
МУНАЙ ГАЗ ИНЖЕНЕРИЯСЫ ЖӘНЕ ГЕОЛОГИЯ
OIL AND GAS ENGINEERING, GEOLOGY
НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.38
МРНТИ 38.61.23

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2025-22-1-330-345>

^{1*}Эм Т.,

магистрант, ORCID ID: 0009-0007-6859-1053,
e-mail: t_em@kbtu.kz

^{1*}Аманжолова Р.,

магистрант, ORCID ID: 0000-0001-9129-1074,
e-mail: r_amanzholova@kbtu.kz

²Рахимов Т.,

PhD, ORCID ID: 0000-0002-0976-4643,
e-mail: t.rakhimov@satbayev.university

³Каталин С.,

PhD, ORCID ID: 0000-0001-8250-2749,
e-mail: catalin.stefan@tu-dresden.de

¹Сагин Ж.,

PhD, профессор, ORCID ID: 0000-0002-0386-888X,
e-mail: j.sagin@kbtu.kz

²Онласынов Ж.,

PhD, ORCID ID: 0000-0002-3587-5996,
e-mail: Zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru

⁴Арыстанов А.,

старший преподаватель, ORCID: 0009-0000-0341-5381,
e-mail: asekaiek@mail.ru

⁵Мусаева А.,

магистр, ORCID: 0009-0007-6191-4649,
e-mail: asem.musayeva.02@mail.ru

¹Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан

²Институт гидрогеологии и экологической геонауки им. У.М. Ахмедсафина,
г. Алматы, Казахстан

³Дрезденский технический университет, г. Дрезден, Германия

⁴Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Казахстан

⁵Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан.

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ УПРАВЛЯЕМОЕ ПОПОЛНЕНИЕ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ (AgMAR) / АДАПТАЦИЯ К ПАВОДКАМ ДЛЯ КАЗАХСТАНА

Аннотация

Изменение климата влияет на водные ресурсы по всему миру, приводя к непредсказуемым погодным условиям и ставя под сомнение методы управления водными ресурсами. Длительные засухи, усиление штормов, уменьшение снежного покрова и изменение динамики стока осложняют обеспечение водной безопасности. В Казахстане попытки смягчить наводнения путем строительства плотин оказались неэффективными для успешного управления городскими ливневыми стоками. В данном исследовании рассматривается реализация сельскохозяйственного управляемого пополнения водоносных горизонтов (AgMAR) в Казахстане с использованием 3D-визуализации, созданной с помощью библиотеки PyVista, для моделирования почвенных слоев, динамики водных потоков и принципа MAR. Полученные результаты свидетельствуют о том, что AgMAR является перспективным решением для ирригации и управления водными ресурсами в сельской местности, обеспечивая такие преимущества, как стабилизация грунтовых вод, пополнение водоносного горизонта во время сезонных осадков, очистка подземных источников воды и повышение доступности пресной воды.

Ключевые слов: AgMAR, наводнение, MAR, INOWAS, TERESA, устойчивость.

Введение

Смягчение последствий наводнений и засух становится все более сложной задачей из-за усиления антропогенного влияния и изменения климата. Для повышения устойчивости и жизнеспособности населения в ряде стран, включая США и ЕС, внедряются инновационные технологии, такие как сельскохозяйственное управляемое пополнение водоносных горизонтов (AgMAR) и Flood MAR [1].

AgMAR представляет собой одну из наиболее перспективных технологий управляемого пополнения водоносных горизонтов (MAR). Этот подход активно развивается и широко используется под различными терминами, такими как «сельскохозяйственное хранение грунтовых вод», «пополнение запасов на фермах» или «захват паводковых потоков». Технология заключается в направлении избыточных поверхностных вод, возникающих из-за осадков, таяния снега или сброса воды из водохранилищ, на сельскохозяйственные угодья с целью восстановления запасов подземных вод [2].

Ключевой показатель эффективности AgMAR – гидравлическая проводимость насыщенной почвы (K_s). Несмотря на сложность процессов преимущественного стока, K_s остается практическим и общепринятым индикатором для оценки скорости инфильтрации.

Развитие AgMAR в США и Европе. Наибольших успехов в развитии технологии AgMAR достигли США и Европа [3]. Этот подход включает мониторинг показателей влажности почвы и использование естественных почвенных процессов для устойчивого пополнения грунтовых вод. Применение стратегий искусственного увлажнения почв при различных сценариях засух позволяет снизить потери урожая и уменьшить последствия сезонных засух.

Примеры успешного применения AgMAR

Калифорния стала пионером в использовании индекса запасов подземных вод (GWSI), который помогает выявлять сельскохозяйственные земли, наиболее подходящие для AgMAR, на основе цифрового анализа почв. Этот подход позволил проводить целенаправленные исследования и разрабатывать методы выращивания многолетних культур, которые способствуют пополнению подземных вод и одновременно повышают сельскохозяйственную продуктивность [4].

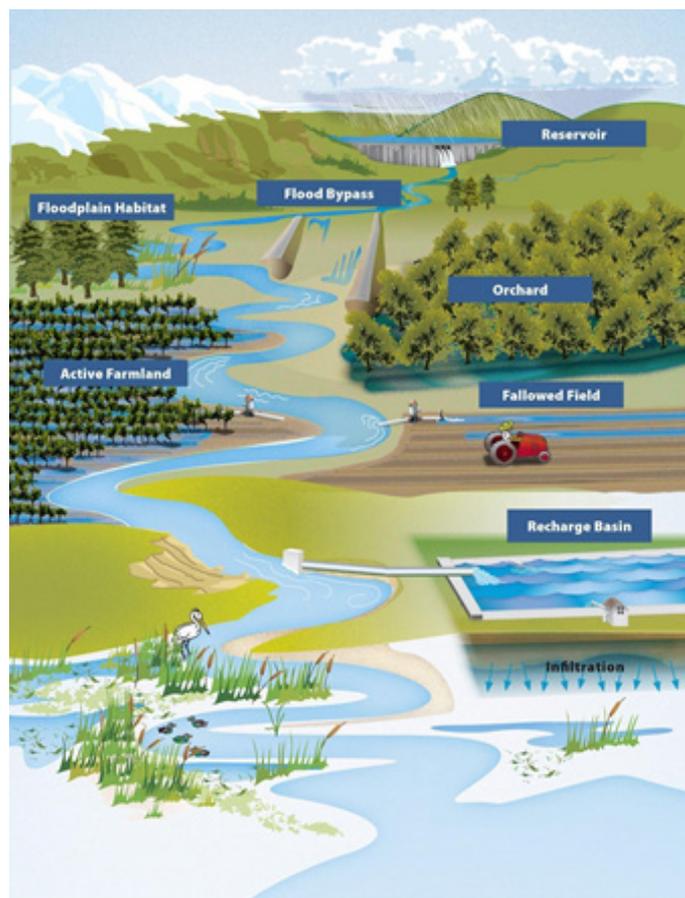


Рисунок 1 – Наводнение. Сельское хозяйство.
Управляемое пополнение водоносных горизонтов в Калифорнии [5]



Рисунок 2 – Метод искусственного затопления
с использованием технологии MAR в Калифорнии, США [4]

Спрос на развитие сельского хозяйства в области виноградарства, садоводства и орошаемого земледелия активно описывается в опыте Managed aquifer recharge for agriculture in Australia, который включает схемы с использованием накопления подземных вод и описывает несколько преимуществ в использовании Agricultural MAR. В исследовании использовались системы водоснабжения в схемах Литл-Пара, Локайер и Ангас-Бремер.

Общие объемы составили 0,6, 8,9 и $6,5 \times 10^6$ м³ в год. Производительность систем управляемого пополнения водных ресурсов (MAR) достигала 37–67% от общего пополнения водных объемов, что делает их надежным решением для удовлетворения значительных потребностей в орошении. Производители плодоовощной продукции могут рассматривать накопительные системы АМР как альтернативные источники воды. Например, в регионах Альдинг и Ангус-Бремер системы закачки воды в скважины способствовали увеличению урожая винограда премиум-класса. Использование существующих подземных источников требует меньших первоначальных инвестиций, поскольку скважины для забора грунтовых вод зачастую уже имеются [6].

Технологии MAR (управляемого пополнения водных ресурсов) предусматривают очистку питьевых источников через фильтрацию поверхностных и пополнение подземных вод. В Германии, где поверхность воды часто подвержена загрязнению, используемые для питьевых нужд источники требуют постоянного контроля. Для оценки загрязнителей, разработки методов комбинированной очистки и настройки систем MAR применяются различные подходы к принятию решений, направленные на обеспечение высокого качества питьевой воды [7].

Исследовательский и учебный центр MAR, созданный в кампусе Назарбаев Университета вблизи озера Талдыколь, служит площадкой для тестирования таких технологий. В исследовательском центре изучаются методы MAR совместно с устойчивыми городскими дренажными системами (SUDS). Здесь разрабатываются сценарии инфильтрации, направленные на эффективное управление водными ресурсами с учетом местного и регионального водного баланса, включая ливневые, талые и паводковые воды.

Перспективы применения MAR в Казахстане. Существует необходимость продвижения технологий TERESA, INOWAS MAR и Flood-MAR в регионы Казахстана, особенно в сельской местности и на сельскохозяйственных угодьях. Это позволит улучшить эффективность орошения, оптимизировать хранение и распределение воды, а также повысить устойчивость сельскохозяйственного сектора к изменению климата. Интеграция методов MAR в системы устойчивого орошения станет важным шагом к обеспечению водной и продовольственной безопасности страны [8].



Рисунок 3 – Проект TERESA в г. Астане, в кампусе Назарбаев Университета (NU) [9]

Проект содержит основные компоненты применения технологии, показанные на рисунке 4.



Рисунок 4 – TERESA – исследовательский полигон в NU [10]

На рисунке 5 показана метеорологическая станция, которая регистрирует температуру воздуха, направление ветра, индекс солнечной радиации, влажность и количество осадков. Это оборудование для исследований, которое используется в рамках проекта TERESA INOWAS MAR проекта.



Рисунок 5 – Метеорологическая станция
Назарбаев Университета (NU) [11]

Были проведены измерения параметров почвы с использованием датчиков контроля температуры и влажности.



Рисунок 6 – Устройство для измерения грунта с использованием датчиков на разных уровнях [12]

В результате поверх проницаемого покрытия были размещены две скважины, была определена дренажная система для канавы, показанной на рисунке 7, и установлены насосные скважины для откачки и пополнения запасов грунтовых вод (рисунок 8).

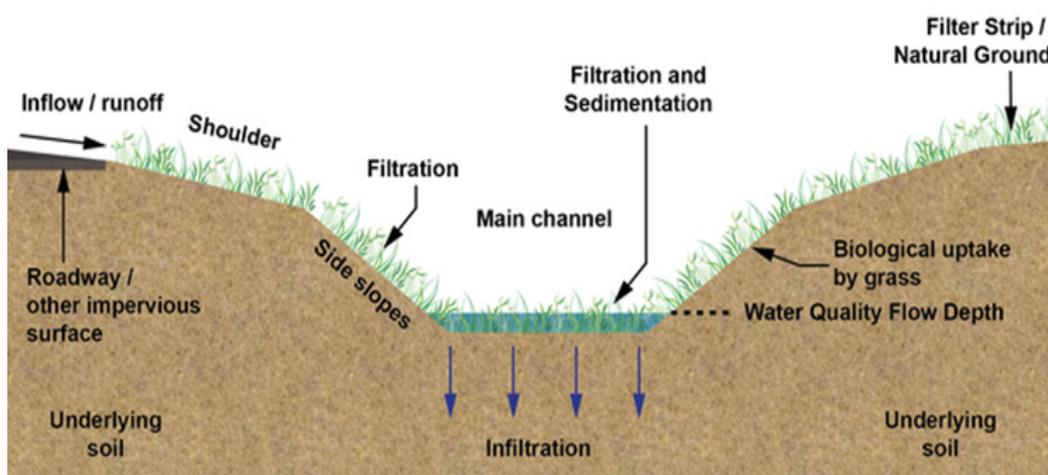


Рисунок 7 – Проектный план системы дренажной канавы [13]

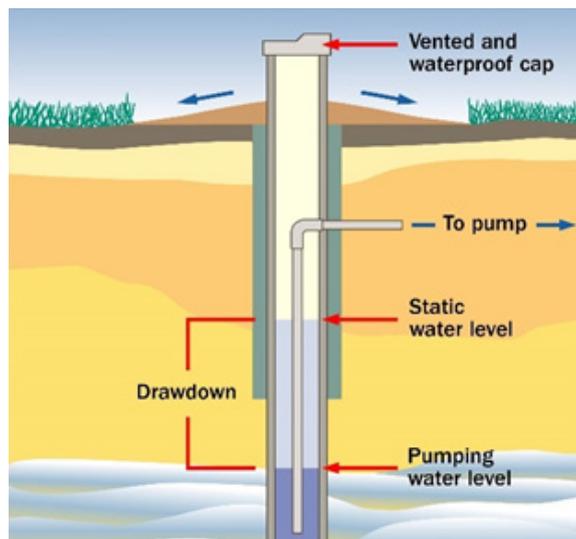


Рисунок 8 – Строительство дренажной канавы [14]

С помощью таких установок можно воспроизвести контролируемый эксперимент для анализа и визуализации паводков независимо от погодных условий.

Анализ регионов на отсутствие современных принципов накопления воды

Например, в Испании использование исключительно плотин показало свою ограниченность в борьбе с внезапными обильными осадками, которые затопляют города, несмотря на значительные инвестиции в такую инфраструктуру. В результате этого есть человеческие жертвы (рисунок 9). Испания выплатила компенсацию по страховым случаям в связи с чрезвычайными рисками. Ученые утверждают, что двухлетняя засуха в стране, а также аномально высокие температуры способствовали ухудшению ситуации с наводнениями, вызванными рекордными осадками [10].



Рисунок 9 – Катастрофическое наводнение в Испании (7 ноября 2024 г.) [15]

Аналогичная ситуация наблюдалась в 2010 г. в селе Кызылагаш Алматинской области Казахстана (рисунок 10). Произошло разрушительное наводнение с человеческими жертвами. Это событие связано с разрушением плотины, вызванным таянием снега и проливными дождями. В результате было повреждено более 80% инфраструктуры деревни. Первоначально планировалось накопить больше поверхностной воды в водохранилище в рамках подготовки к засушливому летнему сезону. Однако никто не ожидал, что это обернется катастрофой [16].



Рисунок 10 – Наводнения в селе Кызылагаш [16]

Необходимость внедрения MAR в Республике Казахстан

Расширение применения технологий MAR (managed aquifer recharge) в Казахстане является необходимой инициативой. Немецко-казахстанское сотрудничество в рамках проекта TERESA направлено на содействие устойчивому использованию ресурсов поверхностных и подземных вод путем привлечения немецкого опыта для решения проблем смягчения последствий наводнений и засухи. Одним из ключевых пилотных районов для проведения этого исследования является г. Астана. Неподалеку расположен учебный центр MAR по исследованию водно-болотных угодий при Назарбаев Университете. Центр изучает и тестирует подходы MAR, а также устойчивые городские дренажные системы (SUDS), где тестируются различные сценарии инфильтрации для обеспечения эффективного управления водными ресурсами. Сегодня планируется продвигать проект TERESA INOWAS MAR в области сельского хозяйства для лучшего освоения сельскохозяйственных земель. Благодаря усовершенствованному мониторингу ливневых, талых и паводковых вод становится возможным интегрировать процессы MAR для устойчивого орошения с целью повышения производительности сельскохозяйственной отрасли.

Область исследования

В качестве региона исследования был выбран Балтабайский сельский округ (бывший совхоз «Балтабай табаководческий»). Он был организован в 1961 г. и расположен в центральной части Енбекшиказахского района Алматинской области. Этот район имеет богатую историю и значительные сельскохозяйственные традиции, основанные на выращивании зерновых и овощных культур. Первое полномасштабное полевое обследование почв района было проведено в 1972 г., что позволило более детально изучить и оценить земельные ресурсы региона.

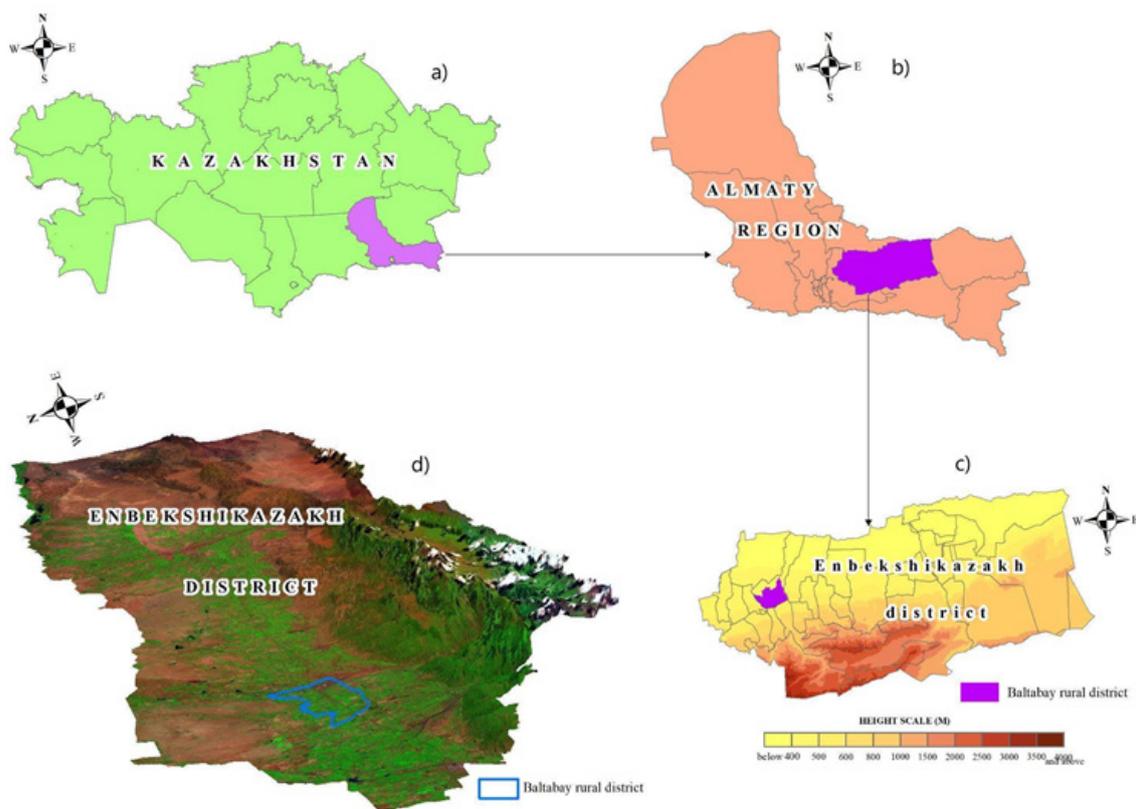


Рисунок 11 – Общая карта Енбекшиказахского района

Центром района является село Балтабай, расположенное в 54 км к востоку от областного центра и в 25 км к северу от районного центра, г. Иссык. Через территорию района проходит Большой Алматинский канал им. Д. Кунаева, обеспечивающий водоснабжение и орошение предгорных зон. В состав сельского округа входят села Балтабай, Бирлик и Енбек. Площадь орошаемых земель составляет 6389,58 га, из которых 5795 га заняты пашнями. Основными культурами являются кукуруза, пшеница, овощи и бахчевые культуры.

Природные ресурсы и сельское хозяйство

Сельское хозяйство в Балтабайском районе возможно исключительно благодаря активному использованию ирригационных технологий. Летние высокие температуры, сильные восточные ветры и низкая влажность создают значительный дефицит влаги, что требует обязательного орошения. На полях района выращиваются пшеница, ячмень, кукуруза, подсолнечник, кормовые травы и овощи. Несмотря на природные трудности, район обладает значительным аграрным потенциалом и активно используется для сельскохозяйственного производства.

Рельеф

Балтабайский сельский округ занимает предгорную аккумулятивную равнину на высоте 500–750 м над уровнем моря с небольшим уклоном на север. В центре, на востоке и западе протекают реки Турген, Балтабай, Карасу, Макан, Куватобе, Жарылган и другие. Долины рек характеризуются крутыми обрывистыми склонами. Южная часть равнины имеет каменистый характер, центральная представляет собой водораздел, а северная отличается волнистым рельефом, пересеченным реками и родниками. Общая пригодность территории для механизированной обработки делает ее удобной для выращивания сельскохозяйственных культур.

Растительность округа варьируется в зависимости от рельефа, грунтовых вод и типа почвы:

Светло-каштановые почвы

Суглинистые, с гумусовым горизонтом (1,75–2,38%). Богаты калием, но бедны фосфором, что требует внесения удобрений. Эти почвы относятся к первой агропромышленной группе и подходят для выращивания зерновых и кукурузы.

Лугово-сероземные почвы

Имеют суглинистый состав, умеренное содержание гумуса (до 2,8%) и склонность к засолению. Требуют мелиоративных мероприятий, таких как дренаж.

Материалы и методы

Методы оценки фильтрации

Для оценки фильтрационных свойств почв применяются методы Болдырева и Нестерова. В проницаемых грунтах используется метод А.К. Болдырева, а в низкопроницаемых — метод Н.С. Нестерова [17].

Двухкольцевой инфильтрометр широко применяется для измерения скорости инфильтрации. Этот метод позволяет минимизировать боковой сток и точно оценить водопроницаемость почвы, что важно для планирования орошения и сохранения почвы [18–19].

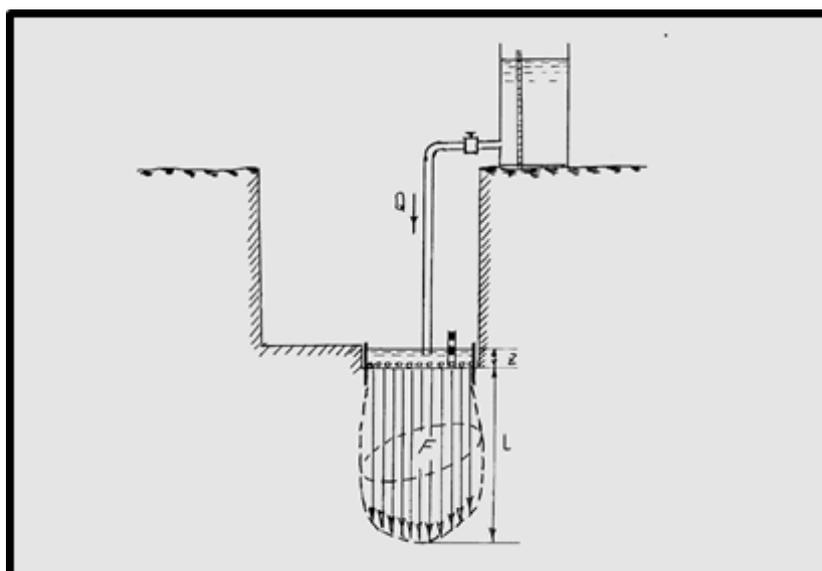


Рисунок 12 – График изменения расхода и общего объема воды при заполнении экспериментального котлована [20]

Для построения данной модели был использован набор данных по Балтабайскому сельскому округу в виде результатов почвенных индексов, значений осадков и статистики инфильтрации в масштабе времени. Язык программирования Python обладает широким функционалом для работы с данными. В ходе разработки для коррекции и фильтрации данных использовались библиотеки Pandas и NumPy. Они использовались для работы с данными о районных измерениях, содержащих числовые параметры, представленные индексами и процентами осадков. После сбора данных была использована обширная библиотека PyVista для построения 3D-моделирования [20].

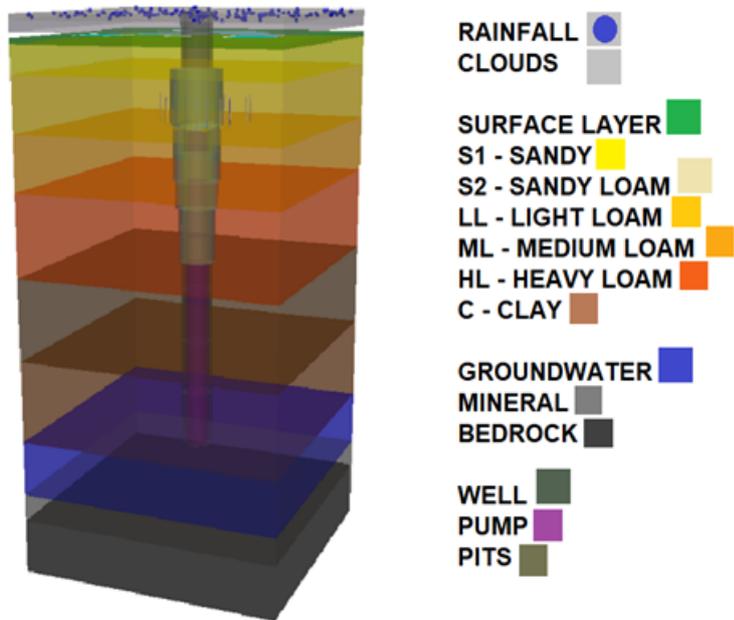


Рисунок 13 – Сценарий с осадками и пополнением наружного кольца

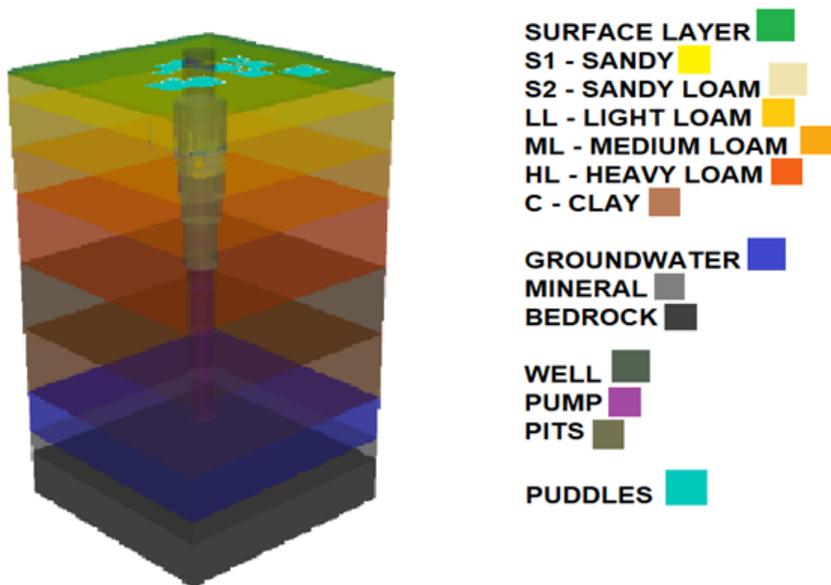


Рисунок 14 – Сценарий инфильтрации с пополнением внутреннего кольца

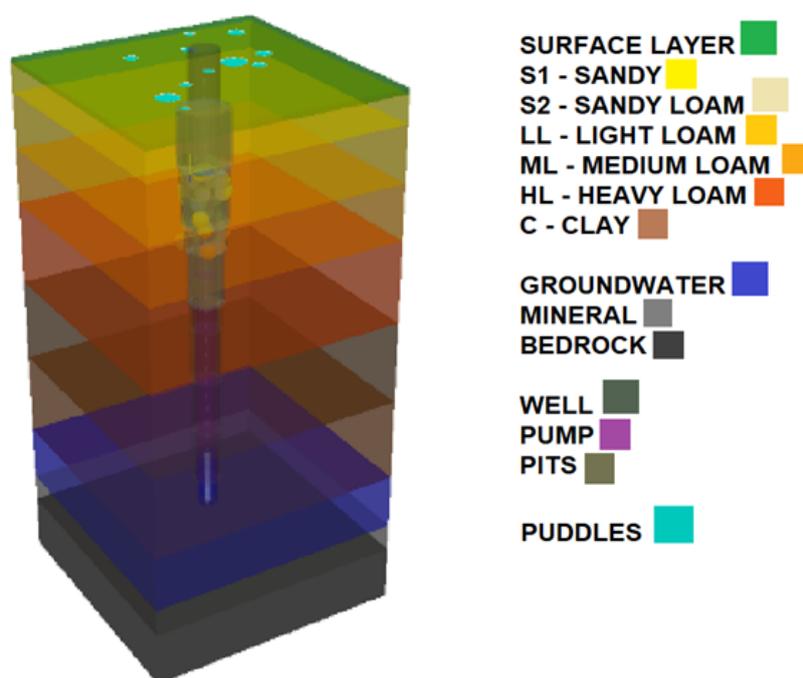


Рисунок 15 – Сценарий искусственного насыщения органического слоя почвы за счет работы насосной системы

Разработка пространственных моделей и искусственная аккумуляция подземных вод

Пространственное моделирование позволяет глубже понять процессы искусственной аккумуляции подземных вод. В рамках исследования рассматриваются этапы строительства почвенных слоев, принципы инфильтрации, роль накопления подземных вод и сценарии их использования. Модели основаны на реальных данных о территориях и демонстрируют перспективы использования подземных водных ресурсов.

Результаты и обсуждение

Одним из ключевых аспектов является моделирование процессов инфильтрации, которое позволяет оценить физические свойства почвы. Например, осадочные воды не всегда достигают глубоких слоев почвы из-за формирования иловых прослоек. Такие слои, будучи рыхлыми и малопроницаемыми, способствуют образованию заболоченных участков, которые впоследствии пересыхают. Это приводит к утрате возможности повторного использования накопленной воды, ограничивая ее поступление в нижние слои. Данный феномен, демонстрирует как риски, так и потенциал применения методов искусственного орошения.

Искусственное орошение играет ключевую роль в поддержании естественных процессов роста сельскохозяйственных культур. Для этого требуется точная информация о структуре почвы, данных об осадках, а также внедрение технологий мониторинга. Для Балтабайского сельского округа предлагается сценарий, включающий установку электрической системы дренажных скважин.

Основные функции такой системы:

- ♦ мониторинг влажности почвы: постоянное отслеживание изменений уровня увлажненности;
- ♦ регулирование процесса орошения: автоматическое поддержание оптимальной влажности для сельскохозяйственных нужд;
- ♦ очистка осадочных вод: удаление примесей для их безопасного хранения в водоупорных слоях.

Использование подобных технологий повышает эффективность управления водными ресурсами и способствует устойчивому развитию сельского хозяйства в условиях климатических вызовов.

Заключение

Казахстан сталкивается с проблемами водных ресурсов, которые заключаются в отсутствии надлежащей практики для обеспечения их устойчивости.

Изучение показало, что интеграция поверхностных и подземных вод с помощью рециркуляционных ирригационных систем способствует распространению MAR по всему Казахстану. Данное исследование является первой попыткой расширить и показать результаты управления подземными водами для сельских районов, выгоды и преимущества для фермеров и местных жителей при хранении и управлении водой.

AgMar способствует выбору правильной методологии орошения с учетом современных принципов развития сельского хозяйства. Он тесно связан с концепцией пополнения подземных вод (MAR), которая, в свою очередь, реализует способы сохранения возобновляемых источников и обеспечивает их повторное использование даже в условиях сезонных засух. Таким образом, грамотное использование AgMAR поможет повысить производительность сельскохозяйственной отрасли во всех регионах Казахстана.

Внедрение AgMAR призвано повысить эффективность использования подземных вод для поддержки сельскохозяйственного производства и правильного развития градостроительства. Такие проблемные регионы, как Южный и Западный Казахстан, отражают явную проблему с засухами и нехваткой воды в сезоны засухи. Северная и восточная части связаны с токсичностью воды из-за наличия в ней вредных химических элементов. В этих ситуациях у MAR есть ряд полезных решений, основанных на накоплении и очистке подземных вод.

Благодарности и финансирование

Работа поддержана грантовым финансированием проекта № AP23490043 «Перспективы применения инновационных технологий комплексного использования поверхностных и подземных вод путем создания систем орошения с оборотным водопользованием» Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2024–2026 гг.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Sallwey Ja., Barquero F., Fichtner T., Catalin St. Planning MAR Schemes Using Physical Models: Comparison of Laboratory and Field Experiments. *Applied Sciences*, 2019, vol. 9, 3652. <https://doi.org/10.3390/app9183652>.
- 2 Bachand S. M., Hossner R., Bachand M.A. 2017 OFR demonstration site monitoring and analyses: Effects on soil hydrology and salinity, and potential implications on soil oxygen, 2019. URL: <https://suscon.org/wp-content/uploads/2019/05/Bachand-Associates-2017-OFR-Demo-Site-Monitoring-and-Analyses.pdf>
- 3 Dahlke H.E., Brown A.G., Orloff S., Putnam D., O'Geen T. Managed winter flooding of alfalfa recharges groundwater with minimal crop damage. *California Agriculture*, 2018, vol. 72, no. 1, pp. 1–75. <https://doi.org/10.3733/ca.2018a0001>.
- 4 Harter T., Dahlke H.E. Out of sight but not out of mind: California refocuses on groundwater. *California Agriculture*, 2014, vol. 68, no. 3, pp. 54–55. <https://doi.org/10.3733/ca.v068n03p54>.
- 5 Impact of Flood-MAR strategy in California, USA. URL: <https://floodmar.org/>
- 6 Page D., Vanderzalm J., Gonzalez D., Bennett J., Castellazzi P. Managed aquifer recharge for agriculture in Australia – History, success factors and future implementation. *Agricultural Water Management*, 2023, vol. 285, p. 108382. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108382>.

- 7 Mumberg T., Ahrens L., Wanner Ph. Managed aquifer recharge as a potential pathway of contaminants of emerging concern into groundwater systems – A systematic review. *Chemosphere*, 2024, vol. 364, p. 143030. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143030>.
- 8 TERESA. Urban water management: German expertise for Kazakh cities, 2024. URL: <https://www.teresa.inowas.com/>
- 9 Google Earth platform. URL: <https://earth.google.com/web>.
- 10 INOWAS. Innovative Groundwater Solutions, 2024. URL: <https://www.inowas.com/>
- 11 Nazarbayev University. NU-da nemis-qazaqstandyq birlesken su resurstaryn basqaru jobasynyn natizheleri talqylandy. URL: <https://nu.edu.kz/ru/news/nu-da-nemis-qazaqstandyq-birlesken-su-resurstaryn-basqaru-zhobasynyn-natizheleri-talqylandy> [Date of access: 01.03.2025].
- 12 Modern Agri Tech. Soil Sensor Can Ease Hustle in Farming. URL: <https://modernagritech.com/soil-sensor-can-ease-hustle-in-farming> [Date of access: 16.04.2025].
- 13 Organo Editorial. S.O.S. Save Our Swales. URL: <https://www.organo.co.in/blog/s-o-s-save-our-swales> [Date of access: 01.03.2025].
- 14 Government of Ontario. Managing the quantity of groundwater supplies URL: <https://www.ontario.ca/page/managing-quantity-groundwater-supplies> [Date of access: 01.03.2025].
- 15 Spain's catastrophic floods by the numbers: At least 219 dead, 93 missing and billions in damage. URL: <https://www.independent.co.uk/news/valencia-ap-spain-madrid-andalusia-b2643313.html>.
- 16 Tracking seasonal floods in Kazakhstan over time. Kyzylagash region, 2010. URL: <https://astanatimes.com/2024/04/tracing-kazakhstans-seasonal-floods-through-time/>
- 17 Absametov M.K., Murtazin E.Zh, Kulagin V.V., Makyzhanova A., Ismagulova A.Zh. Infiltration and colmatation dynamics on physical models study by infiltration basins at artificial groundwater recharge. *Water Conservation & Management*, 2023, vol. 7, pp. 45–54. <https://doi.org/10.26480/wcm.01.2023.45.54>.
- 18 Sparovek Gerd, de Jong van Lier Qu., Marcinkonis S., Rogasik Ju., Schnug E. A simple model to predict river floods – A contribution to quantify the significance of soil infiltration rates. *Landbauforschung Volkenrode*, 2022, vol. 3, pp.187–195.
- 19 Köhne Jo., Júnior José, Köhne S., Tiemeyer B., Lennartz B., Kruse Je. Double ring and tension infiltrometer measurements of hydraulic conductivity and mobile soil regions. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 2011, vol. 41, pp. 336–347. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i3.11376>.
- 20 Python. PyVista plugin. Full documentation. URL: <https://docs.pyvista.org>.

^{1*}Эм Т.,

магистрант, ORCID ID: 0009-0007-6859-1053,
e-mail: t_em@kbtu.kz

^{1*}Аманжолова Р.,

магистрант, ORCID ID: 0000-0001-9129-1074,
*e-mail: r_amanzholova@kbtu.kz

²Рахимов Т.,

PhD, ORCID ID: 0000-0002-0976-4643,
e-mail: t.rakhimov@satbayev.university

³Каталин С.,

PhD, ORCID ID : 0000-0001-8250-2749,
e-mail: catalin.stefan@tu-dresden.de

¹Сагин Ж.,

PhD, профессор, ORCID ID:0000-0002-0386-888X,
e-mail: j.sagin@kbtu.kz

²Оңласынов Ж.,

PhD, ГАЖ және ЖҚЗ зертханасының меңгерушісі,
ORCID ID: 0000-0002-3587-5996,
e-mail: Zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru

⁴**Арыстанов А.,**

аға оқытушы, ORCID: 0009-0000-0341-5381,

e-mail: asekalek@mail.ru

⁵**Мусаева А.,**

магистр, ORCID: 0009-0007-6191-4649,

e-mail: asem.musayeva.02@mail.ru

¹Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²У. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және экологиялық геология институты,

Алматы қ., Қазақстан

³Дрезден техникалық университеті, Дрезден қ., Германия,

⁴Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан

⁵Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан.

ҚАЗАҚСТАН ҮШІН АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДА БАСҚАРЫЛАТЫН СУЛЫ ГОРИЗОНТТЫ ТОЛТЫРУ (AgMAR) / СУ ТАСҚЫНЫНА БЕЙІМДЕУ

Андатпа

Климаттың өзгерісі әлемдегі су ресурстарына әсер етіп, ауа райының болжаусыздығын арттырып, су ресурстарын басқару әдістеріне күмән келтіреді. Ұзаққа созылған құрғақшылықтар, дауылдардың күшеюі, қар жамылғысының азаюы және ағынның динамикасының өзгеруі су қауіпсіздігін қамтамасыз етуге бағытталған күштерді қиындатады. Қазақстанда су тасқынын жұмсарту мақсатында салынған бөгеттер қалалық жаңбыр суларының ағындарын тиімді басқаруда жеткіліксіз болып шықты. Бұл зерттеуде Қазақстанда ауыл шаруашылығын басқарылатын сулы горизонтты толтыруды (AgMAR) жүзеге асыру мәселесі қарастырылып, топырақ қабаттарын, су ағындарының динамикасын және MAR принципін модельдеу үшін PyVista кітапханасымен жасалған 3D визуализация қолданылды. Алынған нәтижелер AgMAR-дың ауылдық жерлерде суару және су ресурстарын басқару үшін перспективалы шешім екенін көрсетеді, ол жер асты суларының тұрақтануын, маусымдық жауын-шашын кезінде су қабатын толықтыруды, жер астындағы су көздерін тазартуды және тұщы судың қолжетімділігін арттыруды қамтамасыз етеді.

Тірек сөздер: AgMAR, су тасқыны, MAR, INOWAS, TERESA, тұрақтылық.

¹***Em T.,**

Master student, ORCID ID: 0009-0007-6859-1053,

e-mail: t_em@kbtu.kz

¹***Amanzholova R.,**

Master student, ORCID ID: 0000-0001-9129-1074,

*e-mail: r_amanzholova@kbtu.kz

²**Rakhimov T.,**

PhD, ORCID ID: 0000-0002-0976-4643,

e-mail: t.rakhimov@satbayev.university

³**Catalin S.,**

PhD, ORCID ID : 0000-0001-8250-2749,

e-mail: catalin.stefan@tu-dresden.de

¹**Sagin J.,**

PhD, Professor, ORCID ID:0000-0002-0386-888X,

e-mail: j.sagin@kbtu.kz

²**Onglassynov Zh.,**

PhD, Head of the remote sensing and GIS laboratory,

ORCID ID: 0000-0002-3587-5996,

e-mail: Zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru

⁴**Arystanov A.,**

Senior Lecturer, ORCID: 0009-0000-0341-5381,

e-mail: asekalek@mail.ru

⁵**Musayeva A.,**

Master student, ORCID: 0009-0007-6191-4649,

e-mail: asem.musayeva.02@mail.ru

¹Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

²Akhmedsafin Institute of hydrogeology and environmental geoscience, Almaty, Kazakhstan

³Dresden Technical University, Dresden, Germany,

⁴Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

⁵Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

AGRICULTURALLY MANAGED AQUIFER RECHARGE (AgMAR) / FLOOD MAR ADAPTATION FOR KAZAKHSTAN

Abstract

Climate change is transforming water systems worldwide, bringing more unpredictable weather patterns and challenging water management practices. Prolonged droughts, intensified storms, diminishing snowpacks, and shifting runoff dynamics complicate efforts to ensure water security. In Kazakhstan, attempts to mitigate flooding through dam construction have proven inadequate for managing urban stormwater runoff effectively. This study explores the implementation of Agricultural Managed Aquifer Recharge (AgMAR) in Kazakhstan, leveraging 3D visualizations created with the PyVista library to model soil layers, water flow dynamics, and the MAR principle. The findings highlight AgMAR as a promising solution for irrigation and rural water management, offering benefits such as groundwater stabilization, aquifer recharge during seasonal precipitation, purification of underground water sources, and increased freshwater availability.

Key words: AgMAR, Flood MAR, MAR, INOWAS, flood, TERESA, sustainability.

Дата поступления статьи в редакцию: 20.11.2024