







Научная статья

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕМАТИЧЕСКИХ СЛОЕВ

Жанат З. Толеубекова  к.т.н., ассоциированный профессор, Забида Н. Курмангалиева* ,
Айнур Д. Каранеева , Толқын К. Куанышбек 

НАО «Казакский агротехнический исследовательский университет имени Сакена Сейфуллина», Астана, Казахстан;
jtoleubekova@mail.ru (ЖЗТ), zabida_98@mail.ru (ЗНК), ajnurk121@gmail.com (АДК), www.tolkynj@gmail.com (ТКК)

*Автор корреспонденции: Забида Н. Курмангалиева, e-mail: zabida_98@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ДЗЗ, ГИС, тематические слои, аналитический иерархический процесс, талые воды, паводковые воды, сбор поверхностного стока

АБСТРАКТ

Люди, живущие в засушливых и полусухих регионах с нестабильным режимом осадков, регулярно сталкиваются как с засухами, так и с наводнениями, что напрямую отражается на обеспеченности водными ресурсами. Сбор поверхностного стока представляет собой традиционный способ водообеспечения, применяемый в условиях дефицита воды для удовлетворения растущих потребностей в водных ресурсах, смягчения последствий изменения климата и сдерживания процессов опустынивания. Данное исследование объединяет методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационные системы (ГИС) с использованием метода аналитической иерархии, предлагая экономически эффективный и надежный инструмент для оценки потенциальных мест размещения фермерских водоемов в степной зоне Северного Казахстана.

Исследование основано на шести тематических слоях: гидрогеология, уклон, плотность дренажа, землепользование/почвенный покров, почва и эквивалент снеговой воды. Эти параметры в наибольшей степени влияют на доступность, формирование стока, инфильтрацию и накопление талых и паводковых вод.

В результате исследования установлено, что наиболее подходящие участки характеризуются средней плотностью дренажной сети, небольшими уклонами, высокими значениями снегозапаса в водном эквиваленте и расположены на территориях с затапливаемой растительностью. Кроме того, при сборе талых вод с 30 % площади исследуемой территории возможно перевести четверть сельскохозяйственных земель исследуемого района на дефицитное орошение. Это позволит снизить риск наводнений, стабилизировать доходы фермеров в засушливые годы и создать возможности для выращивания более прибыльных сельскохозяйственных культур.

В целом исследование демонстрирует высокий потенциал для накопления талых вод в фермерских водоемах как меры противодействия сельскохозяйственной засухе и весенним паводкам.

1. ВВЕДЕНИЕ

Северные зерноводческие регионы Республики Казахстан в последние годы всё чаще сталкиваются с последствиями климатических изменений. В тёплый период усиливается засушливость, тогда как весной возрастает риск масштабных паводков [1]. Поскольку сельское хозяйство региона в значительной степени основано на богарном земледелии и практически не обеспечено устойчивыми источниками поверхностных вод,

засуха остаётся ключевым фактором риска снижения урожайности [2]. По оценкам международных организаций, ежегодные экономические потери Казахстана от засух могут достигать порядка двух сотен миллионов евро. Одновременно избыточные зимне-весенние осадки приводят к разрушительным паводкам, наносящим значительный ущерб населённым пунктам и инфраструктуре.

Одним из потенциально эффективных решений может стать аккумуляция талых и паводковых вод в фермерских прудах [3, 4]. Данный подход уже применялся в советский период, когда в степных регионах создавались тысячи сельскохозяйственных водоёмов. Однако после распада СССР значительная часть этих сооружений была заброшена, что привело к их деградации, ухудшению качества воды и потере регулирующей функции. Кроме того, исторические проекты не учитывали современные климатические тренды, включая рост интенсивности весеннего половодья.

Сбор поверхностного стока представляет собой проверенную во времени систему управления водными ресурсами, позволяющую увеличивать доступность воды для сельского хозяйства, снижать эрозию почв, уменьшать риски наводнений и поддерживать экологическую устойчивость территорий [5].

Современные технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и географических информационных систем (ГИС) в сочетании с методами многокритериального анализа, в частности аналитическим иерархическим процессом (АИП), позволяют выполнять комплексную оценку пригодности территорий для размещения водоёмов. ДЗЗ обеспечивает доступ к большим массивам пространственных данных, а АИП позволяет количественно оценивать значимость различных факторов при выборе оптимальных решений. Для северных степных территорий Казахстана снег является критически важным элементом водного баланса, поскольку именно он формирует основной объём весеннего стока. В связи с этим возникает необходимость разработки специализированных методических подходов, учитывающих условия холодного полузасушливого климата.

В данном исследовании выполнена оценка потенциала территории Аккайынского района Северо-Казахстанской области для аккумуляции талых вод в фермерских прудах с целью снижения рисков сельскохозяйственной засухи и весенних паводков.

Для моделирования использованы шесть основных параметров: гидрогеология, уклон поверхности, плотность дренажной сети, землепользование и почвенный покров, типы почв и эквивалент снеговой воды. Особое внимание уделено разработке карты снегозапасов по авторской методике [6]. После определения весовых коэффициентов факторов методом АНР была сформирована карта потенциала размещения фермерских прудов с выделением зон низкой, средней, высокой и очень высокой пригодности. Валидация результатов проводилась с использованием фактических данных о существующих фермерских водоёмах. Полученные результаты формируют научную основу для развития систем раннего предупреждения паводков, повышения устойчивости сельского хозяйства к засухам.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Область исследования

В качестве территории исследования (рис. 1) выбран один из крупнейших зернопроизводящих районов Северо-Казахстанской области. Климат территории резко континентальный и характеризуется значительной годовой амплитудой температур и недостаточным увлажнением. Основная часть исследуемого района расположена в пределах Западно-Сибирской низменности. Рельеф территории отличается широким распространением замкнутых понижений, в пределах которых формируются группы озёр и отдельные озёрные водоёмы. Межгодовое распределение атмосферных осадков характеризуется высокой изменчивостью. Снежный покров формируется неравномерно вследствие сильных ветровых процессов, приводящих к перераспределению снега и его

По статье:

Получено: 13.02.2026

Пересмотрено: 16.04.2026

Принято: 24.06.2026

Опубликовано: 01.07.2026

Для цитирования:

Толеубекова Ж.,

Курмангалиева З.,

Каранеева А., Куанышбек Т.

Интегрированный

геоинформационный анали-

территории с применением

тематических слоев //

Гидрометеорология и

экология, 122 (2), 2026, 60-

74.

сносу с открытых участков местности. В летний период засухи способствуют интенсивному иссушению почвенного покрова. Почвенный покров региона имеет выраженную зональность: в северной части распространены обыкновенные суглинистые чернозёмы, которые по мере продвижения к югу сменяются южными чернозёмами более лёгкого механического состава. Наряду с зональными почвами широко представлены интразональные почвенные комплексы, включающие солонцы и солончаки.

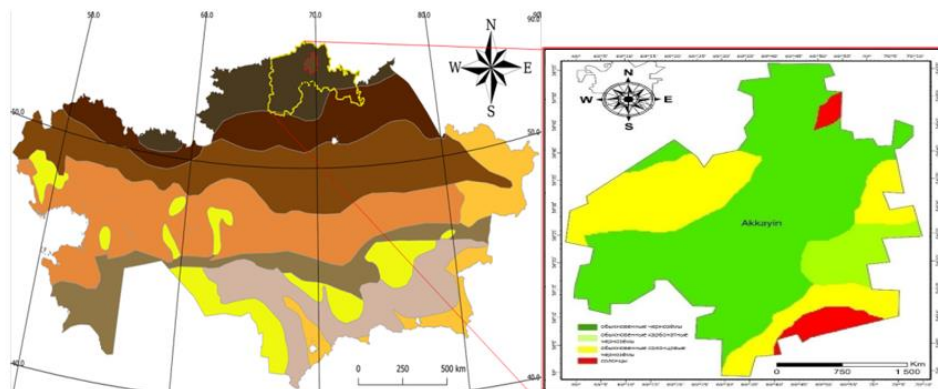


Рисунок 1. Почвенная карта Республики Казахстан и почвенная карта района исследования.

2.2. Источники данных

2.2.1. Снегомерная съемка

Полевые снегомерные исследования были проведены в два срока - в конце января 2023 года и в конце февраля 2023 года (рис. 2). Для измерения высоты снежного покрова использовался деревянный снегомер с делением 1 мм, а для измерения плотности снега - весовой снегомер. Расчет фактической плотности снега производился по следующему уравнению: $\text{плотность снега в г/см}^3 = \text{масса снега} / (\text{высота снега в см} * \text{площадь весового снегомера в см}^2)$ (табл. 1).

Таблица 1.

Количество измеренных точек в районе исследования с датами снегомерных съемок

Январь 2023		Февраль 2023	
Глубина	Плотность	Глубина	Плотность
197	39	115	26



Рисунок 2. Пункты съемки снега на территории исследуемого района в январе 2023 года

Из-за сложностей передвижения по исследуемой территории, для оперативного перемещения применялось моторизованное транспортное средство для движения по снегу. Высокоточное определение координат точек снегомерных наблюдений выполнялось с использованием портативного спутникового навигационного приемника. Дополнительно в летний период была выполнена аэрофотосъемка с использованием беспилотной авиационной системы с целью построения детализированной цифровой модели поверхности для последующего гидрологического анализа (рис. 3). Для выполнения работ применялся беспилотный летательный аппарат самолетного типа с цифровой фотокамерой. Полеты выполнялись на значительной высоте с обеспечением высокого продольного и поперечного перекрытия снимков. В результате съемочных работ был получен массив изображений, охватывающий крупную территорию исследования. Наземные контрольные точки в процессе съемки не закладывались из-за большой площади участка работ. При этом постобработка координат центров всех полученных изображений выполнялась с использованием данных бортовой двухчастотной GPS и базовых станций Stonex S900 и S10.



Рисунок 3. Процесс проведения полевой съемки с помощью БПЛА в районе исследования

2.3. Тематические слои и данные цифровых спутниковых снимков

Для оценки факторов, определяющих формирование и распределение талых и паводковых вод, были сформированы шесть ключевых тематических слоев: гидрогеологические условия, уклоны рельефа, плотность дренажной сети, землепользование и типы почвенного покрова, почвенные характеристики, а также водный эквивалент снега. Выбор данных параметров осуществлялся на основе экспертных оценок и анализа научных публикаций по рассматриваемой тематике. Гидрогеологическая информация была получена путем оцифровки карт среднего масштаба, подготовленных национальными профильными гидрологическими организациями, и использована в качестве исходных данных моделирования. Показатели уклонов поверхности и плотности дренажной сети рассчитывались на основе цифровой модели рельефа. Картографирование землепользования выполнялось с применением спутниковых данных высокого пространственного разрешения и методов тематической классификации, основанных на экспертных правилах. Для формирования почвенной карты использовались международные базы почвенных данных глобального уровня.

Расчет водного эквивалента снежного покрова выполнялся с использованием результатов полевых снегомерных измерений совместно со спутниковыми данными, полученными в близкие по времени периоды съемки. Получение исходных космических снимков осуществлялось из облачных архивов глобальных геоинформационных платформ дистанционного зондирования Земли.

Потенциальные территории для аккумуляции талых и паводковых вод были определены путем интеграции всех тематических слоев с применением метода взвешенной линейной комбинации в среде пространственного анализа ArcGIS Pro 2.8. Относительная значимость тематических слоев и их подгрупп рассчитывалась с использованием метода Аналитического процесса иерархии.

Дополнительно для выделения территорий, непригодных для резервирования вод, использовался векторный слой сельскохозяйственных земель исследуемой области. Для оценки эффективности размещения резервуаров была сформирована буферная зона шириной 1 км вокруг сельскохозяйственных угодий. Было принято, что сбор и накопление талых вод на расстоянии свыше 1 км от сельхозугодий является экономически и технологически нецелесообразным.

На данном этапе было проведено технико-экономическое обоснование резервирования талых и паводковых вод в исследуемом районе. На этапе планирования территорий для резервирования талых и паводковых вод для сельскохозяйственных нужд необходимо учитывать некоторые технические, экономические и экологические факторы. С технической точки зрения, нецелесообразно резервировать талую воду в отдаленных местах и протягивать километры труб к сельскохозяйственным полям. С экономической точки зрения, сельскохозяйственным предприятиям придется закупать большое количество необходимых товаров, таких как трубы, и обслуживать их, что требует огромных финансовых и трудовых ресурсов. С экологической точки зрения мы исключили районы с высоким содержанием в воде вредных металлов (металлоидов), таких как марганец и мышьяк, что неприемлемо для сельскохозяйственного использования.

2.3.1. Подготовка тематических слоев

2.3.1.1. Гидрогеология

Гидрогеологическая карта характеризует условия залегания подземных вод, особенности их формирования и пространственного распределения. Поскольку данные карты формируются на основе комплексных гидрогеологических исследований с использованием геологических и тектонических материалов, в рамках данного исследования особое внимание уделялось таким параметрам, как литологический состав водоносных горизонтов и уровень минерализации подземных вод.

Гидрогеологическая карта территории исследования была оцифрована с применением инструментов ГИС-анализа в программной среде ArcGIS Pro 2.8.

2.3.1.2. Уклон

Уклон поверхности, характеризующий степень крутизны рельефа, является одним из ключевых морфометрических параметров территории. Участки с умеренными значениями уклона обладают наибольшим инфильтрационным потенциалом, тогда как при увеличении крутизны возрастает доля поверхностного стока [7].

При выборе территорий для резервирования талых и паводковых вод уклон рассматривался как один из определяющих факторов. Для исследуемого района среднее значение уклона составляет около 2 %. Участки с уклоном более 5 % характеризуются сниженным потенциалом для аккумуляции вод вследствие усиления поверхностного стока. Карта уклонов была построена на основе цифровой модели рельефа с использованием инструментов пространственного анализа в программной среде ArcGIS Pro 2.8 по

формуле, где S - наклон в 3D, dZ/dx - горизонтальная разница в высоте, деленная на расстояние между пикселями, и dZ/dy - вертикальная разница в высоте, деленная на расстояние между пикселями:

$$S = \sqrt{\left(\frac{dZ}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dZ}{dy}\right)^2} \quad (1)$$

2.3.1.3. Плотность дренажа

Плотность дренажной сети является одним из значимых факторов при оценке пригодности территорий для аккумуляции талых и паводковых вод в фермерских водоёмах. Территории с высокой плотностью дренажа характеризуются интенсивным поверхностным стоком, что, как правило, сопровождается низкой инфильтрационной способностью и, соответственно, меньшим потенциалом водонакопления [8, 9]. В рамках данного исследования предполагалось, что наиболее перспективные участки для размещения фермерских прудов должны располагаться в нижних частях водосборов, однако вне зон с максимальными значениями плотности дренажной сети. Для построения карты плотности дренажа исследуемой территории был выполнен комплекс геообработывающих операций. На основе цифровой модели рельефа произведено упорядочивание водотоков с целью их идентификации и классификации по порядку, учитывающему количество притоков, а также сформирован индекс сетки дренажной сети. Расчёт плотности дренажа выполнен с использованием инструмента Line Density в среде ArcGIS Pro 2.8 по формуле, где DD - плотность дренажа, L - длина потока, а A - площадь бассейна:

$$DD = \frac{\sum_1^n L}{A} \quad (2)$$

2.3.1.4. Землепользование/Земельный покров

Землепользование и почвенно-растительный покров являются важными факторами, определяющими интенсивность поверхностного стока, водопотребление и накопление снега [10]. К наименее пригодным для аккумуляции талых и паводковых вод были отнесены голые земли, сильно занесенные снегом, урбанизированные территории. В то же время участки с затапливаемой растительностью, луга и кустарники определены как наиболее благоприятные для размещения фермерских водоёмов. Карта землепользования и земельного покрова исследуемой территории была сформирована на основе данных дистанционного зондирования высокого пространственного разрешения Sentinel-1 и Sentinel-2. Классификация выполнена с применением метода, основанного на экспертных правилах, с использованием данных ESRI LULC 2021 в качестве эталонной базы.

2.3.1.5. Почва

Почвенный покров оказывает значительное влияние на формирование поверхностного стока и интенсивность инфильтрации, что напрямую определяет доступность талых и паводковых вод для их последующего аккумуляции [11]. Физико-механические характеристики почв, включая гранулометрический состав и структуру порового пространства, существенно влияют на процессы пополнения подземных вод [12, 13]. Установлено, что крупнозернистые почвы по сравнению с мелкозернистыми характеризуются более высокой инфильтрационной способностью, что может приводить к увеличению потерь поверхностного стока при аккумуляции талых вод в фермерских водоёмах [14].

Вместе с тем в условиях современного климатического потепления отмечается ускоренное таяние снежного покрова в период, когда почва ещё остаётся промёрзшей на глубину порядка 1...1,5 м. В результате в начале весеннего периода, независимо от типа почвы, инфильтрация талых вод резко ограничена, что способствует формированию интенсивного поверхностного стока и развитию паводковых процессов.

2.3.1.6. Водный эквивалент снега

Эквивалент снегозапаса рассматривался как ключевой параметр исследования, поскольку он комплексно отражает как мощность, так и плотность снежного покрова, потенциально доступного для аккумуляции в сельскохозяйственных водоёмах. Данный показатель позволяет количественно оценивать запасы твёрдых атмосферных осадков на территории и уточнять особенности формирования водного режима рек и озёр [6]. Карта снежного водного эквивалента исследуемой территории с пространственным разрешением 10 м была сформирована на основе разработанной и апробированной авторской методики оценки глубины снежного покрова и снегозапаса с применением данных дистанционного зондирования и геоинформационных технологий. Обработка и расчёты выполнялись с использованием облачной платформы Google Earth Engine, обеспечивающей работу с массивами данных сверхбольшого объёма. Исходные программные коды расчётов приведены в открытом доступе [15].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Шесть параметров (гидрогеология, уклон, плотность дренажа, землепользование/почвенный покров, почва и эквивалент снеговой воды), которые в основном влияют на сток, инфильтрацию и накопление поверхностных талых и паводковых вод на исследуемой территории, были тщательно рассмотрены для оценки потенциальных зон для размещения сельскохозяйственных прудов. После успешного распределения весов каждого фактора с помощью метода АИП была составлена карта потенциальных зон с низким, средним, высоким и очень высоким потенциалом хранения талых и паводковых вод для сельского хозяйства.

В рамках исследования для оценки потенциальных территорий размещения сельскохозяйственных водоёмов были проанализированы шесть ключевых факторов: гидрогеологические условия, уклон поверхности, плотность дренажной сети, землепользование и почвенно-растительный покров, тип почв, а также эквивалент снегозапаса. Указанные параметры оказывают определяющее влияние на процессы поверхностного стока, инфильтрации и накопления талых и паводковых вод на исследуемой территории.

После определения весовых коэффициентов для каждого фактора с применением метода анализа иерархий была сформирована итоговая карта потенциальной пригодности территорий. В результате были выделены зоны с низким, средним, высоким и очень высоким потенциалом аккумуляции талых и паводковых вод для сельскохозяйственного использования.

3.1. Гидрогеологические условия

Гидрогеологическая характеристика территории рассматривалась как один из базовых факторов при оценке пригодности земель для размещения фермерских накопительных водоёмов, поскольку она отражает совокупное влияние геологического строения и гидрологического режима территории. Особое внимание уделялось таким показателям, как скорость инфильтрации, особенности формирования поверхностного стока, уровень минерализации подземных вод, а также литологический состав водоносных горизонтов.

В пределах исследуемой территории были выделены три основных типа водоносных горизонтов: плиоцен-четвертичный, четвертичный озёрно-аллювиальный и неогеновый (рис. 4). Их площадь составила соответственно 323,7 тыс. га (70,4 %), 88,6 тыс. га (19,3 %) и 47,5 тыс. га (10,3 %).

Наименее благоприятным с точки зрения размещения сельскохозяйственных водоёмов оказался неогеновый водоносный горизонт. Это связано с тем, что значительная часть его площади занята солёными озёрами и территориями, ограниченно пригодными для сельскохозяйственного использования, что существенно снижает потенциал аккумуляции и дальнейшего использования талых вод.

Четвертичный озёрно-аллювиальный водоносный горизонт был оценён как территория со средним потенциалом. Для него характерны относительно низкая скорость инфильтрации и повышенные показатели поверхностного стока. Кроме того, наличие хорошо отсортированных глинистых отложений и карбонатных включений может создавать дополнительные ограничения для сельскохозяйственного освоения.

Наиболее благоприятные условия были выявлены в пределах плиоцен-четвертичного водоносного горизонта, который занимает большую часть территории исследуемого района. Для него характерны относительно низкая минерализация подземных вод и более высокая инфильтрационная способность, что делает данные территории наиболее перспективными для аккумуляции талых и паводковых вод с последующим использованием в сельском хозяйстве.

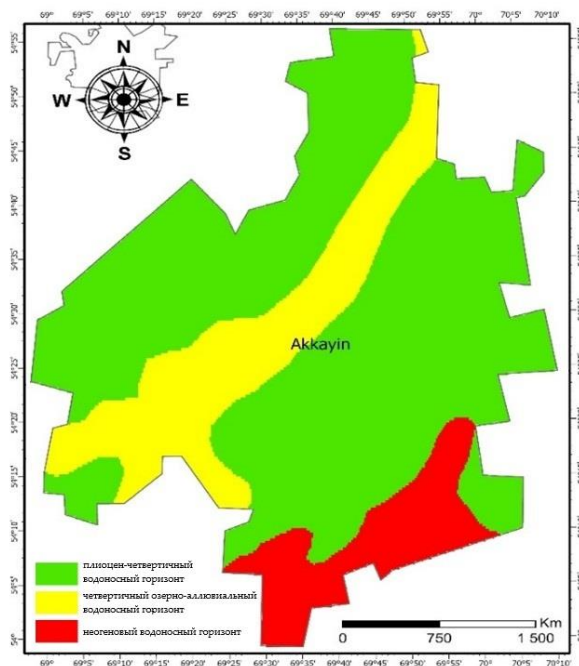


Рисунок 4. Типы водоносных горизонтов

3.2. Уклон поверхности

Рельеф местности является важным фактором, влияющим на перераспределение поверхностного стока и возможность накопления талых вод. Средний уклон территории Аккайынского района составляет около 2 %, что в целом создаёт благоприятные условия для инфильтрации и локального накопления воды.

Известно, что увеличение уклона способствует ускорению поверхностного стока и снижению времени контакта воды с почвой, тогда как умеренные уклоны обеспечивают более эффективное просачивание влаги. В рамках исследования карта уклонов была классифицирована на пять категорий потенциала: очень высокий (0...1 %), высокий (1...2 %), средний (2...3 %), низкий (3...4 %) и очень низкий (> 4 %) (рис. 5).

Рельеф большей части территории района благоприятен для создания фермерских водоёмов. Так, около 42 % площади было отнесено к зоне очень высокого потенциала, ещё 40,5 % — к зоне высокого потенциала. При этом 14 % территории характеризуются средним потенциалом, 2,6 % — низким и лишь 0,9 % — очень низким потенциалом для накопления весеннего поверхностного стока.

Таким образом, с точки зрения рельефа более 80 % территории Аккайынского района можно рассматривать как потенциально пригодные для размещения фермерских накопительных водоёмов.

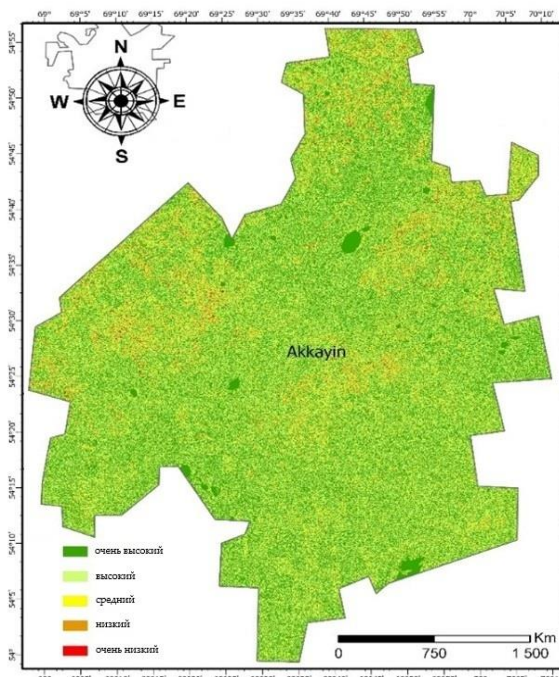


Рисунок 5. Классификация уклона поверхности

3.3. Плотность дренажной сети

Плотность дренажной сети была определена как один из наиболее значимых факторов после снежно-водного эквивалента, поскольку она напрямую отражает интенсивность поверхностного стока и гидрологическую связанность территории.

Как правило, территории с высокой плотностью дренажной сети характеризуются быстрым отводом воды, что снижает возможности её накопления. Напротив, при слишком низкой плотности дренажа может наблюдаться недостаточная водосборная способность. Наиболее благоприятными считаются территории с умеренными значениями плотности дренажной сети.

Для оценки территория была разделена на пять классов, аналогичных классификации уклонов (табл. 2). Результаты ранжирования представлены следующим образом:

Таблица 2.

Классификация плотности дренажной сети

Класс плотности дренажной сети	Оценка потенциала	Доля территории
Очень высокая	Очень низкий	1,3 %
Высокая	Низкий	8,5 %
Средняя	Высокий	26,7 %
Низкая	Очень высокий	34,5 %
Очень низкая	Средний	29,0 %

В целом анализ показал, что более 60 % территории исследования обладают благоприятными характеристиками с точки зрения плотности дренажной сети для создания фермерских накопительных водоёмов.

3.4. Структура землепользования и характеристика земного покрова

Важным этапом оценки пригодности территории для размещения фермерских накопительных водоёмов стал анализ пространственного распределения типов землепользования и земного покрова (рис. 6).

К урбанизированным территориям, а также участкам с открытой почвой и землям, непригодным для сельскохозяйственного использования, была отнесена отдельная группа. Подобные территории характеризуются минимальной способностью к аккумуляции

рованию талых вод и практически не рассматриваются как перспективные для размещения фермерских прудов. Их доля в пределах исследуемой территории составляет около 0,9 %.

Поверхностные водные объекты были классифицированы как зоны низкой пригодности (порядка 2 %). Несмотря на наличие водных ресурсов, их использование для накопления талых вод ограничено из-за повышенной минерализации, а также пространственной удалённости от сельскохозяйственных массивов, что снижает практическую эффективность их вовлечения в систему орошения.

Лесная растительность и сельскохозяйственные угодья были объединены в единый класс со средним уровнем пригодности (59,1 %). Для данных территорий характерно наличие почвенного и растительного покрова, способствующего задержанию влаги, однако интенсивное хозяйственное использование ограничивает возможности размещения водоёмов.

Территории, занятые кустарниковой растительностью, показали более благоприятные условия для размещения накопительных водоёмов и были отнесены к зонам высокого потенциала (24,1 %). Это объясняется сочетанием относительно благоприятных гидрологических условий и меньшей степенью антропогенной нагрузки.

Согласно экспертной оценке, наибольшей перспективностью для аккумуляции талых вод обладают участки с травянистой и периодически затапливаемой растительностью. Несмотря на ограниченную площадь распространения (около 13,9 %), данные территории характеризуются наиболее оптимальными условиями для формирования локальных водоёмов и устойчивого накопления поверхностного стока.

В целом проведённый анализ подтверждает, что структура землепользования является одним из определяющих факторов при выборе площадок для размещения фермерских накопительных водоёмов, поскольку напрямую влияет на процессы инфильтрации, удержания влаги и формирование поверхностного стока.

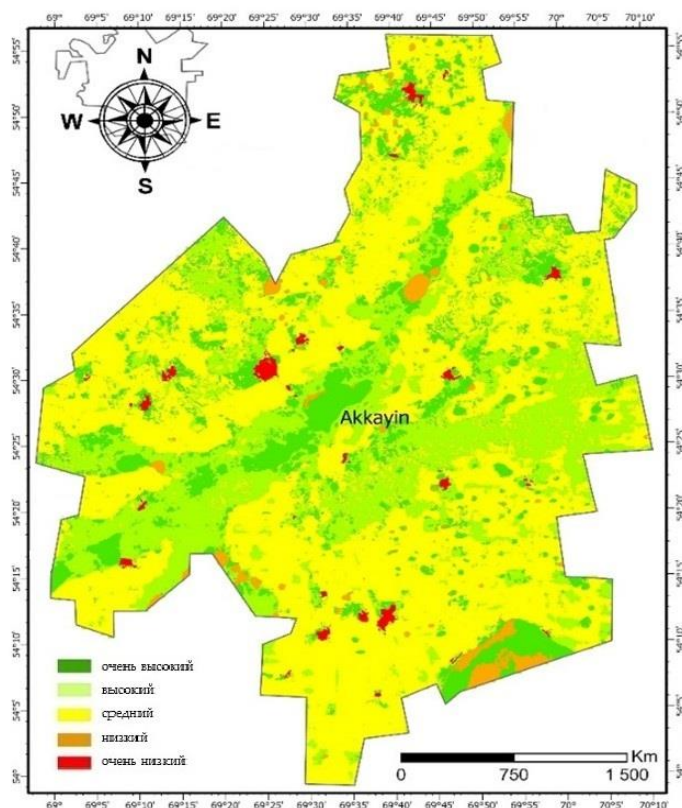


Рисунок 6. Классификация типов землепользования и земного покрова

3.5. Почвенные условия территории

Анализ почвенного покрова являлся одним из ключевых этапов оценки пригодности территории для размещения фермерских накопительных водоёмов, поскольку именно почвенные свойства во многом определяют процессы инфильтрации, удержания влаги и формирования поверхностного стока. В пределах исследуемой территории были выделены четыре основные почвенные группы: обыкновенные чернозёмы, обыкновенные карбонатные чернозёмы, обыкновенные солонцовые чернозёмы и солонцы.

Наименее благоприятными с точки зрения создания сельскохозяйственных водоёмов оказались солонцы. Высокая щелочность и неблагоприятные агрохимические свойства таких почв ограничивают возможность их использования в сельскохозяйственном производстве и негативно влияют на качество аккумулируемой воды. В связи с этим данные почвы были отнесены к зоне очень низкого потенциала, занимая около 4 % площади территории исследования.

Обыкновенные солонцовые чернозёмы были охарактеризованы как территории со средним потенциалом (27,2 %). Несмотря на наличие чернозёмного профиля, повышенная минерализация и солонцеватость ухудшают водно-физические свойства почвы и снижают эффективность накопления и последующего использования воды.

Обыкновенные карбонатные чернозёмы показали более благоприятные условия для размещения водоёмов и были отнесены к категории высокого потенциала (7,2 %). Эти почвы обладают относительно стабильными водно-физическими характеристиками и меньшими ограничениями для использования в системе сельскохозяйственного водоснабжения.

Наиболее благоприятными для аккумуляции талых и родниковых вод оказались обыкновенные чернозёмы, которые занимают основную часть исследуемой территории (61,6 %). Данный тип почв отличается хорошей структурой, высокой влагоёмкостью и благоприятными условиями для формирования устойчивого водного режима.

Следует отметить, что такие характеристики, как детальные различия в инфильтрационной способности и влагоудерживающих свойствах, не использовались как отдельные критерии ранжирования. Это связано с тем, что на территории Аккайынского района преобладают почвы одного генетического типа — чернозёмы, а различия между подтипами в региональном масштабе оказывают менее выраженное влияние по сравнению с другими природными факторами.

В целом результаты анализа подтверждают, что почвенный покров играет важную, но взаимосвязанную с другими природными условиями роль при выборе оптимальных площадок для размещения фермерских накопительных водоёмов.

3.6. Снежно-водный эквивалент

Оценка пространственного распределения снежно-водного эквивалента (СВЭ) рассматривалась как один из ключевых этапов исследования, поскольку именно объём влаги, накопленной в снежном покрове, во многом определяет водообеспеченность территории в период весеннего снеготаяния (рис. 7). Для анализа была использована карта СВЭ высокого пространственного разрешения, полученная на основе ранее разработанной авторской методики.

Согласно полученным результатам, территории с очень низким потенциалом занимают около 5,9 % площади исследуемого района ($СВЭ \leq 10 \text{ кг/м}^2$). Зоны с низким потенциалом охватывают 6,9 % территории ($СВЭ \leq 20 \text{ кг/м}^2$), тогда как доля территорий со средним потенциалом составляет 8,6 % ($СВЭ \leq 30 \text{ кг/м}^2$). Относительно небольшая площадь данных зон указывает на то, что в зимний период в регионе формируется значительный снежный запас влаги.

Соответственно, большая часть территории характеризуется более высокими значениями СВЭ. Участки с запасом влаги в снежном покрове от 30 до 40 кг/м^2 были отнесены к зонам высокого потенциала и занимают около 19,8 % территории. При этом наиболее благоприятные условия для накопления талых вод наблюдаются на территориях

с СВЭ более 50 кг/м², которые были классифицированы как зоны очень высокого потенциала и занимают 58,8 % исследуемой территории.

В целом полученные результаты подтверждают высокую роль снежного покрова как основного источника формирования водных ресурсов в весенний период для условий Северного Казахстана. Значительные запасы влаги в снежном покрове создают благоприятные предпосылки для внедрения технологий аккумулирования талых вод и их последующего использования в сельскохозяйственном водоснабжении.

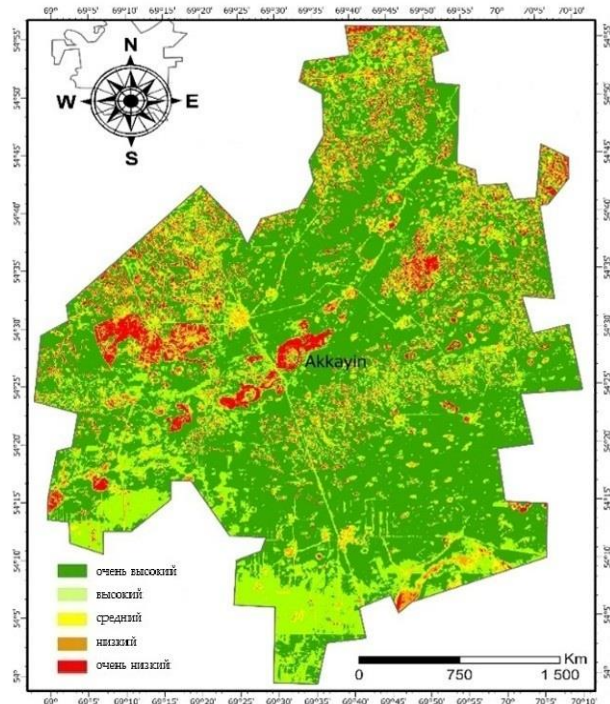


Рисунок 7. Классификация распределения снежно-водного эквивалента

Приведенные выше результаты показывают, что метод АИП на основе ГИС показал хорошие результаты в определении потенциальных мест для сельскохозяйственных прудов для сбора талых вод на исследуемой территории, а Аккайинский район в целом имеет высокий потенциал для использования избыточного поверхностного стока в сельском хозяйстве. По сравнению с аналогичными исследованиями, в данной работе использовался параметр снега, который ранее не учитывался.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании выявление потенциальных участков для размещения накопительных прудов для сбора поверхностного стока в Аккайинском районе Северо-Казахстанской области проводилось с использованием ГИС-ориентированного метода аналитического иерархического процесса и шести входных параметров: гидрогеология, уклон, плотность дренажной сети, землепользование/земельный покров, почвы и снежно-водный эквивалент. Данные параметры в наибольшей степени влияют на доступность водных ресурсов, формирование поверхностного стока, инфильтрационные процессы, а также накопление талых и паводковых вод.

В результате было установлено, что наиболее подходящие территории характеризуются средней плотностью дренажной сети, малыми уклонами, высоким снежно-водным эквивалентом и приурочены к участкам с затапливаемой растительностью и кустарниковыми сообществами.

Кроме того, большая часть обрабатываемых сельскохозяйственных земель была отнесена к территориям со средним потенциалом, несмотря на значительные запасы воды в снежном покрове и умеренные значения уклонов. В то же время менее

предпочтительные зоны занимают сравнительно небольшую площадь, однако их значительная часть совпадает с территориями, ограниченными буферной зоной шириной 1 км от сельскохозяйственных полей.

В результате применения наземных обследований, данных дистанционного зондирования Земли и метода АНР в ГИС-среде были получены карты потенциальных зон размещения фермерских водоёмов с точностью 82 %. Оценка точности модели проводилась на основе сопоставления результатов моделирования с фактическим расположением существующих фермерских прудов.

Предполагается, что предложенный подход может быть применён в регионах с аналогичными почвенно-климатическими условиями Северного Казахстана для решения задач, связанных с засухами и весенними паводками, за счёт внедрения устойчивых методов управления водными ресурсами и повышения водопроductивности.

В дальнейшем планируется оценка возможных социально-экономических эффектов внедрения устойчивого водопользования на основе аккумуляирования талых и паводковых вод в фермерских накопительных водоёмах, а также повышения эффективности использования воды при орошении.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ЖЗТ, ЗНК; управление данными - ЖЗТ; формальный анализ – ЗНК, АДК; методология - ЖЗТ; программное обеспечение – ЖЗТ, ; отслеживание - ЖЗТ; визуализация – ЖЗТ, ЗНК, АДК, ТКК; написание исходного проекта - ЖЗТ; написание и редактирование обзора – ЖЗТ, ЗНК, АДК, ТКК.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование приурочено к бюджетной программе ГФ25-27 - ИРН АР26100353 «Цифровая трансформация противоэрозионных практик: от анализа данных к реализации решений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Dubovyk O., Ghazaryan G., González J., Graw V., Löw F., Schreier J. (2016). Drought hazard in Kazakhstan in 2000–2016: a remote sensing perspective. *Environ Monit Assess* 191, 510. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7620-z>
2. Suleimenov M., Saparov A., Akshalov K., Kaskarbayev Z. (2012). Land Degradation Issues in Kazakhstan and Measures to Address Them: Land Degrad. *Pedol*, 55, 373–381. https://doi.org/10.18920/pedologist.55.3_373
3. Rahman A. (2017). Recent Advances in Modelling and Implementation of Rainwater Harvesting Systems towards Sustainable Development. *Water*, 9, 959. <https://doi.org/10.3390/w9120959>
4. Al-Abadi A., Al-Shamma'a A., Aljabbari M. (2014). A GIS-Based DRASTIC Model for Assessing Intrinsic Groundwater Vulnerability in Northeastern Missan Governorate, Southern Iraq. *Appl. Water Sci.* <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0221-7>.
5. Alwan I.A., Aziz N.A., Hamoodi M.N. (2020). Potential Water Harvesting Sites Identification Using Spatial Multi-Criteria Evaluation in Maysan Province, Iraq. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 9, 235. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040235>
6. Teleubay Z., Yermekov F., Tokbergenov I., Toleubekova Z., Igitmanov A., Yermekova Z., Assylkhanova A. (2022). Comparison of Snow Indices in Assessing Snow Cover Depth in Northern Kazakhstan. *Sustainability*, 14, 9643. <https://doi.org/10.3390/su14159643>
7. Hagos Y.G., Andualem T.G. (2021). Geospatial and Multi-Criteria Decision Approach of Groundwater Potential Zone Identification in Cuma Sub-Basin, Southern Ethiopia. *Heliyon*, 7, e07963. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07963>
8. Andualem T.G., Demeke G.G. (2019). Groundwater Potential Assessment Using GIS and Remote Sensing: A Case Study of Guna Tana Landscape, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *J. Hydrol. Reg. Stud*, 24, 100610. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100610>
9. Thomas R., Duraisamy V. (2018). Hydrogeological Delineation of Groundwater Vulnerability to Droughts in Semi-Arid Areas of Western Ahmednagar District. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci*, 21, 121–137. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.008>
10. Yifru B.A., Chung I.-M., Kim M.-G., Chang S.W. (2021). Assessing the Effect of Land/Use Land Cover and Climate Change on Water Yield and Groundwater Recharge in East African Rift Valley Using Integrated Model. *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 37, 100926. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100926>

11. Etikala B., Golla V., Li P., Renati S. (2019). Deciphering Groundwater Potential Zones Using MIF Technique and GIS: A Study from Tirupati Area, Chittoor District, Andhra Pradesh, India. *HydroResearch*, 1, 1–7, <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2019.04.001>.
12. Musa J.J., Anijofor S.C., Obasa P., Avwevuruvwe J.J. (2017). Effects of Soil Physical Properties on Erodibility and Infiltration Parameters of Selected Areas in Gidan Kwano. *Niger. J. Technol. Res*, 12, 46–54. <https://doi.org/10.4314/njtr.v12i1.8>.
13. Gomboš M., Pavelková D., Kandra B., Tall A. (2019). Impact of Soil Texture and Position of Groundwater Level on Evaporation from the Soil Root Zone. In *Water Resources in Slovakia: Part I: Assessment and Development*; Negm, A.M., Zeleňáková, M., Eds.; The Handbook of Environmental Chemistry; Springer International Publishing: Cham, pp. 167–181. ISBN 978-3-319-92853-1.
14. Nolan B., Healy R., Taber P., Perkins K., Hitt K., Wolock D. (2006). Factors Influencing Groundwater Recharge in the Eastern United States.
15. Teleubay Z. (2023). Source Codes for Snow Depth and Snow Water Equivalent Calculation on Google Earth Engine Platform Using Sentinel-2 MSI Images.

ТАҚЫРЫПТЫҚ ҚАБАТТАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП АУМАҚТЫҢ ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ГЕОАҚПАРАТТЫҚ ТАЛДАУЫ

Жанат З. Толубекова, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Забида Н. Курманғалиева, Айнур Д. Каранеева, Толқын К. Қуанышбек

«Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАК, Астана қ., Қазақстан; jtolubekova@mail.ru (ЖЗТ), zabida_98@mail.ru (ЗНК), ajnurk121@gmail.com (АДК), www.tolkynj@gmail.com (ТКК)

*Автор корреспонденциясы: Забида Н. Курманғалиева, e-mail: zabida_98@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

ЖҚЗ, ГАЖ, тақырыптық қабаттар, аналитикалық иерархиялық процесс, еріген қар, тасқын сулары, жерүсті ағын суларын жинау

Мақала жайында:

Алынды: 13.02.2026
Қайта қаралды: 08.04.2026
Қабылданды: 24.06.2026
Жарияланды: 01.07.2026

АБСТРАКТ

Құрғақ және жартылай құрғақ аймақтарда, жауын-шашын режимі тұрақсыз жағдайларда өмір сүретін халық жиі құрғақшылық пен су тасқындарына ұшырайды, бұл өз кезегінде су ресурстарымен қамтамасыз етілу деңгейіне тікелей әсер етеді. Жерүсті ағын суларын жинау су тапшылығы жағдайында өсіп келе жатқан су ресурстарына деген сұранысты қанағаттандыру, климаттың өзгеруінің салдарын жұмсарту және шөлейттену үдерістерін тежеу мақсатында қолданылатын дәстүрлі су қамтамасыз ету тәсілдерінің бірі болып табылады.

Осы зерттеуде Солтүстік Қазақстанның дала аймағында фермерлік су қоймаларын орналастырудың әлеуетті учаскелерін бағалау үшін қашықтықтан зондтау (ҚЗ) деректері мен геоақпараттық жүйелер (ГАЖ) аналитикалық иерархия әдісін қолдану арқылы біріктірілді. Ұсынылған тәсіл экономикалық тұрғыдан тиімді және сенімді бағалау құралын қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Зерттеу алты тақырыптық қабатқа негізделген: гидрогеология, жер бедерінің еңістігі, дренаж желісінің тығыздығы, жер пайдалану/топырақ жамылғысы, топырақ және қар қорының су эквиваленті. Аталған параметрлер су ресурстарының қолжетімділігіне, ағынның қалыптасуына, инфильтрацияға және еріген қар мен тасқын сулардың жиналуына ең жоғары деңгейде әсер етеді.

Зерттеу нәтижелері бойынша ең қолайлы учаскелер дренаж желісінің орташа тығыздығымен, аз еңістік мәндерімен, қар қорының су эквивалентінің жоғары көрсеткіштерімен және су басуға бейім өсімдіктер таралған аумақтарда орналасуымен сипатталады. Сонымен қатар, зерттелетін аумақтың 30 % бөлігінен еріген қар суларын жинау жағдайында зерттеу ауданының ауыл шаруашылығы жерлерінің төрттен бір бөлігін су тапшылығы жағдайындағы суаруға көшіру мүмкіндігі бар. Бұл су тасқыны қаупін төмендетуге,

құрғақшылық жылдары фермерлердің табысын тұрақтандыруға және жоғары табысты ауыл шаруашылығы дақылдарын өсіруге мүмкіндік береді. Жалпы алғанда, зерттеу фермерлік су қоймаларында еріген қар суларын жинақтау ауыл шаруашылығындағы құрғақшылық пен көктемгі су тасқындарының теріс әсерін төмендетудің тиімді шараларының бірі екенін көрсетеді.

INTEGRATED GIS-BASED TERRITORIAL ANALYSIS USING THEMATIC SPATIAL LAYERS

Zhanat Toleubekova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Zabida Kurmangaliyeva, Ainur Karaneeva, Tolkin Kuanyshbek

Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan; jtoleubekova@mail.ru (ZZT), zabida_98@mail.ru (ZNK), ajnurk121@gmail.com (ADK), www.tolkynj@gmail.com (TKK)

*Corresponding author: Zabida N. Kurmangaliyeva, e-mail: zabida_98@mail.ru

KEY WORDS

Remote sensing, geographic information systems (GIS), thematic spatial layers, analytical hierarchy process (AHP), snowmelt, floodwaters, surface runoff harvesting

About article:

Received: 13.02.2026

Revised: 08.04.2026

Accepted: 24.06.2026

Published: 01.07.2026

ABSTRACT

Populations living in arid and semi-arid regions characterized by highly variable precipitation regimes are frequently exposed to both droughts and flood events, which directly affect water resource availability. Surface runoff harvesting represents a long-established water management strategy used under water-scarcity conditions to meet increasing water demand, mitigate climate change impacts, and reduce land degradation and desertification processes.

This study integrates remote sensing data and geographic information systems within an analytical hierarchy process framework to develop a cost-effective and reliable approach for identifying suitable locations for farm reservoirs in the steppe zone of Northern Kazakhstan.

The analysis is based on six key thematic spatial layers, including hydrogeology, terrain slope, drainage density, land use and land cover, soil characteristics, and snow water equivalent. These factors play a critical role in determining water availability, runoff generation, infiltration processes, and the accumulation of snowmelt and floodwaters.

The results indicate that the most suitable sites are typically associated with moderate drainage density, gentle slopes, high snow water equivalent values, and areas dominated by flood-prone vegetation. Furthermore, harvesting snowmelt runoff from approximately 30 % of the study area could potentially enable deficit irrigation across nearly one-quarter of the agricultural land within the region. This approach may contribute to reducing flood risk, stabilizing farm income during dry years, and supporting the cultivation of higher-value crops.

Overall, the findings highlight the strong potential of farm reservoirs for snowmelt water storage as an effective adaptation measure to mitigate agricultural drought and seasonal spring flooding.

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).