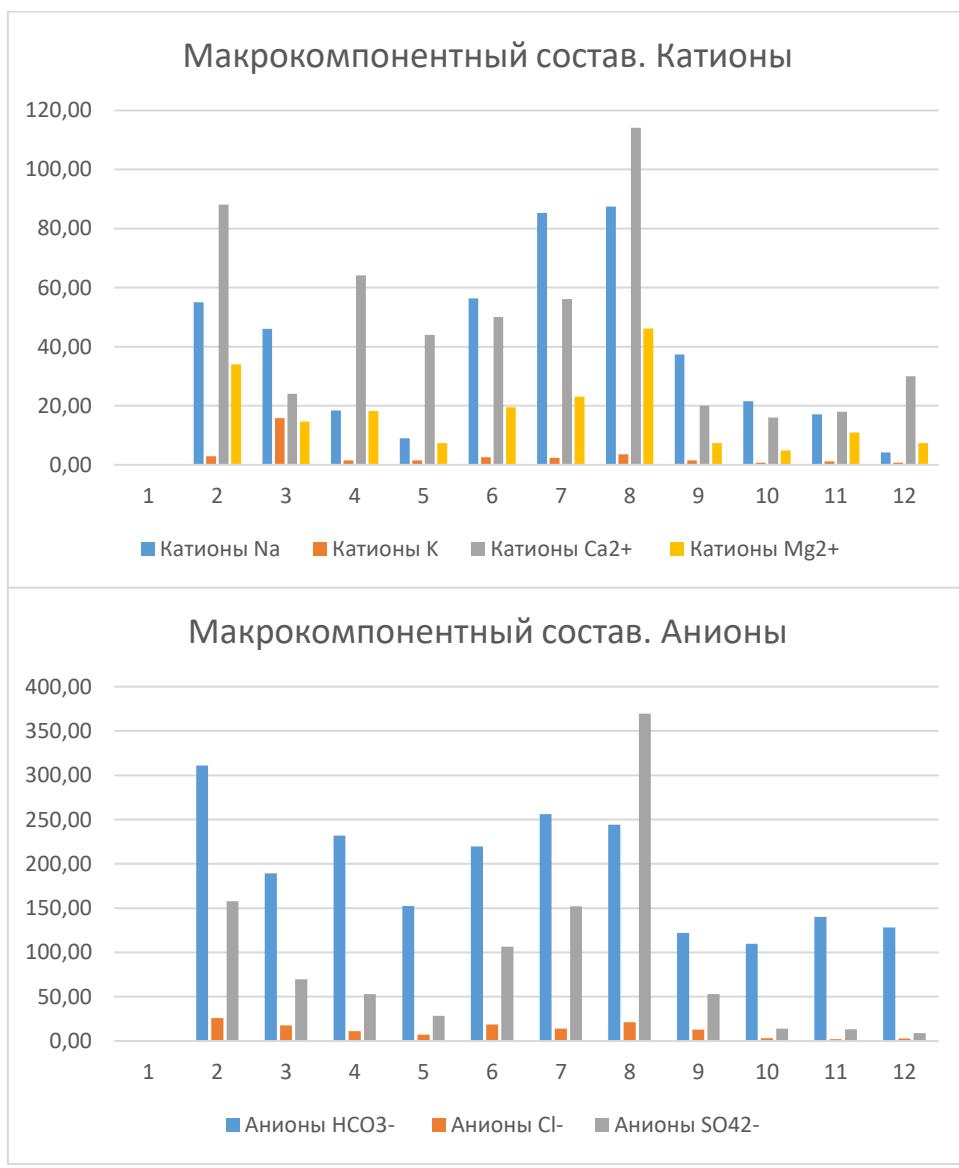


Рисунок 5 – Основной ионный состав воды

Для оценки возможности их использования для хозяйствственно-питьевого водоснабжения и орошения земель проведено полевое экспедиционное исследование территории Шуйского трансграничного бассейна с эколого-гидрогеологическим изучением и оценкой состояния использования подземных вод 11 водозаборов Кордайского, Шуского и Меркенского районов Жамбылской области (таб.3).

Таблица 3 – Результаты обследования водозабор

| №№ п.п. | Административные районы | Всего обследовано | Название водозабора |
|---------|-------------------------|-------------------|--|
| 1 | Кордайский | 7 | с. Карасу, с. Отеген, с. Аухатты, с. Сортобе (центральная одиночная скважина), с. Кордай, с. Сарыбулак, с. Кайнар. |
| 2 | Шуйский | 1 | с. Аксу |
| 3 | Меркенский | 3 | с. Аспара, с. Кенес, с. Андас батыр |
| Всего | | 11 | |

Анализ гидрохимических данных показал, что использование подземных вод территории исследования не более 10% от общих утвержденных эксплуатационных запасов подземных вод для целей орошения месторождений Георгиевское, Аспаринское и Меркенское. Проведены химико-аналитические исследования проб воды на соответствие их санитарным требованиям, предъявляемым к питьевым водам. Результаты позволили установить химический состав подземных вод, их минерализацию. В районе села Сарыбулак Кордайского района отмечено повышенное содержания фтора и свинца. На участке Андас батыр Меркенского района зафиксирована высокая концентрация в воде мышьяка. Выявлено что воды не используются для питьевого водоснабжения.

Принимая во внимание фильтрационную связь водоносных горизонтов между сопредельными территориями Казахстана и Кыргызстана, существует риск транзита загрязнённых вод через границу. Усиление сельскохозяйственной деятельности, отсутствие очистных мероприятий и слабая координация мониторинга повышают уязвимость трансграничных ресурсов. Это обосновывает необходимость создания согласованных протоколов химического контроля, обмена данными и интеграции результатов в цифровые ГИС-системы трансграничного водного управления.

Выходы

Проведённый анализ гидрохимических характеристик подземных вод Шу-Таласского бассейна позволил сформулировать следующие обобщения и выводы:

Использование ресурсов. Объёмы эксплуатации подземных вод для целей орошения на исследуемой территории (месторождения Георгиевское, Аспаринское и Меркенское) составляют не более 10 % от утверждённых эксплуатационных запасов. Это свидетельствует о наличии дополнительного потенциала для расширения водопользования, при условии строгого соблюдения экологических нормативов и контроля за устойчивостью водоносных систем.

Общее качество подземных вод. Результаты химико-аналитических исследований подтвердили соответствие большинства проб санитарным требованиям по основным физико-химическим показателям. Минерализация подземных вод варьирует в пределах 0,18–0,93 г/л, что позволяет отнести их к категории слабо- и умеренно-минерализованных вод, пригодных для сельскохозяйственного использования и, в ряде случаев, для хозяйствственно-бытовых нужд.

Кислотно-щелочные свойства и жёсткость. Значения pH исследованных вод преимущественно соответствуют нейтральной реакции, что указывает на устойчивость буферных систем. Показатели общей жёсткости варьируют от мягких до жёстких вод, что отражает различия в геохимических условиях формирования и минерализации отдельных водоносных горизонтов.

Загрязнение и локальные аномалии. Выявлены локальные участки превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) отдельных химических компонентов:

- в районе села Сарыбулак (Кордайский район) зарегистрированы повышенные концентрации фтора (до 2,3 мг/л, что составляет 1,53 ПДК) и свинца (до 0,035 мг/л, или 1,17 ПДК);

- на участке Андас Батыр (Меркенский район) установлено превышение концентрации мышьяка (до 2,3 мг/л, что соответствует 4,8 ПДК), что представляет потенциальную экологическую угрозу и требует приоритетного внимания со стороны контролирующих органов.

Социально-экологические риски. Установлено, что данные подземные воды в настоящее время не используются для питьевого водоснабжения, что снижает прямые санитарно-гигиенические риски для населения. Однако сохранение тенденций загрязнения, особенно в районах интенсивного агрохимического воздействия и возможного техногенного влияния, обуславливает необходимость регулярного мониторинга качества вод и принятия профилактических мер по предотвращению дальнейшей деградации ресурсов.

Таким образом, результаты исследования указывают на относительную стабильность гидрохимических характеристик подземных вод Шу-Таласского бассейна в целом, при наличии локальных зон экологического риска, требующих детального изучения и постоянного контроля.

Благодарность. Исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант № АР23489813 (2024-2026 гг.).

Конфликты интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Абсаметов, М.К., Мухамеджанов, М.А., Сыдыков, Ж.С., Муртазин, Е.Ж. Подземные воды Казахстана – стратегический ресурс водной безопасности страны. – Алматы, 2017. – 220с.
2. A.K. Kurishbaev, R. Amanzholova, D. Adenova, J. Sagin, D. Burlibayeva, D. Sarsekova, K. Alikhanov, A. Serikkanov, R. King., (2024). Comparative Assessment of the Mountainous River Basin in Kyrgyz Kazakh Region of Central Asia with River Basins in Australia, Canada and USA. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 7(1). <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.070106>
3. Сарқынов, Е., Яковлев, А., Бейсембин, К., Жакупова, Ж., Рысқұлбекова, Л., Жанымхан, К., & Қалқабаева, А. (2024). ОРОШЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ И ОБВОДНЕНИЯ ПАСТБИЩ ИЗ ВОДОТОКОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТАРАННОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ. *Izdenister Natigeler*, (4 (104), 309–316. <https://doi.org/10.37884/4-2024/32>
4. A.U. Safina, (2023). River runoff resources of the Shu-Talas water management basin in the context of climate change. *Engineering Journal of Satbayev University*, 145(3), 25-30. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.04>
5. Ресурсный потенциал подземных вод Казахстана как источник устойчивого питьевого водообеспечения / Под ред. акад. НАН РК, доктора геол.-мин. наук, проф. М.К.Абсаметова. – Алматы: «Print express», 2023. – 304 с.
6. Abdullaev, I., Rakhmatullaev, S., (2015). Transformation of water management in Central Asia: From state-centric, a hydraulic mission to socio-political control. *Environ. Earth Sci.* 73, 849–861. DOI:[10.1007/s12665-013-2879-9](https://doi.org/10.1007/s12665-013-2879-9).
7. Muhammad, Mizanur Rahaman, (2013). Principles of Transboundary Water Resources Management and Water-related Agreements in Central Asia: An Analysis. *International Journal of Water Resources Development* <https://doi.org/10.1080/07900627.2012.684311>
8. Мухамеджанов, М.А., Арыстанбаев, Я.Ю. Подземные воды аридных регионов Казахстана и их использование в условиях изменения климата и роста водопотребления // Материалы международной конференции «Водные ресурсы Центральной Азии и их использование», Алматы, 2016, 1, 122-126.

9. Смоляр, В.А., (2023). Создание Атласа гидрологических карт Республики Казахстан на основе геоинформационных систем. *Геол. и охрана недр*, 1(86), 63-79 ISSN: 2414-4282 <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=plxamw&ysclid=mdok99aqhw144744305>
10. Порядин, В.И., Абсаметов, М.К., Аденова, Д.К., (2017). Управление ресурсами подземных вод для решения задач водоснабжения экономики Казахстана на долгосрочный период. *Известие Национальной академии наук Республики Казахстан*, 5(425), С. 93-102 <http://www.geolog-technical.kz/images/pdf/g20175/93102.pdf>
11. Рациональное использование и охрана подземных вод Республики Казахстан в условиях климатических и антропогенных изменений / Под ред. акад. НАН РК, доктора геол.-мин. наук, проф. М.К.Абсаметова. – Алматы: «Print express», 2020. – 282с.
12. Смоляр, В. и др. Водные ресурсы Казахстана. *Справочник*. - Алматы: Гылым, 2002. – 595с.

References

1. Absametov M.K., Muhamedzhanov M.A., Sydykov Zh.S., Murtazin E.Zh. Podzemnye vody Kazahstana – strategicheskij resurs vodnoj bezopasnosti strany. – Almaty, 2017. – 220s. [in Russian]
2. A.K. Kurishbaev, R. Amanzholova, D. Adenova, J. Sagin, D. Burlibayeva, D. Sarsekova, K. Alikhanov, A. Serikkanov, R. King., (2024). Comparative Assessment of the Mountainous River Basin in Kyrgyz Kazakh Region of Central Asia with River Basins in Australia, Canada and USA. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 7(1). <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.070106>
3. Sarkynov, E., Yakovlev, A., Bejsembin, K., Zhakupova, Zh., Ryskulbekova, L., Zhanymhan, K., & Kalkabaeva, A. (2024). OROSHENIYA ZEMEL' I OBVODNENIYA PASTBISHCH IZ VODOTOKOV I OPREDELENIE TEHNOLOGICHESKIH I TEHNICHESKIH PARAMETROV GIDROTARANNOJ NASOSNOJ USTANOVKI. Izdenister Natigeler, (4 (104), 309–316. <https://doi.org/10.37884/4-2024/32> [in Russian]
4. A.U. Safina., (2023). River runoff resources of the Shu-Talas water management basin in the context of climate change. *Engineering Journal of Satbayev University*, 145(3), 25-30. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.04>
5. Resursnyj potencial podzemnyh vod Kazahstana kak istochnik ustojchivogo pit'evogo vodoobespecheniya / Pod red. akad. NAN RK, doktora geol.-min. nauk, prof. M.K.Absametova. – Almaty: «Print express», 2023. – 304s. [in Russian]
6. Abdullaev, I., Rakhmatullaev, S., (2015). Transformation of water management in Central Asia: From state-centric, a hydraulic mission to socio-political control. *Environ. Earth Sci.* 73, 849–861. DOI:[10.1007/s12665-013-2879-9](https://doi.org/10.1007/s12665-013-2879-9)
7. Muhammad, Mizanur Rahaman, (2013). Principles of Transboundary Water Resources Management and Water-related Agreements in Central Asia: An Analysis. *International Journal of Water Resources Development* <https://doi.org/10.1080/07900627.2012.684311>
8. Muhamedzhanov, M.A., Arystanbaev, Ya.Yu. Podzemnye vody aridnyh regionov Kazahstana i ih ispol'zovanie v usloviyah izmeneniya klimata i rosta vodopotrebleniya // Materialy mezhdunarodnoj konferencii «Vodnye resursy Central'noj Azii i ih ispol'zovanie», Almaty, 2016, 1, 122-126. [in Russian]
9. Smolyar, V.A., (2023). Sozdanie Atlasa gidrogeologicheskikh kart Respubliki Kazahstan na osnove geoinformacionnyh sistem. *Geol. i ohrana nedr*, 1(86), 63-79 ISSN: 2414-4282 <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=plxamw&ysclid=mdok99aqhw144744305> [in Russian]
10. Poryadin, V.I., Absametov, M.K., Adenova, D.K., (2017). Upravlenie resursami podzemnyh vod dlya resheniya zadach vodosnabzheniya ekonomiki Kazahstana na dolgosrochnyj period. *Известие Национальной академии наук Республики Казахстан*, 5(425), С. 93-102 <http://www.geolog-technical.kz/images/pdf/g20175/93102.pdf> [in Russian]
11. Racional'noe ispol'zovanie i ohrana podzemnyh vod Respubliki Kazahstan v usloviyah klimaticheskikh i antropogennyh izmenenij / Pod red. akad. NAN RK, doktora geol.-min. nauk, prof. M.K.Absametova. – Almaty: «Print express», 2020. – 282 s. [in Russian]

12. Smolyar V. i dr. Vodnye resursy Kazahstana. Spravochnik. - Almaty: Gylym, 2002. – 595s. [in Russian]

**Д.К. Аденова*, Е.Ж. Муртазин, О.Л. Мирошинченко,
Е.В. Сотников, С.Р. Тажиев**

¹У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогоеология және геоэкология институты, Алматы, Қазақстан, adenovadinara@gmail.com*, ye_murtazin@list.ru, o_mirosh@mail.ru, sotnikov_yevgeniy@mail.ru, sula_tashiev@mail.ru

**ШУ-ТАЛАС БАССЕЙНІНДІК ТРАНСШЕКАРАЛЫҚ СУЛЫ
ГОРИЗОНТТАРЫНЫҢ МОНИТОРИНГ КЕЗІНДЕГІ САНДЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ**

Аңдатта

Шу-Талас трансшекаралық су бассейні Қазақстан мен Қыргызстанның шекаралас аймақтарының ауыл шаруашылығы өндірісін, өнеркәсібін және халқын су ресурстарымен қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады. Климаттың нашарлау салдарынан, құрғакшылықтың жиі болуы және су ағындарының біркелкі бөлінбеуі жағдайында су ресурстарына қысым күшейіп келеді, осының барлығы қазіргі заманғы басқару әдістерін енгізуді талап етеді. Ең перспективалы бағыттардың бірі – су мониторингінің дәлдігін, тиімділігін және ашықтығын арттыруға мүмкіндік беретін сандық технологияларды пайдалану. Мақалада кеңейтілген сандық құралдар, соның ішінде географиялық ақпараттық жүйелер (ГАЖ) және сандық су балансын модельдеу қарастырылады. Ағын суларының таралуының ГАЖ картасын жасау тәжірибесіне ерекше назар аударылады, бұл бассейндегі кеңістіктік-уақыттық өзгерістерді визуалды бағалауға, сондай-ақ болжаку модельдері мен сценарийлерді талдауға мүмкіндік береді. Трансшекаралық басқарудағы сандық трансформацияның әлеуетін шектейтін елдер арасындағы су деректерінің ашықтығы мен дәйектілігі мәселелері бөлек талданады. Бірыңғай сандық платформа құру және мониторинг стандарттарын үйлестіру бойынша ұсыныстар айтылды. Зерттеудің мақсаты – Шу және Талас өзендері бассейндеріндегі суды тұрақты пайдалану және тиімді трансшекаралық ынтымақтастықтың негізі ретінде су ресурстарын басқаруды кешенді сандықтандыру қажеттілігін негіздеу.

Кітт сөздер: трансшекаралық жерасты сулары, су қауіпсіздігі, ресурстарды басқару, ГАЖ технологиялары, Шу-Талас бассейні.

**D.K. Adenova*, Ye.Zh. Murtazin, O.L. Miroshnichenko,
E.V. Sotnikov, S.R. Tazhiev**

¹Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M.Akhmedsafin, Almaty, Kazakhstan, adenovadinara@gmail.com*, ye_murtazin@list.ru, o_mirosh@mail.ru, sotnikov_yevgeniy@mail.ru, sula_tashiev@mail.ru

**APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN MONITORING
TRANSBOUNDARY AQUIFERS OF THE SHU-TALAS BASIN**

Abstract

The Shu-Talas transboundary water basin plays a key role in providing water resources for agricultural production, industry and the population of the border regions of Kazakhstan and Kyrgyzstan. In the context of worsening climate change, more frequent droughts and uneven distribution of water flows, the pressure on water resources is increasing, which requires the introduction of modern management methods. One of the most promising areas is the use of digital technologies, which can improve the accuracy, efficiency and transparency of water monitoring. The article discusses advanced digital tools, including geographic information systems (GIS) and digital water balance modeling. Particular attention is paid to the practices of GIS mapping of runoff distribution, which allows for a visual assessment of spatiotemporal changes in the basin, as well as forecasting models and scenario analysis. The problems of openness and consistency of water data between countries, which limit the potential of digital transformation in cross-border management, are analyzed separately. Proposals for the creation of a unified digital platform and the harmonization

of monitoring standards have been presented. The aim of the study is to substantiate the need for comprehensive digitalization of water management as a basis for sustainable water use and effective transboundary cooperation in the Shu and Talas River basins.

Key words: transboundary groundwater, water security, resource management, GIS technologies, Shu-Talas basin.

Вклад авторов: Концептуализация – М.Е.Ж.; Курирование данных – С.Е.В.; Формальный анализ – А.Д.К.; Приобретение финансирования – М.Е.Ж.; Расследование – Т.С.Р., М.Е.Ж; Методология - М.Е.Ж., А.Д.К.; Администрирование проекта – М.Е.Ж.; Ресурсы – С.Е.В., Т.С.Р.; Программное обеспечение – М.О.Л, А.Д.К., С.Е.В.; Надзор – С.Е.В.; Проверка - М.Е.Ж., А.Д.К.; Визуализация - М.О.Л.; Роли/Письмо – первоначальный проект - М.Е.Ж., А.Д.К.; и Написание – обзор и редактирование - М.Е.Ж., А.Д.К., М.О.Л.

МРНТИ 68.41.01

DOI <https://doi.org/10.37884/3-2025/43>

¹А.А. Алтаева, ^{1,2*}А.Б. Даркенбаева, ³Б.Б. Садықов

¹ ТОО «Международная образовательная корпорация», Алматы, Казахстан,
a.altaeva@kazgasa.kz

² Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы,
Казахстан, darkenbayevaassel@gmail.com*

³ ТОО «Leica Geosystems Казахстан», Алматы, Казахстан, batyrkhan_sadykov@mail.ru

МОНИТОРИНГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КЫЗЫЛОРДИНСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация

В условиях глобальных климатических изменений и дефицита водных ресурсов возрастает необходимость внедрения современных технологий мониторинга для повышения эффективности ведения сельского хозяйства. Настоящая статья посвящена анализу возможностей применения дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных систем (ГИС) для мониторинга состояния сельскохозяйственных территорий Кызылординской области. В качестве ключевого инструмента использован индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), позволяющий оперативно оценивать состояние растительности и продуктивность агроценозов. На основе спутниковых данных за вегетационные периоды последних лет были выявлены пространственные и временные изменения состояния сельскохозяйственных угодий, что позволило определить зоны с устойчивым развитием и проблемные участки, требующие дополнительного внимания. В работе представлены тематические карты распределения NDVI, проанализированы факторы, влияющие на снижение вегетационной активности, включая погодные условия, уровень ирригации и деградацию почв. Полученные результаты подтверждают высокую информативность и практическую ценность использования NDVI в агромониторинге, а также подчеркивают необходимость интеграции дистанционных методов в систему управления сельским хозяйством региона. Предложенный подход может быть полезен для органов государственного управления, фермерских хозяйств и научных учреждений при принятии решений по адаптации сельского хозяйства к современным климатическим вызовам.

Ключевые слова: NDVI, дистанционное зондирование Земли, Sentinel-2, ArcGIS Pro, сельское хозяйство, Кызылординская область, агромониторинг, вегетационный индекс, геоинформационные технологии, растительность.