https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-3-92-105.37

МРНТИ 38.61.31; 70.94.03
УДК 556.3:556.5

И. К. Рахметов[*1], К. Т. Оспанов[2], Т. Усманов[3], Р. Аманжолова[4]

[1] *Научный сотрудник (ТОО «Институт гидрогоеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; ***issaraqmet@gmail.com***)
[2] К. т. н., профессор (Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Алматы, Казахстан; *k.ospanov@satbayev.university*)
[3] Научный сотрудник (Казахско-британский технический университет, Алматы, Казахстан; *usmanovt@gmail.com*)
[4] Старший преподователь (Казахско-британский технический университет, Алматы, Казахстан; *r.amanzholova@kbtu.kz*)

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ШЕЛЕКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПОЗИЦИЙ УПРАВЛЯЕМОГО ПОПОЛНЕНИЯ ЗАПАСОВ (MAR) И РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

Аннотация. В условиях нарастающего дефицита водных ресурсов в Юго-Восточном Казахстане актуальна задача поиска способов повышения надежности водоснабжения. Рассмотрена возможность применения технологии управляемого пополнения запасов (Managed Aquifer Recharge, MAR) для Шелекского месторождения подземных вод. Приведены геолого-гидрогеологические характеристики Шелекского водоносного месторождения: литологический состав аллювиальных отложений, глубина уровня подземных вод и условия питания. Выполнен анализ режима стока реки Шелек и системы его регулирования (Бартогайское водохранилище и Большой Алматинский канал). На основе международного опыта MAR и данных экспериментальных инфильтраций сделана оценка инфильтрационного потенциала района исследования. Обсуждаются перспективные зоны для накопления инфильтрационных вод и возможные методы осуществления MAR (инфильтрационные бассейны, траншеи и др.). Предложены рекомендации по внедрению MAR на Шелекском месторождении с целью увеличения устойчивости водоснабжения, а также по оптимизации регулирования поверхностного стока реки Шелек. Полученные результаты могут быть использованы при планировании мероприятий по интегрированному управлению водными ресурсами в засушливых регионах.

Ключевые слова: управляемое пополнение водоносных горизонтов (MAR), Шелекское месторождение, подземные воды, инфильтрация, поверхностный сток, регулирование стока, Алматинская область.

Введение. Проблема нехватки пресной воды в засушливых районах Южного и Юго-Восточного Казахстана приобретает все более острый характер на фоне изменения климата и роста водопотребления. В особенности горно-предгорные регионы испытывают несоответствие режима поверхностного стока и потребностей орошаемого земледелия: паводки рек приходятся на весенне-летний период, когда необходима аккумуляция воды для использования в засушливые месяцы [1]. Для решения этой проблемы в советский период были реализованы крупные гидротехнические проекты, например строительство Бартогайского водохранилища на реке Шелек в 1980-х годах, позволяющего аккумулировать около 320 млн м³ воды и орошать до 150 тыс. га земель предгорий Иле Алатау [2]. Однако даже при наличии водохранилищ в регионе сохраняется дефицит воды в засушливые годы и потребность в устойчивом восполнении запасов подземных вод для водоснабжения населенных пунктов и ирригации. Шелекское месторождение подземных вод – один из перспективных источников водоснабжения в Алматинской области (район с. Шелек), включенный в перечень важных водных объектов для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения [3, 4].

В мировой практике все шире применяются методы управляемого пополнения запасов подземных вод (Managed Aquifer Recharge, MAR) – искусственного восполнения водоносных горизонтов посредством контролируемого инфильтрационного питания для последующего использования или экологических целей [5]. MAR рассматривается как перспективный инструмент устойчивого управления водными ресурсами, позволяющий увеличить запас грунтовых вод,

улучшить их качество и обеспечить надежное водоснабжение в периоды засух. Сегодня накоплен значительный международный опыт внедрения MAR: по данным Международной ассоциации гидрогеологов собрано около 1200 примеров MAR-проектов более чем в 50 странах мира [6]. Типичными методами MAR являются сооружение инфильтрационных бассейнов и прудов, фильтрация воды через русла рек и канавы, закладка траншей и колодцев в зону аэрации, а также закачка воды непосредственно в водоносный горизонт через скважины [7]. Эффективность таких методов доказана в засушливых регионах мира, включая США, Австралию, Индию, Испанию и др., где MAR позволяет компенсировать перепады стока, бороться с истощением грунтовых вод и предотвращать экологические проблемы (например, засоление, оседание грунта) [5, 6]. В частности, в Калифорнии успешно практикуется инфильтрация паводковых вод на сельскохозяйственных полях для пополнения аквиферов, а в Центральной Азии предлагается внедрение MAR для смягчения дефицита воды в оазисных системах (например, Ферганская долина) [8].

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью оценки потенциала MAR применительно к условиям Юго-Востока Казахстана. Шелекское месторождение подземных вод выбрано в качестве объекта исследования из-за благоприятных гидрогеологических условий (мощные аллювиальные отложения, питание от реки Шелек) и близости к существующей системе водохранилища и каналов.

Цель исследования – провести гидрогеологическую оценку Шелекского месторождения подземных вод с позиций возможности управляемого пополнения его запасов и регулирования поверхностного стока, обосновать рекомендации по внедрению MAR и оптимизации водного режима реки Шелек. Для достижения этой цели в работе решаются следующие задачи:

1) охарактеризовать геолого-гидрогеологические условия Шелекского водоносного месторождения (литология, строение, режим подземных вод);

2) оценить инфильтрационные свойства пород и потенциальные зоны накопления инфильтрационных вод для MAR;

3) проанализировать современное состояние поверхностного стока реки Шелек и эффективность его регулирования;

4) изучить международный опыт MAR в условиях, сходных с юго-востоком Казахстана, и выделить наиболее подходящие методы;

5) разработать рекомендации по внедрению MAR на Шелекском месторождении и улучшению управления стоком реки в интересах водоснабжения и экологии.

Научная новизна работы состоит во всесторонней оценке возможности применения технологий MAR в рассматриваемом регионе. Впервые для Шелекского месторождения подземных вод проведен анализ литолого-фильтрационных свойств аллювия с точки зрения управляемой инфильтрации, а также дана интегральная оценка совмещенного использования поверхностных и подземных вод (конъюнктивного водопользования). Полученные результаты и выводы могут послужить основой для пилотных проектов MAR и совершенствования схем комплексного управления водными ресурсами в предгорных районах Казахстана.

Материалы и методы исследования. Объект исследования – Шелекское месторождение подземных вод, расположенное в долине реки Шелек (нижнее течение, Енбекшиказахский район Алматинской области). Месторождение приурочено к аллювиальным отложениям в предгорной части Иле Алатау, в районе с семиаридным климатом. Климатические условия характеризуются умеренно засушливым режимом: среднегодовое количество осадков составляет ~725 мм, причем основная их часть (около 41%) выпадает весной (март-май), 23% – летом и оставшиеся 36% – в осенне-зимний период [9]. Средняя многолетняя температура воздуха равна +8-+10 °C; летние максимумы достигают +3-+38 °C, зимние минимумы – –20-–25 °C. Испаряемость существенно превышает осадки в летние месяцы, что определяет дефицит влаги и высокое значение инфильтрационного стока весной при таянии снегов и ледников в горах.

Методика исследования основывается на комплексном анализе полевых и литературных данных. Выполнен обзор геологических и гидрогеологических материалов по району (отчеты по разведке месторождения, фондовые данные водозаборов, нормативно-правовые документы). Проведен сравнительный анализ гидрологического режима реки Шелек до и после строительства водохранилища по опубликованным источникам. Оценка инфильтрационного потенциала грунтов выполнена на основе данных литологического разреза и параметров водопроницаемости анало-

гичных отложений. В частности, использованы результаты экспериментального участка по искусственному питанию грунтовых вод на левобережье р. Лепсы (Алматинская область) для оценки допустимых нагрузок и скорости инфильтрации [10]. Кроме того, применен подход многокритериального анализа (GIS - AHP) для идентификации перспективных зон MAR, ранее опробованный для южных регионов Казахстана [11]. На основе международного опыта сформулированы критерии пригодности участка для MAR: высокое инфильтрационное свойство пород, значимая толща ненасыщенной зоны, отсутствие засоления и загрязнения, достаточная емкость и проницаемость водоносного горизонта. В рамках исследования проведены полевые выезды для рекогносцировки участка: визуальная оценка рельефа и условий стока, фиксирование участков возможной разгрузки подземных вод (родники, кяризы), осмотр ирригационных коммуникаций (каналов, арыков) в окрестностях. Данные и выводы, полученные по перечисленным направлениям, сопоставлялись и обсуждались комплексно.

Результаты. Геолого-гидрогеологические условия Шелекского месторождения. Гидрогеологический разрез по линии II-II, Шелекского МПВ предоставлен на рисунке 1.

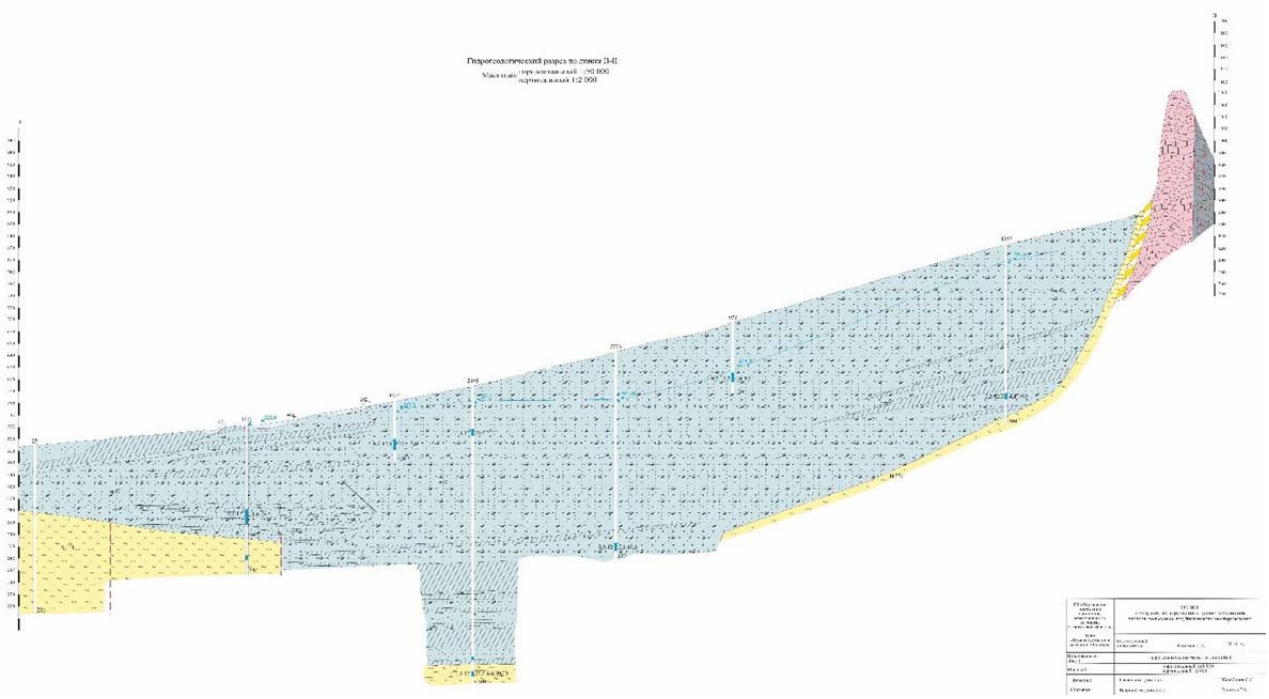


Рисунок 1 – Гидрогеологичейский разрез по линии II-II, Шелекское МПВ

Figure 1 – Hydrogeological cross-section along line II–II, Chilik Groundwater Deposit

Геологическое строение. Шелекская впадина сложена преимущественно четвертичными аллювиальными отложениями, сформированными рекой Шелек и ее притоками на выходе из гор. В разрезе преобладают гравийно-галечниковые породы с прослоями песка и суглинка. По данным разведочных работ полезная толща песчано-гравийной смеси имеет мощность не менее 10 м и выдержанный характер залегания [9]. Материал отлично окатан, обладает высокой прочностью и значительной крупностью, что обусловливает высокую фильтрационную способность. Аллювиальные отложения формируют единый водоносный комплекс, залегающий на относительно водоупорном основании из палеозойских пород (гранитогнейсы, сланцы), вскрывающихся на бортах долины. В долине отмечены тектонические нарушения – разломы субмеридионального простирания, по некоторым из них происходят разгрузка подземных вод и локальные проявления сейсмичности [1] . Рельеф местности представляет собой предгорную равнину с уклоном на север, частично расчлененную старичными протоками реки. По периферии долины распространены конусы выноса притоков (р. Женишке, Саты и др.), сложенные более грубым материалом, переходящим далее вниз по течению в более мелкозернистые отложения. Это создает условия изменчивости гранулометрического состава от гор к равнине: на выходе из гор преобладают валунно-

галечниковые отложения, ниже по долине увеличивается доля песчаных фракций. В целом литологические и структурные особенности Шелекского аллювия благоприятны для формироания мощного водоносного горизонта и интенсивной инфильтрации поверхностных вод.

Гидрогеологическая карта Шелекского месторождения подземных вод представлена на рисунке 2.

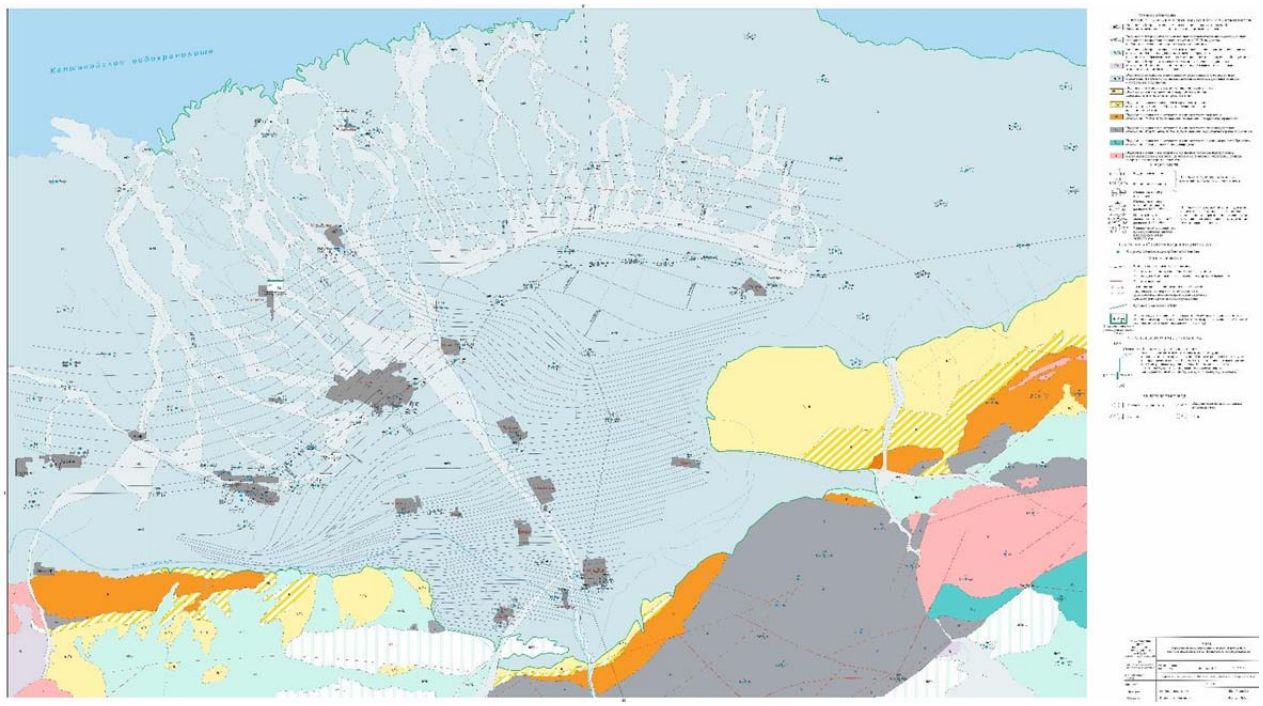


Рисунок 2 – Гидрогеологическая карта Шелекского месторождения подземных вод

Figure 2 – Hydrogeological map of the Chilik groundwater deposit

Гидрогеологические характеристики. Водоносный горизонт приурочен к описанным четвертичным отложениям. Грунтовые воды носят межпластово-грунтовый характер, свободного уровня. Глубина залегания зеркала грунтовых вод варьирует по площади: вблизи русла реки и на пониженном юго-западном участке месторождения уровень был отмечен на глубине ~17–17,2 м от поверхности (по данным шурфов разведки) [19]. На повышенных участках (например, центральная и восточная часть месторождения) вода не вскрыта даже до 10 м глубины [9], что свидетельствует о глубоком залегании уровня (ориентировочно >20 м). Таким образом, большая часть толщи аллювия находится в ненасыщенном состоянии, и месторождение считается «сухим» (грунтовые воды не мешают разработке песчано-гравийного карьера). Такая значительная ненасыщенная зона открывает возможности для накопления дополнительных объемов инфильтрационной воды без риска подтопления. В период весенних паводков уровень грунтовых вод может несколько повышаться, особенно вблизи русла, однако в целом размах колебаний ограничен емкостью водоносного горизонта и отводом подземного стока вниз по долине.

Питание подземных вод Шелекского месторождения осуществляется за счет инфильтрации части стока реки Шелек, а также притока паводково-талых вод с конусов выноса притоков и инфильтрации атмосферных осадков [9]. Режим грунтовых вод относительно устойчивый, с сезонными колебаниями уровня в пределах нескольких метров. Разгрузка естественная происходит, вероятно, в направлении реки Иле и понижения рельефа на севере, а также путем истечения родников по тектоническим трещинам (данные о конкретных родниках в открытых источниках не зафиксированы). Химический состав подземных вод преимущественно гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-натриевый, минерализация обычно не превышает 1 г/л, что соответствует пресным водам, пригодным для питьевого водоснабжения (по аналогии с близкими месторождениями региона) [9]. Температура подземных вод близка к среднегодовой температуре воздуха (~10 °C). Коэффициенты фильтрации пород водоносного горизонта ожидаются высокими (десятки

метров в сутки) благодаря крупнообломочному составу, однако из-за пестроты гранулометрии на отдельных участках возможны зоны с пониженной проницаемостью (линообразные прослои глины, супеси). В целом гидрогеологические условия Шелекского месторождения – мощный проницаемый горизонт с глубоко залегающим уровнем – являются благоприятными для применения методов управляемого пополнения запасов, поскольку могут вместить значительные объемы дополнительно инфильтрированной воды без существенного подъема уровня.

Река Шелек: режим стока и регулирование. Река Шелек является крупнейшей рекой северного склона Иле Алатау, имеющей ледниково-снеговое питание. Длина реки составляет около 245 км, бассейн охватывает высокогорные области с ледниками (истоки – ледники Жангырак, Богатырь, Корженевской на высотах >3300 м над ур. м.). В верховьях река представляет собой типичный горный поток (Таушелек – «Горный Шелек») с узким руслом (5-6 м) и большим уклоном. Протиснувшись через глубокий труднодоступный каньон, на выходе в Жаланашскую долину, Шелек резко поворачивает на север и приобретает более равнинный характер течения. Ниже по течению ширина русла увеличивается до 10-15 м, глубина в межень – 1,5-2 м. Река имеет около 45 притоков, крупнейшие – Женишке (левый), Саты, Кольсай (правые) [1].

Гидрологический режим Шелека характеризуется весенне-летним половодьем и относительно маловодной зимой. Высокие воды наблюдаются со второй половины июня до середины сентября, когда идет интенсивное таяние ледников на высокогорье. Максимальные расходы стока приходятся на июль, иногда достигая нескольких сотен $м^3/с$ в отдельные годы. Дополнительный паводок меньшей мощности происходит весной (апрель–май) за счет таяния снегов в предгорьях. Таким образом, в самый жаркий период года (июль–август) река несет значительные объемы воды, тогда как к началу осени сток уменьшается. Исторически значительная часть весенне-летнего стока Шелека без использования уходила в низовья (в реку Или), тогда как во второй половине вегетационного периода ощущался дефицит воды для орошения. Для решения этой проблемы в 1983 году на входе реки Шелек в предгорную равнину была сооружена каменно-насыпанная плотина высотой ~60 м, образующая Бартогайское водохранилище. Водохранилище имеет полную емкость ~320 млн $м^3$ и площадь ~13 $км^2$ [3]. Оно аккумулирует большую часть весенне-летнего стока (до 90% годового объема, равного ~1 млрд $м^3$ [2]) и позволяет зарегулировать режим реки, обеспечивая гарантированный выпуск воды в ирригационные системы в период максимального водопотребления.

Из Бартогайского водохранилища берет начало Большой Алматинский канал (БАК) – магистральный оросительный канал протяженностью 168 км, предназначенный для переброски части стока р. Шелек в водохозяйственные системы Турген, Иссык, Талгар, Каскелен и других рек Алматинского региона. БАК и его ответвления орошают обширные земли предгорной равнины, ранее страдавшие от недостатка влаги. Ввод в эксплуатацию комплекса «Бартогай – БАК» позволил сгладить несоответствие между естественным стоком рек (пик половодья летом) и графиком водопотребления: теперь весенне-летние талые воды накапливаются в водохранилище и постепенно распределяются по каналам, гарантируя подачу необходимого объема в маловодные месяцы. Эффективность этого решения подтверждена на практике – даже в маловодные годы крестьяне получают воду для полива, чего не было до строительства (риск неурожая из-за летней засухи значительно снизился).

Тем не менее регулирование стока реки Шелек посредством Бартогайского водохранилища не решает всех проблем водообеспечения. Во-первых, потери на испарение с зеркала водохранилища и фильтрацию через тело плотины и карстово-трещиноватый фундамент приводят к утрате части запасов (по разным оценкам до 5-10% в год). Во-вторых, расход воды на орошение возрос, и в отдельные засушливые сезоны водохранилище может не обеспечивать полный требуемый объем. Наконец, экологические аспекты: значительное зарегулирование стока (отбор до 90%) привело к обмелению русла Шелека ниже плотины на протяжении десятков километров, что негативно сказалось на пойменных экосистемах и уменьшило подпитку подземных вод на участках низовья реки. В этой связи актуальными становятся мероприятия, направленные на дополнительное вовлечение в водооборот части стока, которая не может быть удержана в водохранилище, а также на рациональное сохранение излишков воды в периоды их наличия. Одним из перспективных путей является как раз управляемое пополнение подземных вод (MAR), рассматриваемое как дополнение к традиционному хранению воды в поверхностных водохранилищах [12]. Иными

словами, избыточный сезонный сток мог бы не сбрасываться бесполезно, а сохраняться в подземном “резервуаре” в пределах Шелекского месторождения, откуда затем извлекаться при необходимости. В этом контексте необходимо оценить, насколько Шелекский водоносный горизонт и инфраструктура района подходят для реализации MAR.

Оценка возможности управляемого пополнения запасов (MAR). Инфильтрационные свойства и ресурсы водоносного горизонта. Как отмечено, породы Шелекского водоносного комплекса обладают высокой водопроницаемостью. Можно ожидать коэффициенты фильтрации 5–50 м/сут, типичные для крупнозернистых аллювиальных отложений. Для количественной оценки были привлечены результаты опытно-инфильтрационных работ на экспериментальном участке Лепсинского водозабора (схожие гидрогеологические условия, Алматинская обл.): там при подаче воды в инфильтрационную траншею производительностью ~500 $м^3$/сут было достигнуто поглощение водоносным горизонтом со скоростью 0,11-4,32 м/сут (в зависимости от литологии участка) [13]. В ходе опыта слой грунта полностью насыщался инфильтратом за 2-3 сут, после чего установился стационарный режим просачивания [14]. Эти данные подтверждают, что даже в сравнительно мелкозернистых отложениях (с преобладанием песка) фильтрационные скорости составляют доли единицы метров в сутки, а в галечниковых зонах могут достигать нескольких метров в сутки. Для Шелекского месторождения, где значительная часть разреза представлена гравийно-галечником, можно ожидать верхнюю границу этого диапазона (порядка 3–5 м/сут). Таким образом, 1 га инфильтрационной поверхности теоретически способен поглощать до 30-50 тыс. $М^3$ воды в сутки (в оптимальных условиях). Даже если учитывать образование колматажа (закупорки пор отложениями взвеси) и снижение эффективности, потенциал инфильтрации остается очень высоким.

Опытно фильтрационные работы на участке Шелекского месторождения предоставлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Опытно фильтрационные работы на участке Шелекского месторождения

Figure 3 – Experimental hydraulic conductivity tests at the Chilik Groundwater Deposit

Емкость водоносного горизонта для приема дополнительной воды также велика. Прогнозное повышение уровня подземных вод при значительных объемах пополнения может быть оценено по водоемкости пород. Если принять эффективную пористость аллювия ~15%, то, чтобы поднять уровень на 1 м на площади 1 $км^2$, требуется порядка 150 тыс. $м^3$ воды [15]. Шелекское месторождение имеет площадь десятки $км^2$; кроме того, при повышении уровня грунтовые воды начнут

усиливать разгрузку на окраинах (естественный перелив), что будет ограничивать дальнейший рост уровня. Таким образом, можно прогнозировать, что дополнительные миллионы кубометров воды могут быть размещены в водоносном горизонте без критичного подъема уровня (подтопления поверхности). Это делает аквифер природным подземным резервуаром, способным дополнять емкость Бартогайского водохранилища В отличие от поверхностного подземное хранение практически исключает потери на испарение и снижает риск цветения воды.

ГИС-картографирование. С применением ПО ArcGIS выполнена пространственная интерпретация:

– зон выклинивания подземных вод;

– границ водоносного конуса выноса;

– потенциальных участков MAR;

– на основе цифровой модели рельефа (ЦМР), топографических карт масштаба 1:50 000 и инженерно-геологических данных.

Потенциальные участки MAR на Шелекском месторождении предоставлены на рисунке 4.

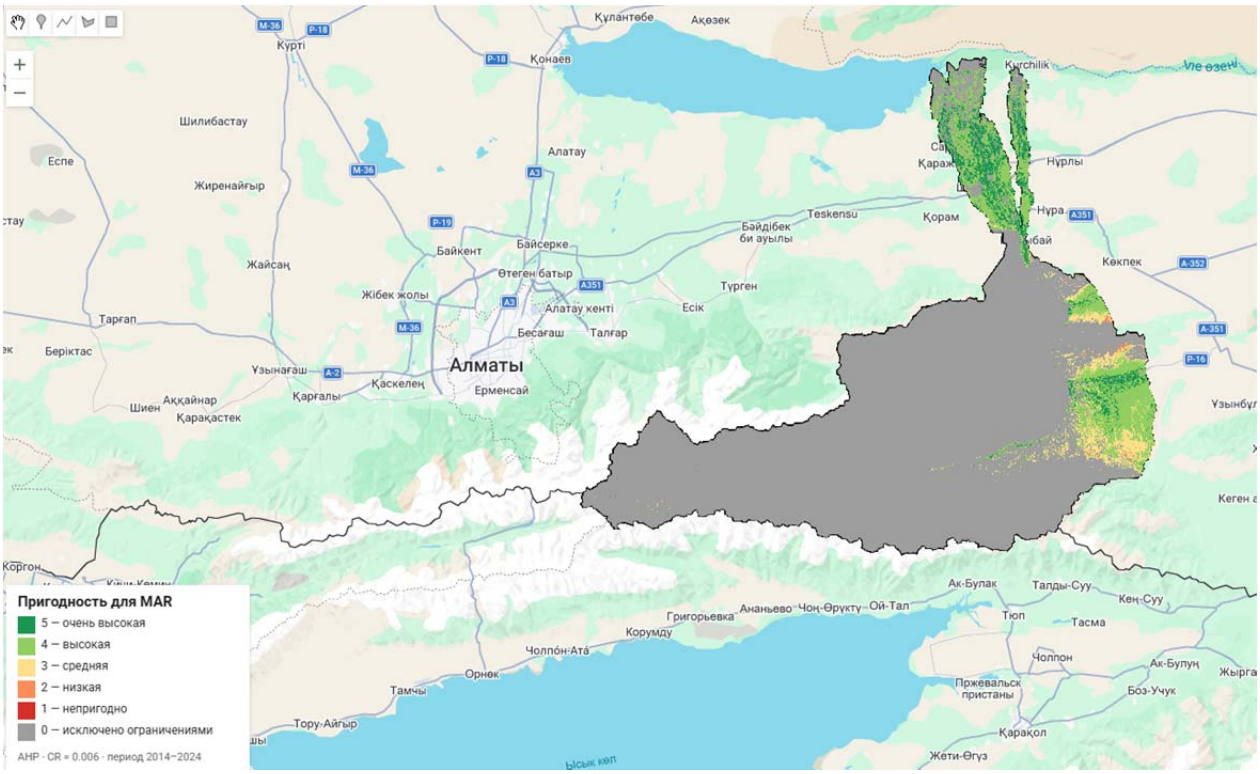


Рисунок 4 – Потенциальные участки MAR на Шелекском месторождении

Figure 4 – Potential MAR sites at the Chilik Groundwater Deposit

Описание карты границ месторождения с наложением участков (рисунок 4). Карта пригодности территории водосбора р. Шелек (5344 км^2) для управляемого пополнения запасов подземных вод (MAR). Построена методом взвешенного наложения в среде Google Earth Engine по семи факторам с весами, полученными методом анализа иерархий (уклон – 0,30; гранулометрический состав – 0,18; расстояние до источника воды – 0,18; мощность зоны аэрации – 0,10; земельный покров – 0,10; густота гидросети – 0,06; водный ресурс – 0,06; CR = 0,006). Серым показаны площади, исключённые по ограничивающим условиям; классы 1-5 – от непригодных к наиболее перспективным. Расчёт выполнен с шагом 100 м в проекции UTM 44N.

Возможные методы и зоны MAR. Учитывая близость реки Шелек и оросительных каналов, наиболее реалистичными методами MAR в рассматриваемом районе являются:

1) инфильтрационные бассейны – специально созданные открытые площадки или пруды, заполняемые избыточной водой в период половодья;

2) инфильтрационные траншеи или канавы – удлиненные выемки, параллельные реке или каналам, через которые вода просачивается в грунт;

3) периодическое затопление участков поймы – контролируемый выпуск воды из канала на пойменные земли с последующей инфильтрацией (так называемый Ag-MAR, когда сельхозугодья используются для пополнения грунтовых вод);

4) скважинная закачка – бурение специальных скважин для нагнетания воды прямо в водоносный горизонт, минуя зону аэрации [17]. Последний метод требует высокого качества воды и фильтрации, поэтому в условиях речной воды предпочтительнее методы поверхностной инфильтрации.

Оптимальные площадки для MAR на месторождении должны удовлетворять нескольким критериям: быть расположены на permeable (проницаемых) грунтах, иметь достаточную площадь и небольшую глубину до уровня грунтовых вод (чтобы снизить потери на удержание в ненасыщенной зоне), а также близко к источнику воды (реке или каналу). На основе анализа топографической карты и данных по уровню грунтовых вод можно выделить две перспективные зоны:

1. Пойма реки Шелек и прилегающая терраса. Здесь естественно существуют условия для инфильтрации: часть паводковой воды и так просачивается через русло. Создание системы мелких грунтовых прудов или понижение участка поймы (путем выемки песчано-гравийного материала) позволило бы увеличивать прием воды. Особенно эффективно это во время весенних паводков, когда сброс воды из Бартогайского водохранилища может превышать потребности каналов. Вместо ухода этой воды в Иле ее можно частично задерживать в понижениях поймы ниже по течению. Требуется обеспечить защиту от размыва и колматажа, возможно строительство низких подпорных плотин (плотин-перепадов) на русле для задержания воды и увеличения фильтрации (аналогично практике строительства заградительных плотин на руслах малых рек для питания грунтовых вод).

2. Зона бывшего русла (старичные озера) и карьер Шелекского месторождения. Разработка песчано-гравийной смеси создала на месторождении искусственные понижения – карьеры. Один из таких карьеров расположен на юго-западной окраине, где уровень грунтовых вод ~17 м. Этот карьер отделен от реки дамбой, однако при желании его можно использовать как большую инфильтрационную емкость. За счет сооружения водовода или канала от БАК либо напрямую от реки (в период, когда она полноводна) карьер мог бы заполняться водой. Вода, фильтруясь через дно карьера (песчано-гравийное), эффективно попадала бы в водоносный горизонт. Подобный метод – использование заброшенных карьеров и гравийных выработок для MAR – применяется, например, в Австралии и США, где карьер заполняется дождевой или речной водой для последующего пополнения аквифера. Плюсами данного подхода являются готовая большая площадь инфильтрации и отсутствие растительного покрова (меньше органического колматажа). Минус – необходимость тщательного контроля качества воды, чтобы не загрязнить грунтовые воды (карьер мог использоваться в том числе для сброса отходов, но в нашем случае таких сведений нет).

Следует отметить, что окружающие **конусы выноса притоков** (Женишке, Саты) также представляют интерес для MAR. Эти участки сложены высокопроницаемыми пролювиальными отложениями и имеют неглубокое залегание грунтовых вод по краям (ближе к устью притоков). Однако организация там MAR потребовала бы подвода воды (например, от основного русла Шелека или из каналов), что технически сложнее. Поэтому приоритетными рассматриваются зоны, непосредственно примыкающие к Шелеку или ирригационным каналам.

Обсуждение. Баланс и ожидаемый эффект. Для грубой оценки возможного эффекта MAR на Шелекском месторождении рассмотрим сценарий: в годы с избыточным половодьем (приток в Бартогай >1 млрд м^3) около 10% годового стока (100 млн м^3) направляется на инфильтрацию в грунт. При эффективности закрепления 70% (часть воды всё же уйдет в реку в виде подземного стока) получаем ~70 млн м^3 в год дополнительного пополнения грунтовых вод. Это сопоставимо с полезной емкостью водохранилища (250 млн м^3) примерно за 3-4 года. Дальнейшее пополнение будет поддерживать высокий уровень аквифера, из которого можно организовать отбор воды скважинами. Например, уже сейчас в районе имеются водозаборные скважины для хозяйственно-питьевого водоснабжения (в с. Шелек и окрестностях). При подъеме уровня и увеличении запасов возможно бурение дополнительных скважин или увеличение дебита существующих без ущерба

для устойчивости. Кроме того, высокий уровень грунтовых вод способен питать малые реки и колодцы на прилегающих территориях, улучшая экологическую обстановку. В целом MAR в сочетании с традиционным поверхностным регулированием даст более надежную систему: часть воды хранится в водохранилище, часть – в подземном горизонте, что снижает риски потери воды (через испарение) и распределяет запас в разных “нишах”. Международный опыт показывает, что подобная *конъюнктивная* (совместная) эксплуатация поверхностных и подземных вод повышает общую устойчивость водоснабжения [18]. Например, исследования в Мексиканском высокогорье свидетельствуют, что увеличение пополнения аквиферов через MAR способно существенно сократить степень его переэксплуатации и замедлить падение уровня [19]. Для Шелекского месторождения, которое пока не испытывает критичного истощения, MAR будет превентивной мерой – обеспечит рост запасов “про запас” на будущее.

Международный опыт MAR и его применение в условиях Юго-Восточного Казахстана. При сопоставлении условий Шелекского месторождения с реализованными MAR-проектами можно отметить ряд сходств с полу/aridными регионами мира. В таблице приведены некоторые примеры, иллюстрирующие потенциальную применимость разных методов.

Примеры управляемого пополнения запасов (MAR) в условиях, сходных с юго-востоком Казахстана

Examples of Managed Aquifer Recharge (MAR) under conditions similar to those in southeastern Kazakhstan

Регион (страна)	Условия	Метод MAR	Результат/эффект	Источник
Калифорния (США), Центральная долина	Средиземноморский климат, засушливое лето	Инфильтрационные бассейны на орошаемых полях (Ag-MAR)	Пополнение аквифера до 100 млн $м^3$/год, снижение падения уровня грунтовых вод	[20]
Kern Water Bank, Калифорния, США	Полузасушливый климат, аллювиальный конус выноса, гравийно-песчаный состав	Инфильтрационные бассейны	Площадь объекта 8100 га, прудов 2830 га; фактическая многолетняя скорость инфильтрации 0,09 м/сут; приём 37–89 млн $м^3$/мес; запас ~1850 млн $м^3$; 85 скважин, извлечение до 296 млн $м^3$ за 10 мес.	[26]
Гуджарат (Индия)	Муссонный климат, засуха зимой	Перколяционные резервуары (percolation tanks) – небольшие плотины на сезонных реках	Увеличение уровня грунтовых вод на 5–10 м, обеспечение водой ~200 деревень в сухой сезон	[CGWB, 2017]
Ферганская долина (Узбек.-Кырг.)	Резко континентальный, оазис	Управляемая фильтрация из ирригационных каналов в коллекторы-дренажные системы	Предотвращение сезонного подтопления, сохранение ~15% дренажного стока в аквиферах	[21, 22]
Мехико (Мексика)	Полузасушливое плато	Инфильтрационные поля для дождевых стоков	Частичное восполнение переиспользуемого аквифера (≈5% от отбора), замедление просадки грунта города	[23, 24]

Примечание. ASR – Aquifer Storage and Recovery (закачка с последующей отбортой), данные источников [Dillon, 2005] и CGWB (Central Ground Water Board of India) 2017 приведены для примера без ссылок в тексте.

Как видно из таблицы, ключевыми предпосылками успеха MAR являются наличие избыточной воды в определенный период (паводок, ливни, сбросы ирригации), высокая проницаемость грунтов, подходящее качество воды и инфраструктура для управления потоками. В случае Шелекского месторождения эти условия в значительной мере выполняются. Паводковый сток реки Шелек и весенние сбросы из Бартогайского водохранилища – это потенциальный ресурс для MAR. Проницаемость аллювия, как показано, высокая. Инфраструктура (каналы, сбросные сооружения) присутствует, хотя может потребоваться ее адаптация (строительство разводящих каналов к инфильтрационным участкам, установка регуляторов). Качество воды Шелека удовлетворяет питьевым нормам, за исключением мутности во время паводка, но эта проблема решается отстоем воды в прудах перед инфильтрацией либо фильтрацией через естественный грунт, что, наоборот, способствует ее доочистке.

Отдельно следует отметить вопрос регулирования поверхностного стока в контексте MAR. Международный опыт показывает, что наиболее эффективны комбинированные схемы, когда часть паводка удерживается поверхностным резервуаром, часть направляется на инфильтрацию, а часть остается для экологически необходимого стока в русле. Для реки Шелек это означает, что помимо оптимизации работы Бартогайского водохранилища (например, заранее сбрасывать воду в ожидании больших паводков, чтобы освободить объем для приема пика паводка), стоит параллельно реализовать MAR-меры на расположенных ниже участках. Это позволит "подстраховать" ситуацию: если водохранилище переполняется, лишняя вода не пропадает, а уходит в грунт. Кроме того, MAR может смягчить экстремальные колебания – уменьшить пиковый расход в реке во время наводнений (путем отвода части воды на инфильтрацию) и поддержать минимальный сток в засуху (за счет подпитки из грунтовых вод) [25]. Так, в Ферганской долине эксперименты по подпитке коллекторно-дренажных сетей позволили уменьшить риск наводнений на полях и одновременно увеличить подземные резервы воды. Аналогично, для Шелека управление затвором плотины совместно с MAR-структурами ниже по течению может обеспечить более гибкое регулирование стока: водохранилище сглаживает сезонный дисбаланс, а MAR – годовой и многолетний.

В результате исследования установлено, что Шелекское месторождение подземных вод обладает значительным потенциалом для управляемого пополнения запасов (MAR).

Заключение. Условия месторождения – мощные высокопроницаемые аллювиальные отложения с глубоко залегающим уровнем грунтовых вод позволяют аккумулировать дополнительные объемы воды в подземном горизонте без риска негативных последствий. Анализ поверхностного стока реки Шелек показал наличие избыточной воды в весенне-летний период, большая часть которой в настоящее время искусственно регулируется и расходуется на орошение, однако часть стока (особенно в годы высокой водности) может быть направлена на пополнение подземных вод. Международный опыт MAR в аналогичных природно-климатических условиях (засушливые предгорные регионы) свидетельствует о высокой эффективности таких мер для повышения устойчивости водоснабжения и смягчения последствий климатической изменчивости [19].

Основные выводы: 1. Шелекский водоносный горизонт способен принять миллионы кубометров инфильтрационной воды благодаря высокой фильтрации пород (полевые испытания на схожих объектах показали коэффициенты до 4-5 м/сут) и значительной емкости ненасыщенной зоны. **2.** Существенная часть сезонного стока реки Шелек (ориентировочно 5-10% годового объема) может быть сохранена в подземном хранилище посредством MAR, что эквивалентно увеличению доступных водных ресурсов региона. **3.** Наиболее рациональными методами являются поверхностная инфильтрация через специально созданные пруды и траншеи в пойме реки и на территории месторождения; закачка через скважины может использоваться как вспомогательная при должной подготовке воды. **4.** Ожидаемый эффект от внедрения MAR – повышение уровней грунтовых вод на 2-5 м в зоне пополнения, что обеспечит увеличение дебита водозаборных скважин и надежности питьевого водоснабжения населенных пунктов (например, с. Шелек), а также создание стратегического резерва воды на случай экстремально засушливых периодов. **5.** Комбинирование MAR с существующей системой регулирования (Бартогайское водохранилище и БАК) позволит достичь синергетического эффекта: более полный сбор паводковых вод, снижение потерь на испарение, поддержание экологически необходимого стока в нижнем течении реки за счет контролируемой подпитки из грунтовых вод.

Практические рекомендации. Внедрение технологий MAR на Шелекском месторождении целесообразно осуществлять поэтапно. На первом этапе рекомендуется реализовать пилотный проект – создать один или несколько инфильтрационных бассейнов (площадью порядка 1-2 га каждый) вблизи русла реки или в существующем карьере, оборудовать их подводящим каналом от БАК либо от реки, а также установить наблюдательную сеть скважин для контроля уровня и качества подземных вод. Такой пилотный эксперимент в течение 1-2 лет позволит оценить фактическую инфильтрационную способность грунтов, коэффициент удержания воды и возможные технические проблемы (колматаж, утечки и т.д.). На втором этапе, при подтверждении эффективности, следует масштабировать систему MAR: увеличить число и площадь инфильтрационных сооружений, интегрировать их с автоматизированной системой управления сбросами воды из

Бартогайского водохранилища. Одновременно необходимо разработать нормативную базу для MAR – внести соответствующие дополнения в схемы комплексного использования водных ресурсов Балкаш-Алакольского бассейна, определить лимиты отбора/пополнения для водопользователей, учесть экологические аспекты (режим минимального стока в р. Шелек ниже плотины). Также рекомендуется организовать мониторинг: регулярные измерения уровней грунтовых вод, отбор проб на качество (во избежание ухудшения качества из-за возможного вымывания примесей из грунта или попадания загрязнителей с поверхности). Наконец, важной частью является информирование местных органов и населения о выгодах MAR – демонстрация, что пополнение подземных вод сегодня означает воду в колодцах и скважинах завтра, особенно в засуху.

Таким образом, реализация предложенных мероприятий по управляемому пополнению запасов подземных вод на Шелекском месторождении и оптимизация регулирования стока реки Шелек будут способствовать укреплению водной безопасности региона. Полученные результаты подтверждают, что интеграция методов MAR в водохозяйственную систему Юго-Восточного Казахстана является научно обоснованной и практически осуществимой. Это послужит примером для других засушливых регионов страны, испытывающих схожие проблемы с водообеспеченностью.

Финансирование. Статья финансируется за счет BR27197639-ОТ-25. Инновации снижения последствий наводнений-засух с гидрогеологическими стратегиями управляемого пополнения водоносных горизонтов для Жамбылской, Алматинской, Жетысуской, Абайской и Восточно-Казахстанской областей – АО «Казахстанско-Британский технический университет».

ЛИТЕРАТУРА

[1] Река Шелек [Электрон. ресурс]. – 2010. – fungi.su – URL: https://fungi.su/articles.php?article_id=288# (дата обращения: 10.09.2025).

[2] Бартогайское водохранилище [Электрон. ресурс]. – 2016. – Qazaqstan Tarihy – Kazakhstanika (Национальный портал истории) – URL: https://e-history.kz/ru/kazakhstanika/show/11154 (дата обращения: 05.02.2026).

[3] Об утверждении перечня водных объектов особого государственного значения и режимов хозяйственной деятельности на них [Электрон. ресурс]. – 2025. – adilet.zan.kz – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2500000672/history (дата обращения: 29.10.2025).

[4] Об утверждении перечня участков недр, месторождений, имеющих стратегическое значение, а также критериев их отнесения к таковым [Электрон. ресурс]. – 2018. – adilet.zan.kz – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1100001137 (дата обращения: 28.06.2018).

[5] Palma-Nava A., Parker T.K., Carmona Paredes R.B. Challenges and experiences of managed aquifer recharge in the Mexico City Metropolitan Area // Ground Water. – 2022. – Vol. 60. – P. 675-684. https://doi.org/10.1111/gwat.13237

[6] IGRAC MAR Portal. 2014. International Groundwater Resources Assessment Centre. https://www.un-igrac.org/special-project/mar-portal (accessed January 12, 2022).

[7] Bouwer H. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering // Hydrogeology Journal. – 2002. – Vol. 10. – P. 121-142. https://doi.org/10.1007/s10040-001-0182-4

[8] Рахметов И. К., Тоқтар Ә. Т., Нургазиева А. А. Оценка современного состояния месторождений подземных вод Восточного Казахстана, разведанных для орошения // География и водные ресурсы. – 2025. – № 3. – С. 58-68. https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-58-68.32

[9] АО «ДСУ-13». Проект рекультивации нарушенных земель на месторождении песчано-гравийной смеси Чиликское-II в Енбекшиказахском районе Алматинской области: отчет проекта. [Электрон. ресурс]. – 2025. – Ecoportal.kz. – URL: https:// ecoportal.kz/RubService/LoadFile (дата обращения: 31.03.2025).

[10] Ismagulova A., Kulagin V., Zhumabek A., Itemen N., Tileuberdi N., Al-Dujaili A.N., Issagaliyeva A. Dynamics of hydrogeochemical infiltration during artificial groundwater recharge in daily regulation basins: a case study of the Lepsinsky experimental site // ES Materials and Manufacturing. – 2025. – Vol. 28. – P. 1574 (12 p.). https://dx.doi.org/10.30919/mm1574

[11] Onglassynov Zh., Berndtsson R., Rakhimova V., Rakhimov T., Jabassov A., Rakhmetov I., Muratova M., Tussupova K. GIS-based multi-criteria assessment of managed aquifer recharge (MAR) zones using the analytic hierarchy process (AHP) method in Southern Kazakhstan // Water. – 2025. – Vol. 17. – P. 2774(1-22). https://doi.org/10.3390/w17182774

[12] Palma-Nava, A., Rivera A., Carmona R. A unified hydrogeological conceptual model of the Mexico Basin aquifer after a century of groundwater exploitation // Water. 2022. Vol.14. P. 1584 https://doi.org/10.3390/w14101584

[13] El-Fakharany, Z.M. Potential of using river bank filtration to augment water resources: a review. Groundwater in Developing Countries // Cham: Springer Nature Switzerland. – 2025. – P. 97-126. https://doi.org/10.1007/978-3-031-79122-2_4

[14] Barbieri, M., Barberio, M. D., Banzato, F., Billi, A., Boschetti, T., Franchini, S., Gori, F., Petitta, M. Climate change and its effect on groundwater quality // Environmental Geochemistry and Health. – 2023. – Vol. 45. – P.1133-1144. https://doi.org/10.1007/s10653-021-01140-5

[15] Тюменев С.Д. Водные ресурсы и водообеспеченность территории Казахстана. – Алматы: Ғылым, 2008. – 271 с.

[16] Мариковский П. И. Судьбы Чарына. – Алматы: Фонд «XXI век», 1997. – 120 с.

[17] Güntner A., Sharifi E., Behzadpour S., Boergens E., Dahle Ch., Haas J. Global gravity-based groundwater product (G3P). V. 1.11. GFZ Data Services. https://doi.org/10.5880/G3P.2023.001

[18] Em T., Amanzholova R., Rakhimov T., Musaeva A. Альтернативное решение по управлению водоносными горизонтами и применение методов инфильтрации и аккумуляции в сельском хозяйстве // География и водные ресурсы. – 2025. – № 1. – С. 56-68. https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-56-68.6

[19] Catalin S., Nienke A. Web-based global inventory of managed aquifer recharge applications // Sustainable Water Resources Management. – 2017. – Vol. 4. – P. 153-162. https://doi.org/10.1007/s40899-017-0212-6

[20] The western United States is living through the worst period of drought in 1,200 years. [Электрон. ресурс]. – 2020. – The Water Desk. – URL: https://interactive.aljazeera.com/aje/2023/colorado-river-climate-indigenous-communities/#:~:text=Having%20their%20rights,Colorado%20River%20basin

[21] Абдулахаев, А.С. Строительство мелиоративных сетей ферганской долины // Central Asian Journal of Academic research. – 2025. – Vol. 3. – P.151-153. https://doi.org/10.5281/zenodo.17378352

[22] Мирзаев, Н.Н. Управление водой на ирригационных системах. - Ташкент. Научно-информационный центр МКВК. – 2015. – 138 с. https://www.cawater-info.net/library/rus/watlib/watlib-04-2015.pdf

[23] Palma-Nava, A., González-Villarreal F., Mendoza-Mata A. The development of a managed aquifer recharge project with recycled water for Chihuahua, Mexico // Water Resources Management. – 2018. – Vol. 4. – P. 371-382. https://doi.org/10.1007/s40899-018-0234-8

[24] González-Villarreal F., Cruickshank-Villanueva C., Palma-Nava A., Mendoza-Mata A. 2014. Gestión de la Recarga Artificial en México // H_2O del Sistema De Aguas De La Ciudad De México. – 2015. – Vol. 2. https://issuu.com/helios_comunicacion/docs/h2o_-_5/30

[25] Unlocking the potential of groundwater recharge with technology. – 2023. – Rubicon Water. – URL: https://rubiconwater.com/unlocking-the-potential-of-groundwater-recharge-with-technology/

[26] Kern Water Bank Authority. Frequently asked questions. URL: https://www.kwb.org/faqs.

REFERENCES

[1] Chilik River [Electronic resource]. 2010. fungi.su. URL: https://fungi.su/articles.php?article_id=288# (accessed: 10.09.2025) (in Russ.).

[2] Bartogay Reservoir [Electronic resource]. 2016. Qazaqstan Tarihy – Kazakhstanika, National History Portal. URL: https://e-history.kz/ru/kazakhstanika/show/11154 (accessed: 05.02.2026) (in Russ.).

[3] On Approval of the List of Water Bodies of Special State Significance and the Regimes of Economic Activity on Them [Electronic resource]. 2025. adilet.zan.kz. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2500000672/history (accessed: 29.10.2025) (in Russ.).

[4] On Approval of the List of Subsoil Plots and Deposits of Strategic Importance, as well as the Criteria for Classifying Them as Such [Electronic resource]. 2018. adilet.zan.kz. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1100001137 (accessed: 28.06.2018) (in Russ.).

[5] Palma-Nava A., Parker T.K., Carmona Paredes R.B. Challenges and experiences of managed aquifer recharge in the Mexico City Metropolitan Area // Ground Water. 2022. Vol. 60. P. 675-684. https://doi.org/10.1111/gwat.13237

[6] IGRAC MAR Portal. 2014. International Groundwater Resources Assessment Centre. URL: https://www.un-igrac.org/special-project/mar-portal (accessed: January 12, 2022).

[7] Bouwer H. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering // Hydrogeology Journal. 2002. Vol. 10. P. 121-142. https://doi.org/10.1007/s10040-001-0182-4

[8] Rakhmetov I.K., Toktar A.T., Nurgaziyeva A.A. Assessment of the current state of groundwater deposits in Eastern Kazakhstan explored for irrigation // Geography and Water Resources. 2025. No. 3. P. 58-68. https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-58-68.32 (in Russ.).

[9] JSC “DSU-13”. Reclamation Project for Disturbed Lands at the “Chilikskoye-II” Sand and Gravel Mixture Deposit in the Enbekshikazakh District of Almaty Region: Project Report [Electronic resource]. 2025. Ecoportal.kz. URL: https://ecoportal.kz/RubService/LoadFile (accessed: 31.03.2025) (in Russ.).

[10] Ismagulova A., Kulagin V., Zhumabek A., Itemen N., Tileuberdi N., Al-Dujaili A.N., Issagaliyeva A. Dynamics of hydrogeochemical infiltration during artificial groundwater recharge in daily regulation basins: a case study of the Lepsinsky experimental site // ES Materials and Manufacturing. 2025. Vol. 28. P. 1574, 12 p. https://dx.doi.org/10.30919/mm1574

[11] Onglassynov Zh., Berndtsson R., Rakhimova V., Rakhimov T., Jabassov A., Rakhmetov I., Muratova M., Tussupova K. GIS-based multi-criteria assessment of managed aquifer recharge (MAR) zones using the analytic hierarchy process (AHP) method in Southern Kazakhstan // Water. 2025. Vol. 17. P. 2774, 1-22. https://doi.org/10.3390/w17182774

[12] Palma-Nava A., Rivera A., Carmona R. A unified hydrogeological conceptual model of the Mexico Basin aquifer after a century of groundwater exploitation // Water. 2022. Vol. 14. P. 1584. https://doi.org/10.3390/w14101584

[13] El-Fakharany Z.M. Potential of using river bank filtration to augment water resources: a review // Groundwater in Developing Countries. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. P. 97-126. https://doi.org/10.1007/978-3-031-79122-2_4

[14] Barbieri M., Barberio M.D., Banzato F., Billi A., Boschetti T., Franchini S., Gori F., Petitta M. Climate change and its effect on groundwater quality // Environmental Geochemistry and Health. 2023. Vol. 45. P. 1133-1144. https://doi.org/10.1007/s10653-021-01140-5

[15] Tyumenev S.D. Water Resources and Water Availability of the Territory of Kazakhstan. Almaty: Gylym, 2008. 271 p. (in Russ.).

[16] Marikovsky P. I. The Fate of Charyn. Almaty: XXI Century Foundation, 1997. 120 p. (in Russ.).

[17] Güntner A., Sharifi E., Behzadpour S., Boergens E., Dahle Ch., Haas J. Global Gravity-Based Groundwater Product (G3P). Version 1.11. GFZ Data Services. https://doi.org/10.5880/G3P.2023.001

[18] Em T., Amanzholova R., Rakhimov T., Musaeva A. An alternative solution for aquifer management and the application of infiltration and storage methods in agriculture // Geography and Water Resources. 2025. No. 1. P. 56-68. https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-56-68.6

[19] Catalin S., Nienke A. Web-based global inventory of managed aquifer recharge applications // Sustainable Water Resources Management. 2017. Vol. 4. P. 153-162. https://doi.org/10.1007/s40899-017-0212-6

[20] The Western United States Is Living Through the Worst Period of Drought in 1,200 Years [Electronic resource]. 2020. The Water Desk. URL: https://interactive.aljazeera.com/aje/2023/colorado-river-climate-indigenous-communities/#:~:text=Having%20their%20rights,Colorado%20River%20basin.

[21] Abdulakhayev A.S. Construction of reclamation networks in the Fergana Valley // Central Asian Journal of Academic Research. 2025. Vol. 3. P. 151-153. https://doi.org/10.5281/zenodo.17378352 (in Russ.).

[22] Mirzayev N.N. Water Management in Irrigation Systems. Tashkent: Scientific Information Center of ICWC, 2015. 138 p. URL: https://www.cawater-info.net/library/rus/watlib/watlib-04-2015.pdf (in Russ.).

[23] Palma-Nava A., González-Villarreal F., Mendoza-Mata A. The development of a managed aquifer recharge project with recycled water for Chihuahua, Mexico // Water Resources Management. 2018. Vol. 4. P. 371-382. https://doi.org/10.1007/s40899-018-0234-8

[24] González-Villarreal F., Cruickshank-Villanueva C., Palma-Nava A., Mendoza-Mata A. Management of Artificial Recharge in Mexico // H_2O del Sistema de Aguas de la Ciudad de México. 2015. Vol. 2. URL: https://issuu.com/helios_comunicacion/docs/h2o_-_5/30.

[25] Unlocking the Potential of Groundwater Recharge with Technology [Electronic resource]. 2023. Rubicon Water. URL: https://rubiconwater.com/unlocking-the-potential-of-groundwater-recharge-with-technology/.

[26] Kern Water Bank Authority. Frequently asked questions. URL: https://www.kwb.org/faqs.

И. К. Рахметов*[1], К. Т. Оспанов[2], Т. Усманов[3], Р. Аманжолова[4]

[1] *Ғылыми қызметкер («У. М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; ***issaraqmet@gmail.com***)

[2] Техника ғылымдарының кандидаты, профессор (Қ. Тұрысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі институты, Алматы, Қазақстан; *k.ospanov@satbayev.university*)

[3] Ғылыми қызметкер (Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан; *usmanovt@gmail.com*)

[4] Аға оқытушы (Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан; *r.amanzholova@kbtu.kz*)

БАСҚАРЫЛАТЫН СУЛЫ ҚАБАТТАРДЫ ТОЛЫҚТЫРУ (MAR) ЖӘНЕ ЖЕРҮСТІ АҒЫНДЫСЫН РЕТТЕУ ТҰРҒЫСЫНАН ШЕЛЕК ЖЕРАСТЫ СУЛАРЫ КЕН ОРНЫН ГИДРОГЕОЛОГИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ

Аннотация. Оңтүстік-Шығыс Қазақстанда су ресурстары тапшылығының артуы жағдайында сумен жабдықтау сенімділігін арттыру жолдарын іздеу өзекті мәселе болып табылады. Мақалада Шелек жерасты сулары кен орны үшін басқарылатын сулы қабаттарды толықтыру технологиясын - Managed Aquifer Recharge, MAR - қолдану мүмкіндігі қарастырылған. Шелек сулы горизонты кен орнының геологиялық-гидрогеологиялық сипаттамалары, соның ішінде аллювийлік шөгінділердің литологиялық құрамы, жерасты сулары деңгейінің тереңдігі және қоректену жағдайлары берілген. Шелек өзені ағындысының режиміне және оны реттеудің қолданыстағы жүйесіне - Бартогай су қоймасы мен Үлкен Алматы каналына - талдау жүргізілген. MAR технологиясын қолданудың халықаралық тәжірибесі және тәжірибелік инфильтрация деректері негізінде зерттеу ауданының инфильтрациялық әлеуеті бағаланған. Инфильтрациялық суларды жинақтауға қолайлы перспективалық аймақтар және MAR технологиясын іске асырудың ықтимал әдістері, соның ішінде инфильтрациялық бассейндер, траншеялар және басқа да инженерлік шешімдер қарастырылған. Сумен жабдықтаудың тұрақтылығын арттыру мақсатында Шелек кен орнында MAR технологиясын енгізу, сондай-ақ Шелек өзенінің жерүсті ағындысын реттеуді оңтайландыру бойынша ұсынымдар ұсынылған. Алынған нәтижелерді құрғақ аймақтарда су ресурстарын интеграцияланған басқару жөніндегі іс-шараларды жоспарлау кезінде пайдалануға болады.

Түйін сөздер: басқарылатын сулы қабаттарды толықтыру; MAR; Шелек кен орны; жерасты сулары; инфильтрация; жерүсті ағындысы; ағындыны реттеу; Алматы облысы.

I. K. Rakhmetov*[1], K. T. Ospanov[2], T. Usmanov[3], R. Amanzholova[4]

[1] *Research Fellow (LLP "Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin", Almaty, Kazakhstan; ***issaraqmet@gmail.com***)
[2] Candidate of Technical Sciences, Professor (K. Turysov Institute of Geology and Oil and Gas Engineering, Almaty, Kazakhstan; *k.ospanov@satbayev.university*)
[3] Research Fellow (Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan; *usmanovt@gmail.com*)
[4] Senior Lecturer (Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan; *r.amanzholova@kbtu.kz*)

HYDROGEOLOGICAL ASSESSMENT OF THE CHILIK GROUNDWATER DEPOSIT FROM THE PERSPECTIVE OF MANAGED AQUIFER RECHARGE (MAR) AND SURFACE RUNOFF REGULATION

Abstract. Under conditions of increasing water scarcity in South-Eastern Kazakhstan, the search for ways to improve the reliability of water supply is becoming an urgent task. This article examines the possibility of applying Managed Aquifer Recharge (MAR) technology to the Chilik groundwater deposit. The geological and hydrogeological characteristics of the Chilik aquifer system are presented, including the lithological composition of alluvial deposits, groundwater level depth, and recharge conditions. The runoff regime of the Chilik River and the existing system of its regulation, including the Bartogay Reservoir and the Big Almaty Canal, are analyzed. Based on international experience in MAR application and experimental infiltration data, the infiltration potential of the study area is assessed. Prospective zones for the accumulation of infiltration water and possible MAR implementation methods, including infiltration basins, trenches, and other engineering solutions, are discussed. Recommendations are proposed for implementing MAR at the Chilik groundwater deposit in order to improve the sustainability of water supply, as well as for optimizing the regulation of surface runoff of the Chilik River. The obtained results may be used in planning measures for integrated water resources management in arid regions.

Keywords: Managed Aquifer Recharge; MAR; Chilik groundwater deposit; groundwater; infiltration; surface runoff; runoff regulation; Almaty Region.