



Научная статья

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СПЕКТРАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА КОНТУРНЫХ ВАЛОКАНАВ НА СКЛОНОВЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

Айнур Д. Каранеева* , Жанат З. Толеубекова  кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Забида Н. Курмангалиева , Толкын К. Куанышбек 

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

*Автор-корреспондент: Каранеева Айнур, e-mail: ajnurk121@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

контурные валоканавы, БПЛА-фотограмметрия, Structure-from-Motion (SfM), цифровая модель рельефа, дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), Sentinel-2, топографический индекс влажности (TWI), противоэрозионные мероприятия, эрозия почв, склоновые агроландшафты, Восточный Казахстан

АБСТРАКТ

В статье рассматривается возможность применения высокодетальных цифровых моделей рельефа и спутниковых данных для проектирования и дистанционного контроля контурных валоканав на склоновых территориях Восточного Казахстана. Морфометрическая основа исследования сформирована по данным БПЛА-съемки с использованием алгоритмов Structure-from-Motion (SfM) и построением цифровой модели рельефа с разрешением 0,1 м. Дополнительно использовались данные ALOS AW3D30 и мультиспектральные снимки Sentinel-2 Level-2A.

В ходе исследования выполнен анализ морфометрических параметров рельефа и топографических индексов, характеризующих условия увлажнения и эрозионную устойчивость склонов. Установлено, что при уклонах свыше 5° возрастает риск концентрации поверхностного стока и локальных размывов, что требует высокоточной трассировки валоканав вдоль горизонталей. Сопоставление топографического индекса влажности (TWI) с распределением растительного покрова по спутниковым данным показало взаимосвязь особенностей рельефа, условий увлажнения и состояния растительности на исследуемой территории.

Показано, что применение данных Sentinel-2 для мониторинга валоканав осложняется эффектом смещения спектрального сигнала, обусловленного несоответствием размеров валоканав пространственному разрешению спутниковых снимков. В связи с этим обоснована перспективность использования методов спектрального анализа смесей и последующего анализа спектральных особенностей почвенно-растительного покрова. Исследование показывает возможность совместного использования высокодетальных моделей рельефа и спутниковых данных для дистанционной оценки состояния противоэрозионных сооружений в условиях Восточного Казахстана.

1. ВВЕДЕНИЕ

Водная эрозия остается одной из основных причин деградации почв на склоновых землях Казахстана [1]. Особенно остро эта проблема проявляется в предгорных районах Восточного Казахстана, где сочетание расчлененного рельефа, интенсивного снеготаяния и сезонных осадков способствует формированию значительного поверхностного стока [2]. В таких условиях особое значение приобретают противоэрозионные сооружения, обеспечивающие регулирование поверхностного стока на склоновых территориях.

Одним из распространенных способов регулирования поверхностного стока на склоновых землях являются контурные валоканавы, предназначенные для задержания воды и повышения её инфильтрации в почву [3]. Эффективность подобных сооружений

во многом зависит от учета микрорельефа и точности их размещения относительно горизонталей склона. Исследования показывают, что пространственная неоднородность микрорельефа существенно влияет на формирование поверхностного стока и перераспределение влаги [4,5]. В условиях расчлененного рельефа использование топографических материалов низкой детализации может затруднять корректную трассировку противоэрозионных сооружений.

По статье:

Получено: 16.02.2026

Пересмотрено: 25.06.2026

Принято: 25.08.2026

Опубликовано: 01.10.2026

В последние годы методы БПЛА-фотограмметрии активно применяются для мониторинга эрозионных процессов, построения цифровых моделей рельефа и анализа поверхностного стока [6,7]. Одновременно мультиспектральные снимки Sentinel-2 находят применение в задачах оценки состояния растительности, влажности почв и деградации земель [8]. В связи с этим спектральные характеристики почвенно-растительного покрова все чаще рассматриваются как источник информации для дистанционной оценки процессов влагонакопления и состояния противоэрозионных сооружений.

Несмотря на это, для условий Восточного Казахстана вопросы дистанционного контроля состояния валоканав остаются недостаточно изученными. Основная сложность связана с пространственным разрешением открытых спутниковых данных. Ширина контурных валоканав на склоновых территориях обычно составляет несколько метров, тогда как пространственное разрешение данных Sentinel-2 достигает 10 м. В результате спектральный сигнал валоканавы частично смешивается с сигналом окружающей растительности, что затрудняет выделение признаков увлажнения непосредственно вдоль сооружения. В таких условиях возникает необходимость совместного использования высокодетальных цифровых моделей рельефа и спутниковых спектральных данных для более надежной интерпретации распределения влаги и состояния противоэрозионных сооружений.

Научная проблема исследования связана с ограниченными возможностями применения существующих методов дистанционного мониторинга для оценки состояния контурных валоканав в условиях склоновых территорий Восточного Казахстана.

Цель исследования — обоснование возможности применения инженерно-геодезических методов, высокодетальных цифровых моделей рельефа и спутниковых данных при проектировании и дистанционном контроле контурных валоканав в условиях Восточного Казахстана.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- выполнить сравнительную оценку коэффициентов поверхностного стока и рисков разрушения валоканав в различных природных зонах Казахстана;
- рассмотреть применение высокодетальных цифровых моделей рельефа для трассировки противоэрозионных сооружений на склоновых территориях;
- рассмотреть возможность дистанционной оценки условий увлажнения на основе спутниковых данных Sentinel-2 и спектральных особенностей растительного покрова.

В основе предлагаемого подхода лежит предположение о том, что различия увлажненности вдоль валоканав могут отражаться в состоянии растительного покрова и, соответственно, в его спектральных характеристиках. В дальнейшем анализ спутниковых данных может использоваться для предварительной дистанционной оценки состояния противоэрозионных сооружений в условиях Восточного Казахстана.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 Техническое обеспечение и источники данных

Морфометрическую основу исследования составили данные, полученные с беспилотного комплекса DJI Matrice RTK 300 с RGB-камерой высокого разрешения. Первичная обработка снимков и построение цифровой модели рельефа выполнялись в ArcGIS Pro (Orthomapping) с использованием алгоритмов Structure-from-Motion (SfM).

Для цитирования:

Каранеева А.Д.,

Толеубекова Ж.З.,

Курмангалиева З.Н.,

Куанышбек Т.К.,

Геодезическое

сопровождение и

перспективы спектрального

мониторинга контурных

валоканав на склоновых

территориях Восточного

Казахстана//

Гидрометеорология и

экология, 123 (3), 2026,

230–239.

Для повышения качества модели применялись фильтрация шумов и классификация плотного облака точек с выделением поверхности почвы (DTM) с разрешением 0,1 м.

В качестве региональной модели рельефа использовались данные ALOS AW3D30, применявшиеся для расчета морфометрических параметров и оценки потенциальных зон аккумуляции поверхностного стока. Для организации потоковой обработки данных в ArcGIS Pro была спроектирована файловая база геоданных (File Geodatabase). В её структуру интегрированы векторные слои гидрографии, растры ЦМР и тематические карты почв.

Для анализа почвенно-гидрологических условий были использованы топографические индексы TWI, SPI и STI, рассчитанные по данным цифровой модели рельефа. Дополнительно для оценки эрозионной расчлененности территории анализировались LS-фактор и индекс рельефа TRI. Комплексный анализ морфометрических параметров позволил выявить различия в условиях увлажнения и степени эрозионной опасности различных участков исследуемой территории (рис. 1).

Почвенно-гидрологический анализ — Тарбагатайский район

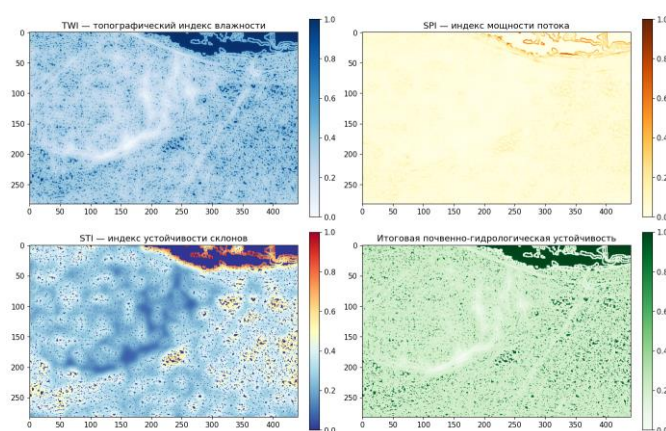


Рисунок 1. Карты топографических индексов влажности и эрозионной устойчивости исследуемой территории

Высокие значения TWI соответствуют участкам потенциального накопления влаги и замедленного поверхностного стока. Значения SPI отражают пространственные различия в условиях формирования поверхностного стока и потенциальной интенсивности эрозионных процессов. Комплексный анализ топографических индексов позволил выявить неоднородность почвенно-гидрологических условий на исследуемой территории.

Полученные результаты подтверждают возможность использования морфометрических параметров рельефа при предварительной оценке условий увлажнения склонов и выборе участков для размещения противозэрозионных сооружений.

Морфометрические характеристики также использовались для интерпретации спутниковых данных Sentinel-2, что позволило учитывать неоднородность увлажнения и особенности рельефа при анализе растительного покрова склоновых территорий. Для анализа использовались мультиспектральные данные Sentinel-2 Level-2A с пространственным разрешением 10 м за вегетационный период 2024...2025 гг. Спутниковые данные анализировались совместно с морфометрическими параметрами рельефа для выявления особенностей растительного покрова на различных типах склоновых участков.

2.2 Методика проектирования противозерозионных систем

Проектирование валоканав базируется на расчете объема задержанного поверхностного стока (WB) по упрощенной инженерно-гидрологической зависимости:

$$WB = 10 \cdot P \cdot F \cdot \varphi \quad (1)$$

где:

- P — глубина осадков (мм) за расчетный период (ливень или период снеготаяния);
- F — площадь водосбора (га), приходящаяся на конкретный сегмент валоканавы;
- φ — коэффициент стока.

Для условий Казахстана коэффициент стока φ является одним из ключевых параметров расчета и зависит от механического состава почв и их влажности перед началом стока. В условиях интенсивного снеготаяния коэффициент поверхностного стока может существенно возрастать, что требует точного расчета емкости контурных валоканав [3].

Расстояние между контурными валоканавами определялось исходя из вертикального интервала и среднего уклона поверхности:

$$L = \frac{h_v}{i} \quad (2)$$

где h_v — расчетный вертикальный интервал между (вертикальный интервал между валами), а i — средний уклон поверхности в десятичных дробях.

Учитывая протяженность склонов, точность определения уклона имеет важное значение, поскольку ошибки в оценке рельефа могут приводить к локальной концентрации поверхностного стока и снижению эффективности валоканав. Таким образом, оценка состояния валоканав требует совместного учета морфометрических параметров рельефа и дистанционных спектральных данных.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфометрический анализ Тарбагатайского района выявил значительную пространственную неоднородность ландшафта (см. таб. 1).

Таблица 1.

Сводные морфометрические показатели территории

Показатель	Минимум	Максимум	Среднее
Slope (уклон)	0,1	13,3	1,4
LS-фактор	0,1	6,4	2,6
TRI (индекс рельефа)	0,5	25,1	8,2

При уклонах свыше 5° наблюдалось увеличение LS-фактора, указывающее на повышение эрозионной опасности. Дополнительно был выполнен анализ экспозиции склонов и распределения солнечной радиации. Полученные результаты показали различия условий увлажнения между северными и южными склонами, связанные с неодинаковой инсоляцией и интенсивностью испарения (рис. 2). Это позволяет учитывать влияние экспозиции при интерпретации спектральных характеристик поверхности и анализе состояния валоканав.

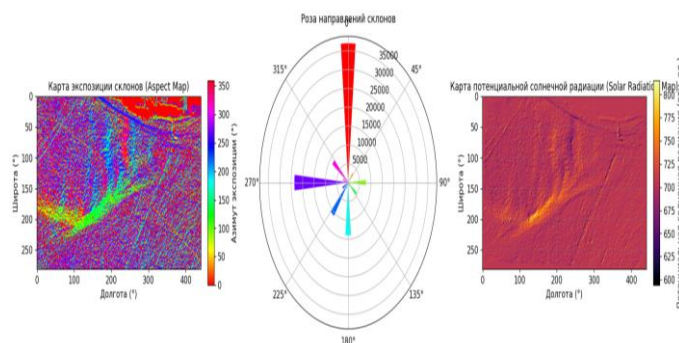


Рисунок 2. Анализ экспозиции склонов и распределения потенциальной солнечной радиации на опытном участке Тарбагатайского района

Высокодетальные ЦМР, построенные по материалам БПЛА-съемки, позволяют анализировать различные варианты трассировки валоканав с учетом особенностей микрорельефа и возможного перераспределения поверхностного стока. Анализ крутизны склонов опытного участка в Восточно-Казахстанской области подтвердил значительную расчлененность территории (рис. 3).

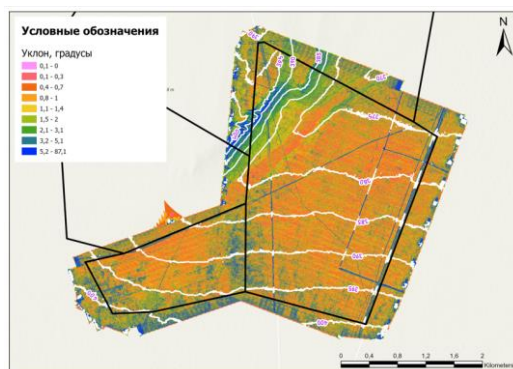


Рисунок 3. Карта крутизны склонов (Slope Map) опытного участка в Восточно-Казахстанской, построенная на основе ЦМР по данным БПЛА-съемки.

Большая часть площади характеризуется уклонами свыше $5...8^\circ$, что соответствует результатам статистической обработки, приведенным в таблице 1. В таких условиях возрастает риск концентрации поверхностного стока и локальных размывов, что требует особенно точного соблюдения проектного положения валоканав вдоль горизонталей.

Сравнительный анализ параметров поверхностного стока (таб. 2) указывает на более высокие значения коэффициента стока (ϕ) в предгорных районах Восточного Казахстана в период снеготаяния.

Таблица 2

Сравнительная инженерно-географическая оценка потенциальных рисков повреждения валоканав

Регион/ Зональность	Тип почвы (преобладающий)	Рельеф и уклоны	Коэффициент стока (ϕ) в период снеготаяния*	Риск разрушения вала при геодезической ошибке
Северный Казахстан (степная зона)	Черноземы обыкновенные	Равнинный (уклоны $1...3^\circ$)	0,65 ...0,75	Средний: локальные размывы без

					разрушения системы.
Центральный Казахстан (полупустынная зона)	Светло-каштановые, солонцы	Мелкосопочник (уклоны 3...5°)	0,55 ... 0,65		Средне-высокий: риск образования очаговой эрозии.
Восточный Казахстан (ВКО) (предгорная зона)	Горно-степные черноземы	Сильнорасчлененный (уклоны 5...12°)	0,80 ... 0,90		Критический: риск прорыва вала и формирования оврагов.
Южный Казахстан (предгорная зона)	Сероземы	Пологие предгорья (уклоны 2 ... 4°)	0,40 ... 0,50 (ливневый)		Высокий при экстремальных ливневых осадках.

* Диапазоны коэффициентов поверхностного стока приведены по данным СП РК 3.04-101-2012 [9] с учетом обобщенных инженерно-гидрологических оценок для различных природных зон Казахстана.

В условиях расчлененного рельефа Восточного Казахстана точность соблюдения проектного положения валоканав имеет важное значение для равномерного распределения поверхностного стока. Одним из перспективных направлений является применение DoD-моделей, построенных по повторным БПЛА-съемкам, для контроля состояния валоканав после проведения земляных работ.

Научная новизна исследования связана с предварительным обоснованием возможности формирования региональной базы спектральных характеристик как основы для дистанционного анализа состояния противоэрозионных сооружений. В отличие от традиционных подходов, основанных на использовании контактных датчиков [10], предлагаемый подход ориентирован на интеграцию геодезических и спутниковых данных.

Также ниже представлена концептуальная схема использования мультиспектральных данных Sentinel-2 для дистанционной оценки особенностей увлажнения вдоль трасс валоканав (рис. 4).

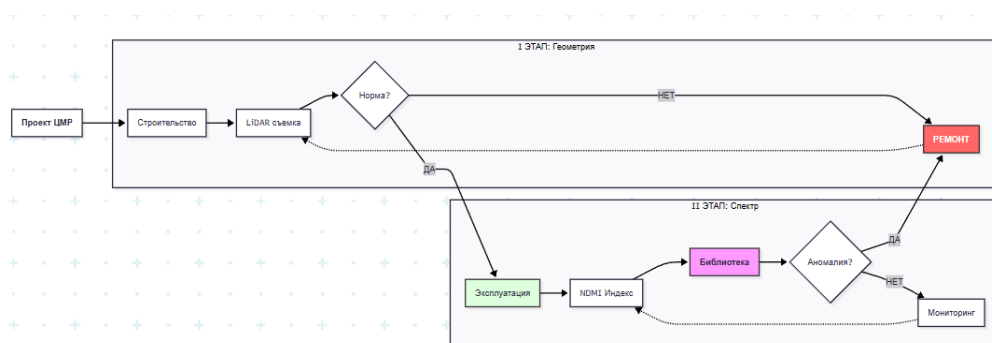


Рисунок 4. Концептуальная схема автоматизированного геодезического контроля параметров и спектрометрического мониторинга состояния валоканав

Шаг 1. Радиометрическая и атмосферная коррекция снимков необходима для уменьшения влияния дымки и аэрозолей, а также обеспечения сопоставимости спутниковых данных Sentinel-2 со спектральными характеристиками, формируемыми в региональной библиотеке [11].

Шаг 2. На данном этапе предполагается использование спектральных индексов, чувствительных к изменениям влажности почвенно-растительного покрова, для анализа распределения увлажнения вдоль трасс валоканав [12].

Шаг 3. Анализ пространственной неоднородности спектрального сигнала. Предполагается, что изменение спектральных характеристик вдоль проектной линии валоканав может указывать на участки с нарушением распределения влаги или локальными изменениями состояния поверхности.

Ширина валоканав обычно составляет около 3 м, тогда как пространственное разрешение данных Sentinel-2 составляет 10 м [13]. Из-за этого спектральный сигнал валоканавы частично смешивается с сигналом окружающей растительности, что затрудняет его выделение на спутниковых снимках.

Для решения этой проблемы предполагается использовать методы спектрального анализа смесей (Spectral Mixture Analysis). Такие методы позволяют разделять смешанный спектральный сигнал на компоненты, связанные с почвой и растительностью [14].

На следующем этапе исследований планируется выделение спектральных компонентов (эндмемберов), соответствующих почве и растительности. Предполагается, что применение методов спектрального анализа смесей позволит частично уменьшить влияние фоновой растительности и повысить устойчивость выявления участков с повышенной влажностью вдоль валоканав [15].

Вместе с тем для условий склоновых ландшафтов Восточного Казахстана одного спектрального разделения может оказаться недостаточно. Растительный покров в таких условиях отличается высокой неоднородностью. На спектральный сигнал могут влиять различия увлажненности, состав растительности, особенности рельефа и типы почв, а не только состояние самих валоканав.

Поэтому на следующем этапе работы планируется рассмотреть применение элементов графовой регуляризации [16]. Такой подход учитывает, что валоканав представляет собой протяженный линейный объект, ориентированный вдоль горизонталей склона. Анализ взаимосвязанных соседних пикселей позволяет уменьшить влияние неоднородности растительного покрова и повысить устойчивость выделения участков с различной увлажненностью.

На текущем этапе работа носит преимущественно концептуальный характер. Основная цель заключается в предварительном обосновании возможности создания региональной спектральной библиотеки для задач дистанционного мониторинга противоэрозионных сооружений. Практическая реализация алгоритма, подбор параметров модели и экспериментальная проверка применимости данных Sentinel-2 планируются на следующих этапах исследования по мере накопления полевых и дистанционных материалов.

Использование спектральных библиотек и данных Sentinel-2 в перспективе может позволить оценивать особенности влагонакопления вдоль валоканав без большого количества наземных измерений. При этом предлагаемый подход требует дальнейшей экспериментальной проверки для условий Восточного Казахстана, включая оценку влияния пространственного разрешения спутниковых данных и неоднородности растительного покрова.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования показано, что использование высокодетальных цифровых моделей рельефа, полученных по данным БПЛА-съемки, позволяет учитывать особенности микрорельефа при проектировании контурных валоканав на склоновых территориях Восточного Казахстана. Морфометрический анализ подтвердил выраженную неоднородность рельефа и необходимость точной трассировки противоэрозионных сооружений вдоль горизонталей для предотвращения концентрации поверхностного стока и локальных размывов.

Анализ топографических индексов показал, что участки с повышенными значениями TWI соответствуют зонам накопления влаги, тогда как высокие значения SPI характерны для более крутых склонов с усиленными эрозионными процессами. Полученные результаты подтверждают возможность использования морфометрических параметров рельефа при предварительной оценке условий увлажнения и анализе потенциально эрозионно-опасных участков.

Сопоставление морфометрических параметров рельефа с данными дистанционного зондирования показало возможность использования спутниковых данных при анализе условий функционирования валоканав. Установлено, что пространственное разрешение Sentinel-2 приводит к смещению спектрального сигнала валоканав и окружающего растительного покрова, что ограничивает возможности прямого дистанционного мониторинга подобных объектов.

На текущем этапе исследование носит преимущественно концептуальный характер. Полученные результаты показывают перспективность дальнейшего изучения возможностей совместного использования геодезических и спутниковых данных для дистанционного мониторинга противозерозионных сооружений в условиях Восточного Казахстана.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, полученные в ходе исследования, доступны по запросу у автора-корреспондента.

ВКЛАД АВТОРОВ

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан в рамках бюджетной программы 1-25/ГФ26 - ИРН AP26100353 «Цифровая трансформация противозерозионных практик: от анализа данных к реализации решений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шынбергенев Е.А., Сиханова Н.С. Методические проблемы определения смыва почв в Казахстане // Вестник КазНУ. Серия географическая и экологическая. – 2024. – Т. 73. – № 2. – С. 45–56. – URL: <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/1391>
2. Кужинов М., Абдрахманов А., Сарсенова Г. Влияние экспозиции склонов на проявление эрозионных процессов // Вестник Костанайского регионального университета. – 2022. – № 3. – С. 112–119. – URL: <https://ojs.ksu.edu.kz/index.php/3i/article/view/397>
3. Айкешев Б.М., Айнакулов Ж.Ж., Нурышев М.Ж. Роль валоканав в сельском хозяйстве: мелиорация, борьба с эрозией и сохранение влаги // Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета им. С. Сейфуллина. – 2025. – № 1(124). – С. 13–26. [https://doi.org/10.51452/kazatu.2025.1\(124\).1807](https://doi.org/10.51452/kazatu.2025.1(124).1807)
4. Appels W.M., Bogaart P.W., van der Zee S.E.A.T.M. Influence of spatial variations of microtopography and infiltration on surface runoff and field scale hydrological connectivity // Advances in Water Resources. – 2011. – Vol. 34. – No. 2. – P. 303–313. – <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2010.12.003>
5. Liang X., Feng J., Ye Z. et al. The effect of soil surface mounds and depressions on runoff // Sustainability. – 2023. – Vol. 15. – No. 1. – P. 1–175. – DOI: <https://doi.org/10.3390/su15010175>
6. Li P., Li D., Hu J. et al. Improving the application of UAV-LiDAR for erosion monitoring through accounting for uncertainty in DEM of difference // CATENA. – 2024. – Vol. 234. – P. 107534. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107534>
7. Medeiros B.M., Cândido B., Jimenez P.A.J. et al. UAV-Based Soil Water Erosion Monitoring: Current Status and Trends // Drones. – 2025. – Vol. 9. – No. 4. – P. 305. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107534>
8. Varghese D., Radulović M., Stojković S., Crnojević V. Reviewing the potential of Sentinel-2 in assessing the drought // Remote Sensing. – 2021. – Vol. 13. – No. 17. – P. 3355. – DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13173355>
9. СП РК 3.04-101-2012. Гидротехнические сооружения: основные положения. – Астана, 2012.
10. Hardie M. Review of Novel and Emerging Proximal Soil Moisture Sensors for Use in Agriculture // Sensors. – 2020. – Vol. 20. – No. 23. – P. 6934. – DOI: <https://doi.org/10.3390/s20236934>
11. Louis J., Debaecker V., Pflug B. et al. Sentinel-2 Sen2Cor: L2A processor for users // Proceedings of the Living Planet Symposium 2016. – 2016. – URL: http://esamultimedia.esa.int/multimedia/publications/SP-740/SP-740_toc.pdf
12. Gao B.-C. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. – 1996. – Vol. 58. – No. 3. – P. 257–266. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
13. European Space Agency (ESA). Sentinel-2 mission overview. – URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2 (accessed: 18.05.2026).

14. Keshava N., Mustard J.F. Spectral unmixing // IEEE Signal Processing Magazine. – 2002. – Vol. 19. – No. 1. – P. 44–57. – DOI: <https://doi.org/10.1109/79.974727>
15. Ochoa F., Brodrick P.G., Okin G.S. et al. Soil and vegetation cover estimation for global imaging spectroscopy using spectral mixture analysis // Remote Sensing of Environment. – 2025. – Vol. 324. – 114746. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114746>
16. Li Z., Chen J., Rahardja S. Graph construction for hyperspectral data unmixing // Hyperspectral Imaging in Agriculture, Food and Environment. – IntechOpen, 2018. – DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.73158>

REFERENCES

1. Shynbergenov, E. A., Sikhanova, N. S., (2024). Metodicheskie problemy opredeleniya smyva pochv v Kazakhstane [Methodological problems of soil erosion assessment in Kazakhstan]. *Journal of Geography and Environmental Management*, 73(2), 45-56. URL: <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/1391>
2. Kuzhinov M., Abdrakhmanov A., Sarsenova G. (2022) .Influence of slope exposure on erosion processes // Bulletin of Kostanay Regional University. — No. 3. — P. 112–119. — URL: <https://ojs.ksu.edu.kz/index.php/3i/article/view/397>
3. Aikeshv B.M., Ainakulov Zh.Zh., & Nuryshv M.Zh. (2025) The role of contour trenches in agriculture: land reclamation, erosion control and moisture conservation // Bulletin of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University. – No. 1(124). – P. 13–26. DOI: [https://doi.org/10.51452/kazatu.2025.1\(124\).1807](https://doi.org/10.51452/kazatu.2025.1(124).1807)
4. Appels W.M., Bogaart P.W., van der Zee S.E.A.T.M. (2011) Influence of spatial variations of microtopography and infiltration on surface runoff and field scale hydrological connectivity // Advances in Water Resources. Vol. 34 (2) 303-313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2010.12.003>
5. Liang X., Feng J., Ye Z. et al. (2023) The effect of soil surface mounds and depressions on runoff // Sustainability. 15(1) 175. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15010175>
6. Li P., Li D., Hu J. et al. (2024) Improving the application of UAV-LiDAR for erosion monitoring through accounting for uncertainty in DEM of difference // CATENA.234. 107534. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107534>
7. Medeiros B.M., Cândido B., Jimenez P.A.J. et al (2025). UAV-Based Soil Water Erosion Monitoring: Current Status and Trends // Drones. 9(4), 305. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones9040305>
8. Varghese D., Radulović M., Stojković S., & Crnojević V. ((2021) Reviewing the potential of Sentinel-2 in assessing drought // Remote Sensing. 13 (17). 3355. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13173355>
9. SP RK 3.04-101-2012. Hydraulic structures: General provisions. – Astana, 2012.
10. Hardie M. (2020) Review of Novel and Emerging Proximal Soil Moisture Sensors for Use in Agriculture // Sensors. 20 (23). – 6934. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20236934>
11. Louis J., Debaecker V., Pflug B. et al. (2016) Sentinel-2 Sen2Cor: L2A processor for users // Proceedings of the Living Planet Symposium 2016. URL: http://esamultimedia.esa.int/multimedia/publications/SP-740/SP-740_toc.pdf
12. Gao B.-C. (1996) NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. 58 (3). 257–266. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
13. European Space Agency (ESA). Sentinel-2 mission overview. – URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2 (accessed: 18.05.2026).
14. Keshava N., & Mustard J.F. (2002) Spectral unmixing // IEEE Signal Processing Magazine. 19 (1). 44–57. DOI: <https://doi.org/10.1109/79.974727>
15. Ochoa F., Brodrick P.G., Okin G.S. et al. (2025) Soil and vegetation cover estimation for global imaging spectroscopy using spectral mixture analysis // Remote Sensing of Environment. 324. 114746. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114746>
16. Li Z., Chen J., & Rahardja S. (2018) Graph construction for hyperspectral data unmixing // Hyperspectral Imaging in Agriculture, Food and Environment. – IntechOpen. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.73158>

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ БЕТКЕЙЛІ АУМАҚТАРЫНДАҒЫ КОНТУРЛЫҚ ВАЛ-АРЫҚТАРДЫ ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ СҮЙЕМЕЛДЕУ ЖӘНЕ СПЕКТРАЛДЫ МОНИТОРИНГТІҢ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Айнұр Д. Каранеева*, Жанат З. Төлеубекова техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Забида Н. Құрманғалиева, Толқын К. Қуанышбек

«Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан;
ajnurk121@gmail.com (АДК), jtulebekova@mail.ru (ЖЗТ), zabida_98@mail.ru (ЗНК), www.tolkynj@gmail.com (ТКК)
Корреспондент-автор: Каранеева Айнұр, e-mail: ajnurk121@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

Контурлық вал-арықтар, ұшқышсыз ұшу аппараты (БПЛА) фотограмметриясы, Structure-from-Motion (SfM), цифрлық жер бедері моделі, Жерді қашықтықтан зондау

АБСТРАКТ

Мақалада Шығыс Қазақстанның беткейлі аумақтарындағы контурлық вал-арықтарды жобалау және қашықтықтан бақылау үшін жоғары дәлдіктегі цифрлық жер бедері модельдері мен спутниктік деректерді қолдану мүмкіндігі қарастырылады. Зерттеудің морфометриялық негізі БПЛА-түсірілім деректері бойынша Structure-from-Motion (SfM) алгоритмдерін пайдалану арқылы және кеңістіктік ажыратымдылығы 0,1 м болатын цифрлық жер бедері моделін құру негізінде қалыптастырылды. Қосымша түрде ALOS AW3D30 деректері мен Sentinel-2 Level-2A мультиспектралды суреттері пайдаланылды.

(ЖКЗ), Sentinel-2, ылғалдылықтың топографиялық индексі (TWI), эрозияға қарсы шаралар, топырақ эрозиясы, беткейлік агроландшафттар, Шығыс Қазақстан

Мақала жайында:

Алынды: 16.02.2026

Қайта қаралды: 25.06.2026

Қабылданды: 25.08.2026

Жарияланды: 01.10.2026

Зерттеу барысында ылғалдану жағдайлары мен беткейлердің эрозиялық тұрақтылығын сипаттайтын жер бедерінің морфометриялық параметрлері мен топографиялық индекстеріне талдау жүргізілді. Беткей еңістігі 5°-тан асқанда жерүсті ағынының шоғырлану және жергілікті шайылу қаупі артатыны анықталды, бұл вал-арықтарды горизонтальдар бойымен жоғары дәлдікпен трассалауды талап етеді. Ылғалдылықтың топографиялық индексі (TWI) спутниктік деректер бойынша өсімдік жамылғысының таралуымен салыстыру зерттелетін аумақта жер бедері ерекшеліктері, ылғалдану жағдайлары және өсімдік жамылғысының күйі арасындағы өзара байланысты көрсетті. Sentinel-2 деректерін вал-арықтарды мониторингтеу үшін қолдану спектралдық сигналдың араласу әсерімен қиындайтыны көрсетілді. Бұл вал-арықтардың өлшемдерінің спутниктік суреттердің кеңістіктік ажыратымдылығына сәйкес келмеуімен байланысты. Осыған байланысты спектралдық коспарларды талдау әдістерін және топырақ-өсімдік жамылғысының спектралдық ерекшеліктерін кейінгі талдауды қолданудың перспективалылығы негізделді.

Зерттеу нәтижелері Шығыс Қазақстан жағдайында эрозияға қарсы құрылыстардың күйін қашықтықтан бағалау үшін жоғары дәлдіктегі жер бедері модельдері мен спутниктік деректерді бірлесіп қолдану мүмкіндігін көрсетеді.

GEODETIC SUPPORT AND PROSPECTS FOR SPECTRAL MONITORING OF CONTOUR SWALES ON SLOPING TERRITORIES OF EASTERN KAZAKHSTAN

Ainur D. Karaneeva*, Zhanat Z. Toleubekova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Zabida N. Kurmangalieva, Tolkin K. Quanyshbek

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

*Author correspondent: Ainur D. Karaneeva, e-mail: ajnurk121@gmail.com

KEY WORDS

Contour swales, UAV photogrammetry, Structure-from-Motion (SfM), digital elevation model (DEM), remote sensing, Sentinel-2, topographic wetness index (TWI), erosion control, soil erosion, slope terrains, Eastern Kazakhstan.

About article:

Received: 16.02.2026

Revised: 25.06.2026

Accepted: 25.08.2026

Published: 01.10.2026

ABSTRACT

The article examines the potential application of high-resolution digital elevation models and satellite data for the design and remote monitoring of contour swales on sloping territories of Eastern Kazakhstan. The morphometric basis of the study was developed using UAV survey data processed with Structure-from-Motion (SfM) algorithms and the generation of a digital elevation model with a spatial resolution of 0.1 m. In addition, ALOS AW3D30 data and Sentinel-2 Level-2A multispectral imagery were used.

The study included an analysis of morphometric terrain parameters and topographic indices characterizing moisture conditions and slope erosion susceptibility. It was established that slopes exceeding 5° increase the risk of surface runoff concentration and local erosion, requiring highly accurate alignment of contour swales along contour lines. A comparison of the Topographic Wetness Index (TWI) with the distribution of vegetation cover derived from satellite data revealed relationships between terrain features, moisture conditions, and vegetation patterns within the study area.

The study also demonstrated that the use of Sentinel-2 data for monitoring contour swales is complicated by the mixed-pixel effect caused by the mismatch between swale dimensions and the spatial resolution of satellite imagery. In this regard, the use of spectral mixture analysis methods and further investigation of soil and vegetation spectral characteristics are considered promising.

The research demonstrates the potential for integrated use of high-resolution terrain models and satellite data for the remote assessment of anti-erosion structures under the environmental conditions of Eastern Kazakhstan.

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