

Д.К. Аденова^{1*}, Н.Е. Сабурова², Е.В. Сотников¹

¹Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный исследовательский технический университет

им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

*e-mail: adenovadinara@gmail.com

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛИНЗ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ЦЕЛЮ ОБОСНОВАНИЯ СОЗДАНИЯ ВОДОПОЙНЫХ ПУНКТОВ НА УЧАСТКАХ ОТГОННОГО ЖИВОТНОВОДСТВА

В статье рассматриваются гидрогеологические условия формирования и пространственно-временной динамики линз пресных подземных вод в песчаных массивах Атырауской и Западно-Казахстанской областей. Обосновывается возможность целенаправленного использования подбарханных линз пресных подземных вод для обводнения пастбищ и питьевого водоснабжения. Установлено, что при определённых почвенно-гидрогеологических и климатических условиях такие линзы способны обеспечить устойчивое водоснабжение стандартных участков отгонного животноводства. Предлагается методика рациональной эксплуатации подбарханных линз пресных подземных вод, плавающей на зональных водах, основанная на применении щадящего способа водоотбора, позволяющего осуществлять длительную эксплуатацию без ухудшения качества подземных вод.

Выполненное исследование природных условий, гидрогеологических характеристик песчаных массивов и обобщение имеющихся научных материалов свидетельствуют о высокой перспективности целенаправленного освоения линзы пресных подземных вод на территории Западного Казахстана. Предлагаемый подход является принципиально новым комплексным решением задачи водообеспечения отгонного животноводства и обладает существенным социально-экономическим потенциалом за счёт вовлечения в хозяйственный оборот локальных водных ресурсов.

Показано, что применение авторского метода щадящей эксплуатации обеспечивает сохранение гидродинамического равновесия линзы, предотвращает подтягивание подстилающих минерализованных зональных вод и снижает риск заиливания фильтровой зоны скважин.

Ключевые слова: линзы подземных вод, песчаные массивы, обводнение пастбищ, минерализация.

D.K. Adenova^{1*}, N.E. Saburova², E.V. Sotnikov¹

¹Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: adenovadinara@gmail.com

Hydrogeological conditions of formation and distribution of fresh groundwater lenses to justify the creation of watering points in livestock transmission sites

This article examines the hydrogeological conditions of formation and spatiotemporal dynamics of fresh groundwater lenses in sandy massifs of the Atyrau and West Kazakhstan regions. The feasibility of targeted use of sub-dune lenses of fresh groundwater for pasture irrigation and drinking water supply is substantiated. It is established that, under certain soil, hydrogeological, and climatic conditions, such lenses are capable of providing a stable water supply for standard transhumance areas. A method for the rational exploitation of sub-dune lenses of fresh groundwater floating on zonal waters is proposed. This method utilizes a gentle water extraction method, allowing for long-term operation without degrading groundwater quality.

A study of the natural conditions, hydrogeological characteristics of sand massifs, and a summary of available scientific data demonstrate the high potential for targeted development of the fresh groundwater lens in Western Kazakhstan. The proposed approach represents a fundamentally new, comprehensive solution to the problem of water supply for transhumance and offers significant socioeconomic potential by integrating local water resources into economic circulation.

It has been shown that the use of the author's method of gentle operation ensures the preservation of the hydrodynamic equilibrium of the lens, prevents the drawing in of underlying mineralized zonal waters and reduces the risk of siltation of the filter zone of wells.

Keywords: groundwater lenses, sand massifs, pasture irrigation, mineralization.

Д.К. Аденова^{1*}, Н.Е. Сабурова², Е.В. Сотников¹

¹У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Алматы, Қазақстан

²Қ.И. Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

* e-mail: adenovadinara@gmail.com

Мал шаруашылығы алқаптарында суарту пункттерін құруды негіздеу үшін тұщы жерасты су линзаларының қалыптасуы мен таралуының гидрогеологиялық жағдайлары

Мақалада Атырау және Батыс Қазақстан облыстарының құмды массивтеріндегі тұщы жерасты суларының линзаларының гидрогеологиялық қалыптасу жағдайлары және кеңістік-уақыт динамикасы қарастырылады. Жайылымдарды суару және ауыз сумен жабдықтау үшін тұщы жерасты суларының құм астындағы линзаларын мақсатты пайдалану мүмкіндігі негізделген. Белгілі бір топырақ, гидрогеологиялық және климаттық жағдайларда мұндай линзалар стандартты мал шаруашылығы аймақтарын тұрақты сумен жабдықтауды қамтамасыз ете алатыны анықталды. Аймақтық суларда қалқып жүрген тұщы жерасты суларының құм астындағы линзаларын ұтымды пайдалану әдісі ұсынылды. Бұл әдіс жерасты суларының сапасын төмендетпей ұзақ мерзімді пайдалануға мүмкіндік беретін жұмсақ су алу әдісін қолданады.

Құм массивтерінің табиғи жағдайларын, гидрогеологиялық сипаттамаларын зерттеу және қолжетімді ғылыми деректердің қысқаша мазмұны Батыс Қазақстандағы тұщы жерасты суларының нысаналы дамуының жоғары әлеуетін көрсетеді. Ұсынылған тәсіл шалғай мал шаруашылығын сумен жабдықтау мәселесіне түбегейлі жаңа, кешенді шешім болып табылады және жергілікті су ресурстарын экономикалық айналымға біріктіру арқылы айтарлықтай әлеуметтік-экономикалық әлеует ұсынады.

Автордың жұмсақ жұмыс әдісін қолдану линзаның гидродинамикалық тепе-теңдігін сақтауды қамтамасыз ететіні, астындағы минералданған аймақтық сулардың тартылуына жол бермейтіні және ұңғымалардың сүзгі аймағының лайлану қаупін азайтатыны көрсетілген.

Түйін сөздер: жерасты суларының линзалары, құмды массивтер, жайылымдарды суару, минералдану.

Введение

Линзы пресных подземных вод относятся к особому типу геофильтрационного потока, который характеризуется существенным проявлением взаимодействия пресных и соленых вод. Особый интерес к исследованию линз пресных подземных вод обуславливается тем, что они зачастую являются единственными источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения территорий с аридным и полуаридным климатом (Kunin, 1963; Absametov et al., 2017; Maksimov, 1967).

Фундаментальные представления об условиях формирования и эксплуатации линз пресных подземных вод содержатся в работах В.Н. Кунина, В.Д. Бабушкина, Д.М. Каца, Н.И. Плотникова, В.М. Шестакова, С.Ш. Мирзаева, Н.Н. Ходжибаева, Н. Г. Шевченко, А. А. Акрамова, и других исследователей.

В пределах песчаных пустынь широко распространены высокоминерализованные грунтовые воды. Пресные воды отмечаются на от-

дельных участках в верхней части водоносного горизонта и залегают в виде линз, плавающих на соленых грунтовых водах. Характерной особенностью пустынь является то, что и пресные и соленые воды находятся в одном водоносном горизонте и не имеют разграничивающего их водоупора (Kunin, 1959; Ahmedsafin, 1950; Petrov, 1960; Davydov, 1962).

Условия залегания и распространения грунтовых вод в песчаных пустынях выделено три типа линз пресных вод: подтакырные (или такырные), предгорные (или линзы бассейнов сухих логов) и подпесчаные.

Песчаные массивы Атырауской и Западно-Казахстанской областей занимают значительные площади и традиционно используются в качестве пастбищ для отгонного животноводства. Эти территории обладают высоким потенциалом для производства экологически чистой животноводческой продукции, однако их хозяйственное освоение существенно ограничено дефицитом пресных вод. Отсутствие современ-

ных, адаптированных к природным условиям региона систем водоснабжения является основным сдерживающим фактором развития отрасли (Shevchenko, 1959; Plotnikov et al., 1978; Alekin, 1953; Sotnikov, 1971).

Результаты ранее проведённых гидрогеологических исследований свидетельствуют о наличии линз пресных подземных вод под естественными незакрепленными барханами. Формирование таких линз обусловлено инфильтрацией атмосферных осадков, конденсационными процессами и отсутствием транспирации влаги растительным покровом. Вместе с тем малая мощность линз и их локальный характер ограничивали возможности практического использования, что приводило к быстрому засолению традиционных колодцев при интенсивном водоотборе (Ahmedsafin, 1950; Petrov, 1960; Davydov, 1962).

В то же время эмпирический опыт местных животноводов показывает, что создание техногенных незакрепленных барханов путем интенсивного выпаса и вытаптывания способствует формированию пресных подземных вод, пригодных для водопоя скота. Несмотря на это, до настоящего времени отсутствует научно обоснованная модель формирования, развития и рациональной эксплуатации таких техногенных линз (Davydov, 1962; Shevchenko, 1959; Plotnikov et al., 1978).

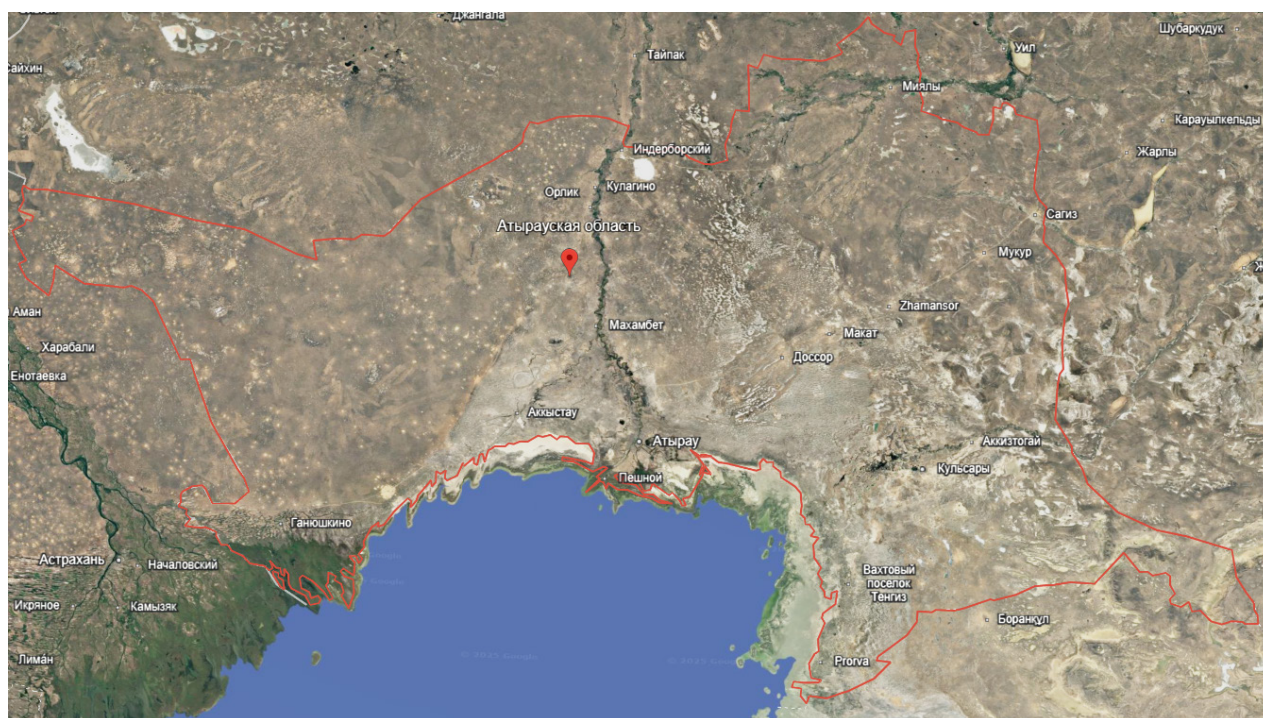
Целью настоящего исследования является обоснование возможности целенаправленного формирования техногенных линз пресных подземных вод и разработка научно обоснованных рекомендаций по их использованию для создания водопойных пунктов на участках отгонного животноводства, также выявление гидрогеологических условий формирования линз пресных подземных вод и обоснование методики их рациональной эксплуатации на основе шадящего водоотбора.

Природно-гидрогеологические условия района исследований

Район исследований приурочен к песчаным массивам западной части Казахстана, характеризующимся резко континентальным и засушливым климатом. Среднегодовое количество атмосферных осадков составляет 120-180 мм, основная их часть выпадает в холодный период года. Испаряемость значительно превышает количество осадков, что обуславливает общее аридное водохозяйственное состояние территории (рис.1).

Рисунок 1

Условия формирования подбарханных линз



В геологическом разрезе песчаных массивов преобладают эоловые и аллювиально-эоловые отложения, представленные мелко- и среднезернистыми песками с высокой фильтрационной способностью. Подстилающие породы, как правило, сложены суглинками и глинами, выполняющими роль относительного водоупора и способствующими аккумуляции инфильтрационных вод в виде локальных линз (Alekin, 1953; Sotnikov, 1971).

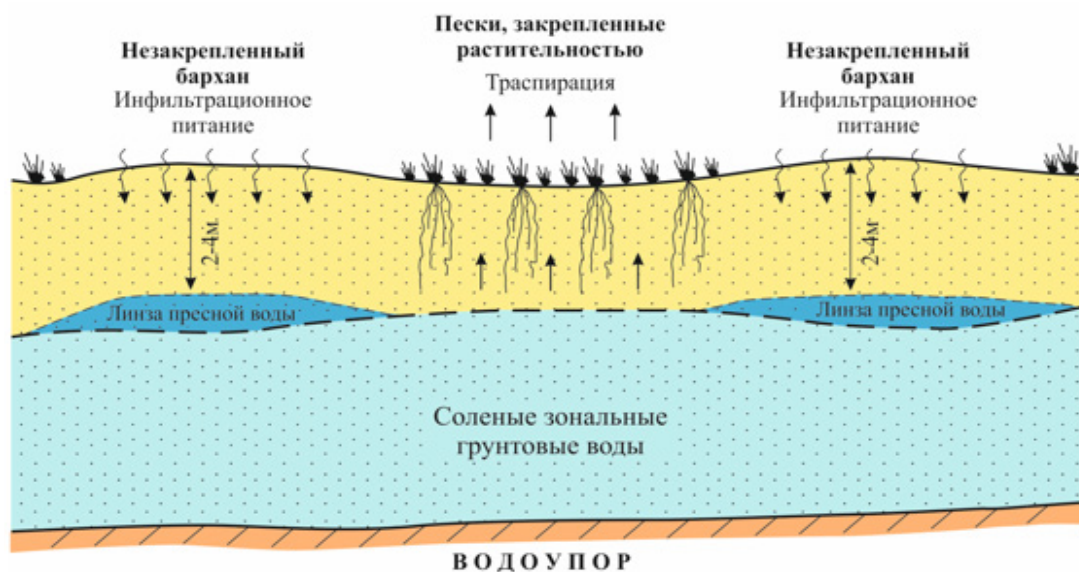
Подземные воды региона в основном солёные и рассольные. Пресные воды имеют ограниченное распространение и приурочены к подбарханым зонам, где формируются линзы малой мощности (обычно до 1,0-2,0 м), отличающиеся высокой чувствительностью к режиму водоотбора (рис.2).

Развитие барханных перевеянных песков на отдельных участках распространения морских

отложений (Тайсойган, Сайхин, Орда и др.) создает благоприятные условия для формирования пресных и слабосоленоватых подземных вод, залегающих в виде линз, на соленых водах. Мощности их различны от 1,5 до 15-40 м, а площади – от первых сотен квадратных метров до 11-850 км². С глубиной минерализация вод в линзах возрастает, и лишь в редких случаях водоносные линзы на всю мощность содержат пресные и слабосоленоватые воды. Наиболее крупные линзы выделены на песчаном массиве Тайсойган и в междуречье Жайык-Волга. Особого внимания заслуживает юго-западная часть рассматриваемого бассейна (пески Нарын), где развиты крупные линзы сульфатно-гидрокарбонатных и сульфатных натриевых грунтовых вод с минерализацией до 1 г/л (Kacimov & Obnosov, 2019; Zhou et al., 2021; Hassan et al., 2019; Tang & Yan, 2021).

Рисунок 2

Условия формирования подбарханных линз



Большая доступность использования подземных вод без применения сложных технических средств, позволяет использовать подземные воды Северного Прикаспия для удовлетворения потребностей сельских на-

селенных пунктов и животноводческих хозяйств на участках развития пресных, слабосоленоватых и соленоватых подземных вод (Sun et al., 2023; Tang et al., 2024; Thissen et al., 2025).

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в несколько этапов. На первом этапе осуществлялся сбор, обобщение и анализ материалов ранее выполненных гидрогеологических работ, данных дистанционного зондирования Земли и климатических характеристик региона. На основе анализа раз-

рабатывались критерии выбора наиболее перспективного участка для организации водоснабжения (рис.3).

В полевые работы входило рекогносцировочное обследование территории и выбор участка в пределах песчаного массива, используемого для отгонного животноводства. На участке было пробурено 5 скважин глубиной 4,67-4,75 м.

Рисунок 3

Выезд на полевые работы в пределах песчаных массивов



Рисунок 4

Бурение гидрогеологических скважин вручную



Рисунок 5

Принципиальная схема расположения скважин для эксплуатации маломощной пресной линзы

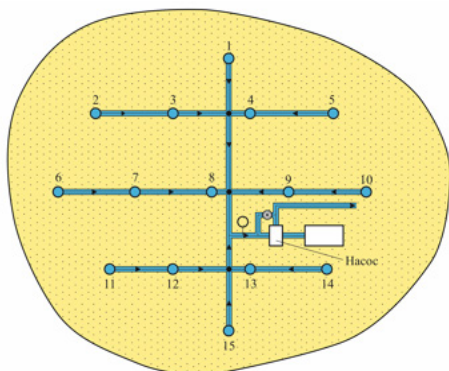


Рисунок 6

Принципиальная схема работы водозабора

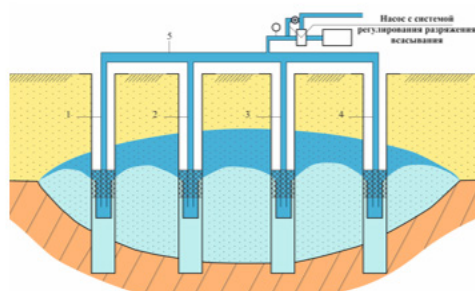
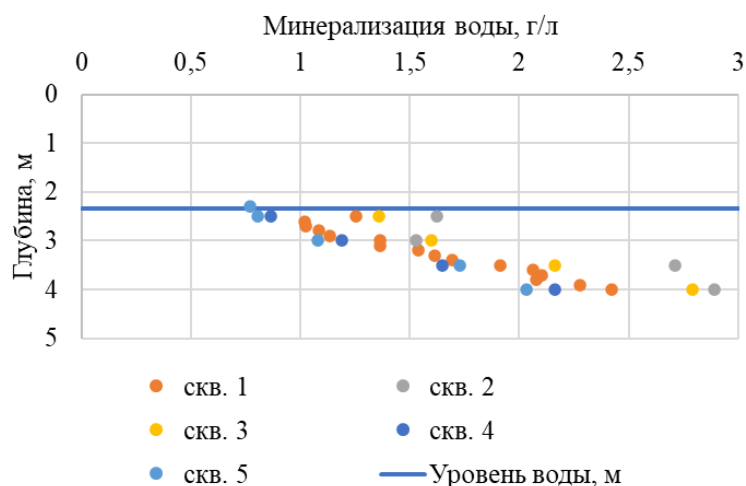


Рисунок 7

График изменения минерализации подземных вод



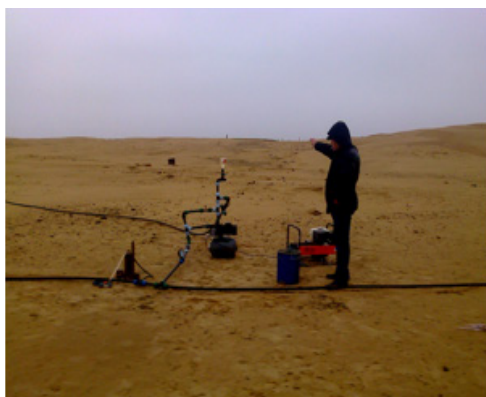
Скважины оборудованы обсадной трубой диаметром 32 мм.

Откачку проводили ступенчатым способом с использованием ручного насоса, основным принципом которого было понижение уровня

воды не более чем на 0,5-1,0 м; чередование периодов откачки и восстановления уровня. Продолжительность одного цикла откачки составлял 20-40 минут с последующим восстановлением уровня до 80-90 % от статического (рис.7-8).

Рисунок 8

Откачка пресной воды из скважин



Разработанная методика откачки воды из скважин ручного бурения, адаптированная к условиям песчаных массивов и линз пресных подземных вод, обеспечивает возможность их длительной и устойчивой эксплуатации. Использование расчетных параметров дебита и коэффициента фильтрации позволяет повысить

обоснованность проектных решений при создании водопойных пунктов и локальных источников водоснабжения.

Способ эксплуатации маломощных линз пресных вод

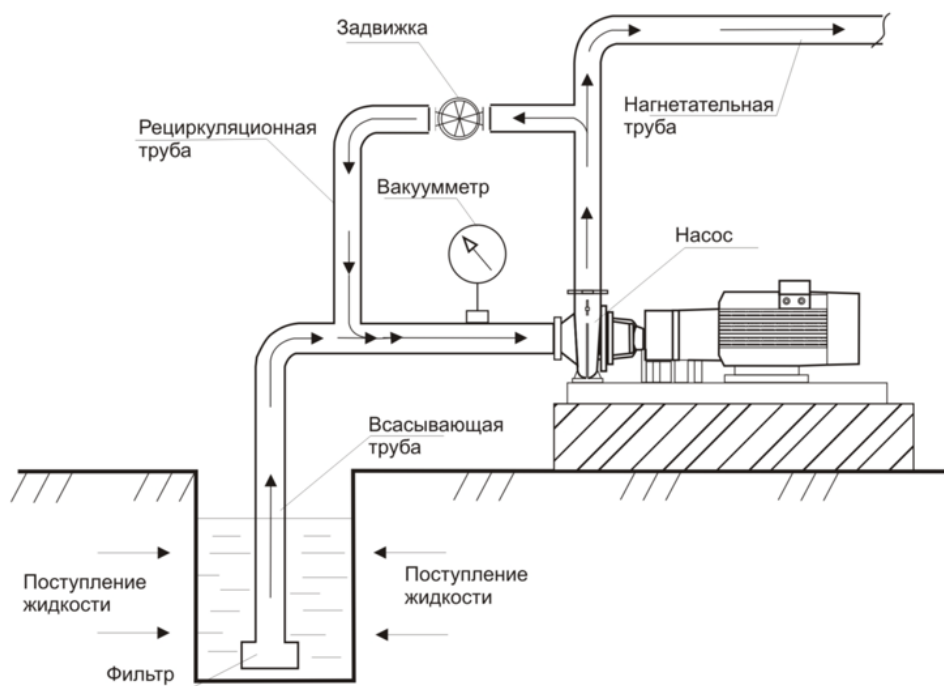
Для отдельной добычи пресной воды из ма-

ломощной водоносной толщии предложена конструкция водозаборной скважины. Способ основан на регулировании разряжения, создаваемого насосом, путём изменения объёма рециркуляции жидкости и предусматривает формирование регулируемого разряжения во всасывающей трубе насоса, за счёт которого осуществляется подъём жидкости.

Отличительной особенностью способа является регулирование уровня разряжения за счёт изменения количества рециркулирующей жидкости, подаваемой во всасывающую трубу насоса. Регулирование осуществляется задвижкой, установленной в замкнутом контуре трубопровода между нагнетательной и всасывающей трубами насоса (рис.9).

Рисунок 9

Способ откачки пресной воды из мало мощных линз с помощью скважин



Результаты и их обсуждение

Известно, что значительные по площади песчаные массивы Атырауской и Западно-Казакстанской областей обладают высоким потенциалом для организации участков отгонного животноводства и производства существенных объёмов экологически чистой животноводческой продукции. Однако основным фактором, сдерживающим их широкое хозяйственное освоение, остаётся отсутствие современных и научно обоснованных систем водоотбора и водоснабжения, адаптированных к специфическим природным условиям аридного региона.

Результаты ранее проведённых гидрогеологических исследований убедительно свидетельствуют о наличии линз пресных подземных вод на естественных участках распространения

незакреплённых барханов. Вместе с тем, практическое использование этих водных ресурсов в течение длительного времени ограничивалось эксплуатацией неглубоких малодобитных колодцев. Интенсивный водоотбор из таких источников, как правило, приводил к быстрому истощению линзы, подтягиванию минерализованных зональных вод и последующему засолению добываемой воды, что существенно снижало устойчивость водоснабжения.

В ходе анализа полевых наблюдений и практики установлено, что местные животноводы на протяжении длительного времени фактически формируют техногенные незакреплённые барханы путём интенсивного выпаса и вытаптывания растительности на отдельных участках песчаных массивов. В дальнейшем именно в пределах таких участков происходит накопление инфильт-

традиционных вод и формирование подбарханных линз пресных подземных вод, которые используются для водопоя скота.

Несмотря на очевидную практическую значимость данного явления, научно обоснованные представления о динамике формирования, пространственном развитии и устойчивости техногенных подбарханных линз в настоящее время отсутствуют. В доступных литературных источниках и отчётных материалах не выявлены результаты комплексных исследований, охватывающих полный цикл: от целенаправленного создания техногенного незакреплённого бархана до организации мониторинговых наблюдений за формированием пресной линзы во времени и пространстве, оценки её естественных запасов и ресурсов, а также разработки конкретных рекомендаций по рациональной эксплуатации подземных вод.

Проведённый анализ и накопленный опыт использования маломощных подбарханных линз показывают, что они достаточны для обеспечения устойчивого водоотбора, ориентированного на нужды водопоя скота, без риска деградации линзы и ухудшения качества воды. Это позволяет рассматривать целенаправленное использование подбарханных линз как перспективное направление решения проблемы водообеспечения отгонного животноводства в аридных районах.

Заключение

Проведённый анализ природных условий, гидрогеологических особенностей песчаных массивов и существующих научных данных позволяет сделать вывод о перспективности целенаправленного использования подбарханных линз пресных подземных вод в условиях Западного Казахстана. Предлагаемый подход представляет собой принципиально новое комплексное решение проблемы водообеспечения

отгонного животноводства и характеризуется выраженным социально-экономическим эффектом за счёт вовлечения в хозяйственное использование локальных водных ресурсов.

Показано, что применение авторского метода щадящей эксплуатации обеспечивает сохранение гидродинамического равновесия линзы, предотвращает подтягивание подстилающих минерализованных зональных вод и снижает риск заиливания фильтровой зоны скважин. Обоснованная схема может служить расчётной основой для использования линз пресных подземных вод для водопоя скота и питьевого водоснабжения в Западном Казахстане.

Результаты выполненного исследования могут быть использованы при разработке региональных программ рационального использования пастбищных ресурсов, проектировании водопойных пунктов и реализации мероприятий по устойчивому развитию животноводства в аридных районах Западного Казахстана.

Финансирование (вставить)

Статья подготовлена в рамках проекта BR24992885 «Научно-практическое обоснование устойчивого развития отечественного животноводства на основе обводнения пастбищных территорий подземными водами».

Вклад авторов

Сотников Е.В.: разработка концепции, методология, научное руководство, управление проектом, редактирование и доработка рукописи.

Аденова Д.К.: разработка концепции, научное руководство, редактирование и доработка рукописи.

Сабурова Н.Е.: проведение исследования, сбор и обработка данных, валидация данных, редактирование и доработка рукописи

Литература

- Thissen, L., Greskowiak, J., & Massmann, G. (2025). Climate change effects on freshwater lenses. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 61, 102676. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102676>
- Tang, Y., Lu, C., & Luo, J. (2024). Optimizing groundwater pumping in island lenses. *Journal of Hydrology*, 629, 130579. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130579>
- Sun, D., Wang, M., & Feng, P. (2023). Numerical simulation for strip-island freshwater lenses. *Journal of Contaminant Hydrology*, 259, 104242. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104242>
- Tang, Y., & Yan, M. (2021). Experimental and modeling investigation of pumping from a freshwater groundwater lens. *Journal of Hydrology*, 602, 126734. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126734>
- Hassan, A., Sultan, M., & Valdes, G. (2019). Impact of climate variability on groundwater recharge in arid regions. *Journal of Arid Environments*, 162, 1–10.

Zhou, Y., Shrestha, S., & Babel, M. S. (2021). Groundwater sustainability under climate change in Central Asia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136, 110418.

Kacimov, A. R., & Obnosov, Y. V. (2019). Analytic solutions for freshwater groundwater lenses floating on saline water under desert dunes. *Journal of Hydrology*, 574, 733–743. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.065>

Sotnikov, A. V. (Ed.). (1971). *Hydrogeology of the USSR: Western Kazakhstan (Vol. 35)*. Academy of Sciences of the USSR.

Alekin, O. A. (1953). *Fundamentals of hydrochemistry*. GIMIZ.

Plotnikov, N. I., Plotnikov, N. A., & Sychev, K. I. (1978). *Hydrogeological basis of artificial recharge of groundwater*. Nedra.

Shevchenko, N. G. (1959). Search for freshwater lenses in sandy relief using geomorphological indicators. *Academy of Sciences of the USSR*.

Davydov, I. Ya. (1962). Some conditions for the formation of fresh groundwater in sandy deserts. *Proceedings of the Academy of Sciences of the Turkmen SSR*.

Petrov, M. P. (1960). Water regime of dune sands and thermal conditions of moisture condensation in the Karakum. *Academy of Sciences of the USSR*.

Ahmedsafin, U. M. (1950). On the regime of groundwater in sandy deserts. *Proceedings of the Academy of Sciences of the KazSSR*.

Kunin, V. N. (1959). Local waters of deserts and their use. *Academy of Sciences of the USSR*.

Maksimov, V. D. (1967). *Reference guide for hydrogeologists (Vol. 1)*. Nedra.

Absametov, M. K., Mukhamedzhanov, M. A., Sydykov, Zh. S., & Murtazin, E. Zh. (2017). Groundwater of Kazakhstan as a strategic resource of water security. *Almaty*.

Kunin, V. N. (Ed.). (1963). *Freshwater lenses of deserts: Methods of research, resource assessment, and exploitation*. *Academy of Sciences of the USSR*.

Сведения об авторах:

Аденова Динара Кийзбаевна – доктор PhD, ведущий научный сотрудник лаборатории моделирования гидрогеологических и геоэкологических процессов Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина (Алматы, Казахстан, e-mail: adenovadinara@gmail.com).

Сабурова Нургүл Едігеевна – докторант КазННТУ им. К.И. Сәтпаева (Алматы, Казахстан, e-mail: n.saburova@aggvoda.kz).

Сотников Евгений Владимирович – заведующий лабораторией моделирования гидрогеологических и геоэкологических процессов Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина (Алматы, Казахстан, e-mail: sotnikov_yevgeniy@mail.ru).

Information about the authors:

Adenova Dinara Kizbayevna – PhD, Leading Researcher, Laboratory for Modeling Hydrogeological and Geoecological Processes, U.M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology (Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: adenovadinara@gmail.com).

Saburova Nurgul Edigeevna – doctoral student at KazNRTU named after. K.I. Satpayeva (Almaty, Kazakhstan, e-mail: n.saburova@aggvoda.kz).

Sotnikov Evgeniy Vladimirovich – Head of the Laboratory for Modeling Hydrogeological and Geoecological Processes, U.M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology (Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: sotnikov_yevgeniy@mail.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Аденова Динара Кийзбайқызы – PhD, У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институтының Гидрогеологиялық және геоэкологиялық процестерді модельдеу зертханасының жетекші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан Республикасы, e-mail: adenovadinara@gmail.com).

Сабурова Нүргүл Едігееқызы – Қ.И. Сәтпаева атындағы ҚазҰТЗУ докторанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: n.saburova@aggvoda.kz).

Сотников Евгений Владимирович – У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институтының Гидрогеологиялық және геоэкологиялық процестерді модельдеу зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан, e-mail: sotnikov_yevgeniy@mail.ru).

Поступила 19 января 2026 года

Принята 25 марта 2026 года