

УДК 631.58:528.9

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-2-115-125>

## Мониторинг и оценка возможности появления эрозионных процессов на землях сельскохозяйственного назначения

Л. Т. Бабкенова<sup>1✉</sup>, А. В. Дубровский<sup>2</sup>, Н. К. Унышева<sup>1</sup>, В. Н. Москвин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Казахский агротехнический исследовательский университет,  
г. Астана, Республика Казахстан

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: Nurlygul\_kosherbayevna@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрена технология геоинформационного мониторинга деградационных процессов сельскохозяйственных угодий, связанных с эрозией почв. Объектом исследования является Шортандинский район, расположенный в Акмолинской области Республики Казахстан. Исследование состояния сельскохозяйственных земель, учитывая их уникальность и невосполнимость, является важной задачей, имеющей государственное значение. В условиях обширных территорий Казахстана 9 % площади страны занимают пашни, 27 % – сенокосы и пастбища, в связи с этим рациональное использование сельскохозяйственных земель становится критически важным направлением территориального управления. Проведенные исследования основаны на интеграции данных цифровой модели рельефа, дистанционного зондирования Земли, тематических геоинформационных баз данных и физических параметров территории (геология, морфология рельефа, тип почвы, климат). В результате были определены зоны деградации почв, ключевым фактором которой является эрозия. Для оценки эрозионного риска применялись широко используемые в практике землепользования модели USLE (Universal Soil Loss Equation) и RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), с акцентом на фактор противоэрозионных мероприятий (P) в уравнении RUSLE, отражающий эффективность мер по снижению эрозии. На основе полученных данных построена тематическая карта землепользования Шортандинского района. Анализ спутниковых снимков, проведенный в связи с отсутствием данных о проводимых агротехнических мероприятиях, выявил различия в применении противоэрозионных практик: на некоторых участках сельскохозяйственных угодий наблюдались работы по высадке кустарников и обработке почвы против естественного стока, тогда как на других – отсутствие каких-либо защитных мер. Полученные данные сопоставлены с результатами геоинформационного анализа, использующего модели эрозионного риска. В итоге, исследование представляет результаты мониторинга и оценки вероятности возникновения эрозионных процессов, ведущих к ухудшению качества почвы на примере Шортандинского района Республики Казахстан.

**Ключевые слова:** мониторинг земельных ресурсов, сельскохозяйственные земли, данные дистанционного зондирования Земли, географические информационные системы, геоинформационное моделирование, устойчивое территориальное развитие, модели оценки риска эрозии почвы, противоэрозионные мероприятия

### Для цитирования:

Бабкенова Л. Т., Дубровский А. В., Унышева Н. К., Москвин В. Н. Мониторинг и оценка возможности появления эрозионных процессов на землях сельскохозяйственного назначения. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 2. С. 115–125. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-2-115-125>

## Monitoring and assessment of agricultural land erosion risk

L. T. Babkenova<sup>1✉</sup>, A. V. Dubrovsky<sup>2</sup>, N. K. Unysheva<sup>1</sup>, V. N. Moskvina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: Nurlygul\_kosherbayevna@mail.ru

**Abstract.** The article presents a geospatial monitoring technology for degradation processes in agricultural lands driven by soil erosion. The study focuses on Shortandy district in Akmola region, Republic of Kazakhstan. Given the unique and irreplaceable nature of agricultural lands, their condition assessment is of a critical national priority. In Kazakhstan, where arable lands comprise 9 % of the total area and hayfields/pastures 27 %, rational land use is essential for territorial management. The research integrates digital elevation models, remote sensing data, thematic geospatial databases, and physical parameters (geology, relief morphology, soil types, climate). This enabled identification of soil degradation zones, predominantly due to erosion. Erosion risk was quantified using two land management models: USLE (Universal Soil Loss Equation) and RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), with particular emphasis on RUSLE's P factor, which quantifies the efficacy of erosion control practices. A thematic land-use map of Shortandy district was produced based on these data. Satellite imagery analysis revealed heterogeneous erosion control adoption: some plots showed shrub planting and contour plowing aligned against natural runoff, whereas others lacked protective measures. Findings were validated against geospatial erosion risk modeling. The study delineates monitoring and assessment results for erosion-prone processes impairing soil quality, using Shortandy district as a case study.

**Keywords:** monitoring of land resources, agricultural lands, remote sensing data, geographic information systems, geoinformation modeling, sustainable territorial development, soil erosion risk assessment models, anti-erosion measures

### For citation:

Babkenova L. T., Dubrovsky A. V., Unysheva N. K., Moskvina V. N. (2026). Monitoring and assessment of agricultural land erosion risk. *Vestnik SSUGiТ [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 2. pp. 115–125. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-2-115-125>

### Введение

Мониторинг земельных ресурсов представляет собой критически важную задачу, так как земля является уникальным и невозполнимым ресурсом, особенно для Казахстана с его обширными территориями [1]. В условиях углубляющейся проблемы деградации почв предотвращение появления эрозии, оврагообразования и потери плодородного слоя в результате водной эрозии становится особенно актуальным. Внедрение современных геоинформационных технологий для наблюдения за состоянием земель и происходящими негативными процессами является необходимым шагом к рациональному использованию земельных ресурсов. На сегодняшний день основная проблема заключа-

ется в неэффективном использовании сельскохозяйственных угодий, что требует создания действенной системы контроля состояния земельного фонда и оперативного распознавания появления процессов деградации почвы. Результаты анализа подтверждают необходимость расширения масштабов мониторинговых работ на территории республики для оперативного выявления и решения возникающих проблем, таких как эрозия почвы и потеря плодородного слоя [2].

Использование сельскохозяйственных земель имеет глобальное (сохранение экосистем) и локальное (продовольственная безопасность государства) значение, и управление этими ресурсами должно основываться на эффективном анализе и контроле их состояния, чтобы избежать деградации почв. Инте-

грация данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных систем (ГИС) представляет собой мощный инструмент для выявления земель, подверженных эрозии, и позволяет проводить всесторонний анализ состояния территорий [3–5].

Эффективное применение геоинформационного мониторинга поможет не только выявить, но и помочь предотвратить почвенную эрозию и оврагообразование. Планирование почвозащитных мероприятий средствами ГИС существенно повышает устойчивость сельскохозяйственных угодий к прогрессирующему эрозионным процессам, обеспечивая сохранение плодородного слоя. Настоящее исследование направлено на апробацию технологии геоинформационного анализа эрозионных процессов, для формирования и реализации мер по сохранению земельных ресурсов и усовершенствованию системы мониторинга эрозии сельскохозяйственных земель в Казахстане, способствуя устойчивому развитию территорий и охране окружающей среды.

### Методы и материалы

Объектом исследования являются земельные ресурсы Шортандинского района Акмолинской области [6]. В ходе исследования были использованы методы сравнительного анализа, сопоставления, теоретического обобщения и моделирования. Проведен обзор отечественных и зарубежных научных публикаций, посвященных современным подходам к разработке и применению цифровых моделей. Было рассмотрено несколько моделей для оценки риска эрозии почвы, среди которых наиболее широко применяются универсальная модель потерь почвы (USLE) [7, 8] и её усовершенствованная версия (RUSLE) [9–12]. Цифровая модель рельефа (ЦМР) была создана на основе спутниковых снимков, полученных в ходе миссии SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) [13, 14].

При проведении исследований применена геоинформационная система ArcGIS и модуль ModelBuilder [15].

### Результаты

Проблема эрозии почв и её связей с атмосферными осадками становится все более ак-

туальной в условиях изменений климата и антропогенной нагрузки на экосистемы. В данном исследовании применен метод кригинга для интерполяции данных о количестве атмосферных осадков, что позволило выявить закономерности в распределении осадков. Результаты интерполяции, на основе данных о количестве атмосферных осадков, были дополнены ежемесячным компонентом переменных данных CRU TS версии 4.08 в частности, показателями PRE (атмосферные осадки) [16–18]. На основе этих данных был рассчитан среднемесячный R-фактор, характеризующий эрозионную активность, для каждой станции наблюдения. В рамках исследования также были получены двенадцать глобальных ежемесячных карт [19–20], отражающих пространственное распределение эрозионной активности за десятилетний период с 2013 по 2023 г. Каждая карта включает 120 временных каналов, многовременные данные, полученные в разные временные точки, для мониторинга изменений на поверхности Земли. Такие данные позволяют анализировать динамику различных процессов, включая эрозию почв, что позволяет провести детальный анализ динамики эрозионных процессов в глобальном масштабе. Согласно представленным данным, среднегодовое количество осадков в районе Шортанды колеблется от 300,4 до 331,2 мм, причем наибольшие значения зафиксированы в восточной части региона. На основе анализа годовых данных была составлена карта эрозионной активности, которая показывает, что значения R-фактора варьируются от 27 до 63 МДж мм га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup> (рис. 1).



Рис. 1. Распределение эрозионной силы осадков

Наиболее высокие показатели отмечаются в восточной части области, тогда как в запад-

ных и юго-западных районах наблюдается постепенное снижение потенциала осадков для развития эрозии почв [16].

Типы почв Шортандинского района отражают разнообразие почвенного покрова региона, обусловленное климатическими, геоморфологическими и гидрологическими факторами. Преобладание черноземов и каштановых почв подчеркивает значительный сельскохозяйственный потенциал области [16].

Фактор эродированности почвы  $K$  учитывает такие свойства почвы, как гранулометрический состав, содержание органического вещества, структуру и водопроницаемость (табл. 1) [9–11].

Для расчёта фактора  $K$  используется следующая формула:

$$K = fcsand * fclsil * forgC * fhisand ,$$

где  $fcsand$  – фактор, который представляет эродированность почвы с высоким содержанием крупного песка и высокие значения для почв с небольшим содержанием песка;

$fclsil$  – фактор, который отражает эродированность для почв с высоким соотношением глины и ила;

$forgC$  – фактор, который снижает эродированность почвы с высоким содержанием органического углерода;

$fhisand$  – фактор, который показывает эродированность для почв с высоким содержанием песка.

**Таблица 1.** Расчет коэффициента  $K$

Обозначение единицы почвы	Процент песка в верхнем слое почвы	Процент ила в верхнем слое почвы	Процент глины в верхнем слое почвы	Процент органического углерода (OC) в верхнем слое почвы	$fcsand$	$fclsil$	$forgC$	$fhisand$	$K$
СК	41,6	26,6	31,8	1,32	0,200	0,790	0,84	0,999	0,133
КН	54,5	27,3	18,2	2,16	0,200	0,858	0,75	0,998	0,129

Принятые обозначения – СК (Calcic Chernozems) – кальциевые черноземы; КН (Kastanozems) – нормальные каштановые почвы.

Распределение коэффициента эрозии почвы на примере Шортандинского района Акмолинской области показано на рис. 2.



**Рис. 2.** Распределение коэффициента эрозии почвы

Длина и уклон каждого сегмента измеряются, а  $LS$ -фактор для каждого сегмента вычисляется с использованием метода RUSLE.

Известно, что  $LS$ -фактор варьируется по всей территории в зависимости от существующих факторов  $C$  (фактор управления растительным покровом) и  $P$  (фактор противоэрозионных мероприятий), но, как правило, чем круче уклоны и объем склонового потока, тем выше  $LS$ -фактор. Процент уклона колеблется от 0 до 109 % в исследуемой области (рис. 3), где стандартное отклонение  $LS$  достигло высокого значения в некоторых местах, что указывает на значительную разницу в рельефе местности.



**Рис. 3.** Цифровая модель фактора длины-уклона ( $LS$ ) Шортандинского района

C-фактор отражает положительное влияние растительного покрова на устойчивость почвенных частиц, что способствует снижению эрозии. Это связано с тем, что растительность поглощает кинетическую энергию дождевых капель и уменьшает поверхностный сток. В связи с этим для каждого типа земельного покрова можно определить соответствующее значение  $C$  [17]. Однако, например, выращивание зерновых культур может приводить к снижению биомассы и урожайности из-за вымывания питательных веществ, необходимых для роста растений, а также образования борозд на поверхности почвы.

Данные о видах землепользования помогают глубже изучить особенности земель и их состояние, включая структуру посевов, лесные массивы, водные объекты. Эти сведения имеют ключевое значение для планирования мероприятий по предотвращению или снижению эрозии почвы. Современные технологии, такие как дистанционное зондирование и ГИС, позволяют создавать тематические карты землепользования и земельного покрова для конкретных регионов [18].

На исследуемой территории выделено 7 участков, соответствующих различным классам землепользования (рис. 4).

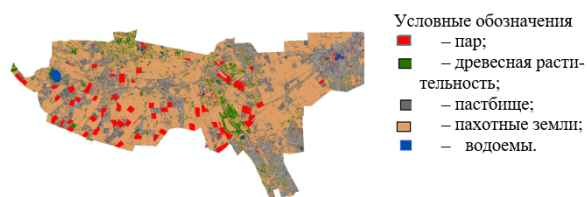


Рис. 4. Виды землепользования на территории Шортандинского района

Фактор управления культурой землепользования (C-фактор) варьируется в зависимости от типа землепользования и принимает значения от 0 (полная защита от эрозии, например, густой лес) до 1 (полное отсутствие защиты, например, почва без защитного покрова), в исследуемом объекте среднее значение фактора – 0,43 (рис. 5). На основе карты землепользования и значений C-фактора построена тематическая карта видов землепользования.

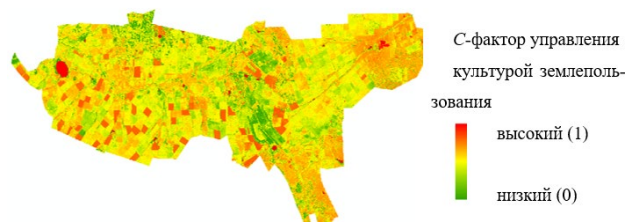


Рис. 5. C-фактор Шортандинского района

Фактор противоэрозионных мероприятий ( $P$ ) в универсальном уравнении потерь почвы (RUSLE) отражает эффективность применяемых мер по снижению эрозии. Он определяется как отношение величины потери почвы на участке с конкретными противоэрозионными практиками к потере почвы при обработке вдоль склона без таких мероприятий. Значение фактора ( $P$ ) варьируется от 0 до 1:

$P = 1$ : отсутствие противоэрозионных мероприятий;

$P < 1$ : наличие эффективных мер, снижающих эрозию.

Таким образом, фактор  $P$  учитывает влияние противоэрозионных мероприятий на снижение потерь почвы, позволяя оценить их эффективность в конкретных условиях [16].

В связи с отсутствием информации о проведении агротехнических мероприятий на территории сельскохозяйственных полей Акмолинской области, в процессе дешифровки спутниковых снимков Ladsant 8 от 11.07.2023 было выявлено, что на отдельных участках осуществлялись работы по высадке кустарников и обработке пахотных земель в направлении, противоположном естественным почвенным потокам. В то же время на других участках не было зафиксировано проведение мероприятий, направленных на защиту почвенного покрова (рис. 6).

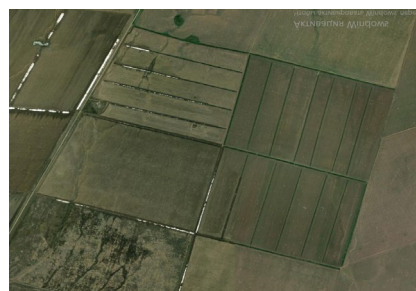


Рис. 6. Спутниковые снимки Ladsant 8 полей с признаками проведения противоэрозионных мероприятий

Значение  $P$  принято равным 0,5 для всей исследуемой территории, что обусловлено отсутствием мероприятий по борьбе с эрозией. Не все фермеры используют методы противозерозионной обработки почвы и контурной вспашки, что приводит к появлению процессов деградации почвы. На основании проведенных исследований установлено, что интенсивность потери плодородия почв на территории изучаемого района соответствует среднему уровню и составляет 2,1 тонны на гектар в год. Анализ данных показал, что в пределах исследуемого объекта порядка 81,36 % площади характеризуются низкими или умеренными темпами потери плодородия, варьирующимися в диапазоне от 0 до 20 т га год. При этом на отдельных участках зафиксированы критические показатели потери плодородия, достигающие 18,64 % от общей площади, где потери плодородного слоя почвы составляют до 40 т га год.

Тематическая карта распределения фактора  $A$  – потери почвы на единицу площади в год ( $t\ га^{-1}год^{-1}$ ). Для пространственной оценки эрозионной опасности была выполнена классификация территории по коэффициенту потерь почвы (фактор  $A$ ) на единицу площади в год. Расчёты выполнены на основе цифровой модели рельефа, данных уклона и факторов растительности (NDVI). В результате была построена карта эрозионных участков, позволяющая наглядно представить распределение степеней эрозионного воздействия и выделить территории с критическим уровнем потерь почвы (свыше 20 т/га·год). На рис. 7 представлена классификация участков по значениям коэффициента  $A$ .



**Рис. 7.** Эрозионные участки по коэффициенту фактора  $A$

Для количественной оценки состояния сельскохозяйственных угодий была прове-

дена классификация по уровням потерь почвы в результате эрозионных процессов. Расчёт осуществлялся на основе пространственного анализа коэффициента потерь (фактора  $A$ ), определяющего массу смытого почвенного слоя с единицы площади за год. Это позволяет выявить долю территорий, подверженных различной степени эрозии, и оценить масштабы потенциальных потерь почвенного ресурса.

В табл. 2 представлено распределение сельскохозяйственных угодий по категориям эрозионной опасности, выраженное в процентах и площади ( $км^2$ ).

**Таблица 2.** Распределение площадей сельскохозяйственных угодий по степени эрозионной опасности и уровням потерь почвы

ПП	Площадь, км	Потери почвы на единицу площади в год, т / га	%
1	2452,2	0-5	55,49
2	1143,71	5-20	25,87
3	823,64	20-40	18,64
Всего	4419,55		100

Анализ данных по эрозионной опасности на территории сельскохозяйственных угодий показал неоднородное распределение потерь почвы в зависимости от условий рельефа и состояния земель. Согласно классификации, наибольшая часть площади — 55,49 % ( $2\ 452,2\ км^2$ ) — характеризуется минимальными потерями почвы, не превышающими 5 т/га в год, что указывает на относительную устойчивость этих участков к эрозионным процессам.

Участки с умеренным уровнем потерь (5–20 т/га) занимают  $1\ 143,71\ км^2$ , что составляет 25,87 % общей площади. Эти территории требуют внедрения профилактических агротехнических мероприятий, таких как контурная обработка почвы, минимизация механического воздействия и восстановление растительного покрова.

Наиболее подверженными эрозии оказались поля с потерями от 20 до 40 т/га, которые составляют  $823,64\ км^2$  или 18,64 % от общей площади. Для этих земель необходимы первоочередные противозерозионные меры, включая организацию буферных полос, посадку многолетних трав и временный вывод из активного сельскохозяйственного оборота.

Таким образом, полученные результаты позволяют выделить приоритетные участки для охранных мероприятий и включить оценку эрозионной опасности в систему планирования землепользования.

Полученные значения фактора потери почвы свидетельствуют о наличии локальных зон с интенсивным процессом эрозии, требующих принятия дополнительных мер по сохранению почвенного покрова. Агрозащитные мероприятия могут включать: контурную вспашку, создание террас, посадку лесополос и защитных насаждений, мульчирование, создание водосборных канав и дренажных систем, применение севооборота, сохранение растительного покрова, использование эрозионно-устойчивых культур. Важно повысить осведомленность фермеров о методах устойчивого земледелия, что обеспечит более эффективное использование земельных ресурсов и позволит предотвратить дальнейшую деградацию почв. Следует также учитывать долгосрочные тенденции изменений эрозионных процессов, которые являются результатом взаимодействия различных факторов, включая климатические изменения, человеческую деятельность, динамику ландшафтов и экосистем и др. Эти факторы направлены как на усиление, так и на снижение эрозионных рисков. Например, процессы, связанные с глобальным потеплением, вызывают изменение количества осадков и поверхностного стока. Процессы урбанизации также ведут к уплотнению почвы, уменьшению естественного растительного покрова и, как следствие, усилению эрозионных процессов. Важно учитывать многообразие факторов при планировании использования земельных ресурсов и разработки стратегий борьбы с эрозией. Применение комплексного подхода, включающего защиту экосистем и адаптацию к изменению климата, может значительно смягчить негативные последствия эрозионных процессов.

### ***Обсуждение***

Результаты мониторинговых исследований сельскохозяйственных территорий используются для разработки комплекса противоэрозионных мероприятий и рекомендаций. Данный

подход согласуется с концепциями землепользования, направленными на формирование экологически устойчивых агроландшафтов [21]. Предлагаемые в статье модели для оценки риска эрозии почвы могут быть использованы в качестве инструмента цифрового моделирования эрозионных свойств агроландшафтов.

Одним из ключевых преимуществ, рассмотренных в статье моделей для оценки риска эрозии почвы, является их гибкость, выражающаяся в возможности расширения набора входных параметров, например, как предлагается в работе [22], это могут быть уровень засоления, кислотность, влажность, плотность почвы. Расширение параметров допустимо при условии научного обоснования влияния каждого дополнительного фактора на исследуемый процесс. Такой подход позволяет учитывать большее количество переменных, что повышает детализацию и достоверность анализа. Кроме того, модели поддерживают обработку значительных объемов статистических данных, что особенно важно при работе с крупномасштабными проектами или исследованиями, требующими высокой точности, а также разработки комплекса агротехнических мероприятий.

Как отмечается в работе [23], «для внедрения почвозащитного посменного сеяния сельскохозяйственных культур требуется эрозионно-почвенная карта». Картографо-математическое моделирование позволяет определить оптимальные места для размещения различных сельскохозяйственных культур в рамках почвозащитного севооборота. Предложенный подход к севообороту учитывает особенности почвенного покрова и минимизирует риск эрозии. Дальнейшая работа предполагает уточнение границ зон эрозии и разработку детальных рекомендаций по выбору культур для каждой зоны. Это позволит повысить эффективность почвозащитных мероприятий и увеличить урожайность сельскохозяйственных культур. Полученные результаты могут быть использованы для планирования землепользования в аналогичных регионах с подобными почвенными условиями.

Вместе с тем, ряд авторов поддерживают рассмотренные в статье подходы к построению моделей эрозионных процессов и предлагают

их дальнейшее использование в экономических моделях прогнозирования риска возникновения эрозии на основании «подсчета суммы эколого-экономических потерь, возникших в результате эрозии почвы» [24]. Такой подход позволяет количественно оценить экономический ущерб от эрозии и обосновать необходимость принятия мер по её предотвращению.

Сравнение полученных данных с работами, проводимыми в других регионах, показывает большую сходимость результатов при комплексном учете факторов эродированности почвы. Примером могут служить работы по исследованию агрогенной деградации почв и почвенного покрова Красноярской лесостепи [25]. В работе [26] отмечается, что «при переходе на контурно-ландшафтное земледелие повышаются плодородие склоновых земель», данная технология апробирована на сельскохозяйственных землях степной зоны южного Урала, а также при организации систем адаптивно-ландшафтного земледелия Ростовской области [27].

Дальнейшие исследования эрозионных процессов должны быть направлены на повышение точности моделей и учет региональных особенностей сельскохозяйственных земель. Комплексный подход, включающий как экологические, так и экономические аспекты, позволит эффективно управлять рисками возникновения эрозии почв.

### **Заключение**

В проведенном исследовании выполнены мониторинг и оценка возможности появления

эрозионных процессов, ведущих к потере качества почвы. Инструмент ModelBuilder предоставил возможность выполнения эффективного и удобного анализа и классификации сельскохозяйственных территорий. Данный инструмент обеспечивает детальное исследование земельных участков, определение их ключевых характеристик и последующую категоризацию в соответствии с заданными критериями. В рамках проведенных исследований была разработана база геоданных «Классификация сельскохозяйственных земель», содержащая наборы классов пространственных объектов, включая растровые каталоги «Цифровая модель рельефа», «Grid-модели» и «Буферные зоны».

Применение данного программного решения позволяет пользователю оперативно получать точные данные о состоянии сельскохозяйственных угодий, что способствует повышению обоснованности принимаемых решений в сфере планирования и управления земельными ресурсами.

Современные технические средства и геотехнологии предоставляют возможность автоматизации аналитических процессов, что существенно ускоряет получение оценочных данных и минимизирует вероятность возникновения ошибок, связанных с человеческим фактором. Это достигается за счет использования алгоритмов, способных обрабатывать большие объемы информации с высокой точностью и воспроизводимостью результатов.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Сводный аналитический отчет о состоянии и использовании земель. Республики Казахстан. Комитет по управлению земельными ресурсами Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, Астана, 2024. С. 318.
2. Бабкенова Л. Т. Статистический анализ использования земель сельскохозяйственного назначения. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 3 : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесостроительство, управление недвижимостью». Новосибирск : СГУГиТ, 2022. С. 56–62.
3. Оюунханд Бямба, Касьянова Е. Л. Картография и геоинформатика // Вестник СГУГиТ. 2021. Т. 26, № 5. С. 119–125. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-5-119-125.
4. Китаева М. А., Дробинина Е. В. Автоматизация обработки цифровой модели рельефа при решении задач хозяйственного освоения закарстованных территорий. Геоинформатика. 2023. № 4. С. 4–14. DOI: 10.47148/1609-364X-2023-4-4-14

5. Дубровский А. В. Методологическое и теоретическое обоснование принципов эффективного использования земельных ресурсов на основе геоинформационных технологий : автореферат дис. ... д-ра техн. наук. 2024. С. 17.
6. Акмолинская область [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> дата обращения: 21.02.2025.
7. Zhou W., Wu B. Assessment of soil erosion and sediment delivery ratio using remote sensing and GIS: A case study of upstream Chaobaihe River catchment, north China. *Int. J. Sediment Res.* 2008. Art. 23. P. 167–173. <https://doi.org/10.1002/ldr.1083>.
8. Ebron J.G., Lim T.A. "Siltation Modeling in Laguna Lake: A Case Study of Brgy. Palingon, Calamba City. International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE). 2024. P.1–6. DOI: 10.1109/ICTKE62841.2024.10787196.
9. Yuan S., Xu Q., Zhao K., Zhou Q., Wang X., Zhang X., Chen W., Ji X. Dynamic analyses of soil erosion and improved potential combining topography and socio-economic factors on the Loess Plateau. *Ecol. Indic.* 2024. Art.60 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111814>.
10. Andrew K. Marondedze and Brigitta S. Assessment of Soil Erosion Using the RUSLE Model for the Epworth District of the Harare Metropolitan Province, Zimbabwe. *Sustainability.* 2020. Art 12(20), 8531. <https://doi.org/10.3390/su12208531>.
11. Shamshad, A., Azhari, M.N., Isa M.H., Hussin W.M.A.W.; Parida B.P. Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI30 index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. *Catena.* 2007. Art. 72. P. 423–432. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.08.002>.
12. Hamza I., Rachid M., Bouamar B., Rachid M., Ahmed D., Derradji A. Soil erodibility mapping using three approaches in the Tangiers province –Northern Morocco. *International Soil and Water Conservation Research* 2016. Art. 4. P. 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.07.001>.
13. FAO Soils Portal [Электронный ресурс]. URL <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/> дата обращения: 21.02.2025.
14. Kobrick M., Crippen R. SRTMGL1 v003. NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second [Электронный ресурс]. URL: <https://lpdaac.usgs.gov/products/srtmgl1v003/> дата обращения: 21.02.2025.
15. Курлович Д. М. Использование Model Builder при разработке набора инструментов «Структурно-геоморфологический ГИС анализ» для ArcToolbox ГИС ArcGIS 9.3. Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии : материалы международного научного конгресса 2011. Ч. 2. С. 193–198.
16. FAO soils portal, FAO/UNESCO Soil Map of the World. URL <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/>
17. Samira B., Kamila B. H., Abderrazak B., Abdeldjalil B. Identification of zones at risk of erosion by the combination of a digital model and the method of multi-criteria analysis in the arid regions: case of the Bechar Wadi watershed. *Applied Water Science.* 2020. Art.121. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01191-6>.
18. Ganasri B. P. and Ramesh H. Assessment of Soil Erosion by RUSLE Model Using Remote Sensing and GIS—A Case Study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 2016. Art. 7. P. 953–961. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>.
19. Datasets Climatic Research Unit (CRU), [Электронный ресурс]. URL <https://www.climateurope.eu/datasets-climatic-research-unit-cru/>. дата обращения: 21.02.2025.
20. Joint research centre, Global Rainfall Erosivity, Climate Research Unit . [Электронный ресурс]. дата обращения: 21.02.2025.
21. Рыбалкин Б. А. К вопросу о создании экологически устойчивых агроландшафтов Воронежской области. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета.* 2018. № 3. С. 40–44.
22. Федотова А. В., Яковлева Л. В., Сорокин А. П. Оценка состояния деградированных почв ландшафтов дельты Волги. *Естественные науки.* 2013. № 1(42). С. 28–36.
23. Акперова У. З. Эрозия почвы водой и меры борьбы с ней. *Евразийский союз ученых.* 2020. № 8–5(77). С. 45–51. DOI 10.31618/ESU.2413-9335.2020.5.77.986.
24. Чикалова Л. С. Эрозия почвы как фактор, оказывающий влияние на урожайность продукции сельского хозяйства. *Экология и строительство.* 2023. № 3. С. 13–20. DOI 10.35688/2413-8452-2023-03-002.

25. Шпедт А. А., Трубников Ю. Н., Жаринова Н. Ю. Агрогенная деградация почв и почвенного покрова Красноярской лесостепи. Почвоведение. 2017. № 10. С. 1253–1261. DOI 10.7868/S0032180X17100124.
26. Скороходов В. Ю., Максюттов Н. А., Зоров А. А. Сохранение плодородия и защита почвы от эрозии в степной зоне Южного Урала. Плодородие. 2021. № 6(123). С. 22–25. DOI 10.25680/S19948603.2021.123.06.
27. Мищенко А. Е., Гаевая Э. А., Кисс Н. Н., Тарадин С. А. Защита почв от деградации в адаптивно-ландшафтном земледелии Ростовской области. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 3(53). С. 11–14.

## REFERENCES

1. *Svodnyj analiticheskij otchet o sostoyanii i ispol'zovanii zemel'. Respubliki Ka-zahstan. Komitet po upravleniyu zemel'nymi resursami Ministerstva sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazahstan, Astana, 2024. С. 318. [in Russian].*
2. Babkenova L.T. (2022). Statisticheskij analiz ispol'zovaniya zemel' sel'skohozyaj-stvennogo naznacheniya. *Interekspos Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* Vol. 3. P. 56–62. [in Russian].
3. Oyuunhand B., Elena L. K. (2021). Kartografiya i geoinformatika. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* T.26, № 5. С. 119–125. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-5-119-125. [in Russian].
4. Kitaeva M. A., Drobinina E. V. (2023). Avtomatizaciya obrabotki cifrovoj modeli rel'efa pri reshenii zadach hozyajstvennogo osvoeniya zakarstovannyh territorij. *Geoinformatika [Geoinformatika]* №4.- P. 4–14. DOI: 10.47148/1609-364X-2023-4-4-14. [in Russian].
5. Dubrovskij A. V. (2024). Metodologicheskoe i teoreticheskoe obosnovanie principov effektivnogo ispol'zovaniya zemel'nyh resursov na osnove geoinformacionnyh tekhnologij. Avtoreferat. P. 17. [in Russian].
6. Akmolinskaya oblast' [Elektronnyj resurs] Retrieved from [https://ru.wikipedia.org/wiki/data obrashcheniya: 21.02.2025](https://ru.wikipedia.org/wiki/data_obrashcheniya:21.02.2025).
7. Zhou W., Wu B. (2008). Assessment of soil erosion and sediment delivery ratio using remote sensing and GIS: A case study of upstream Chaobaihe River catchment, north China. *Int. J // Sediment Res*, Art. 23. P.167–173. <https://doi.org/10.1002/ldr.1083>
8. Ebron J. G., Lim T. A. (2024) Siltation Modeling in Laguna Lake: A Case Study of Brgy. Palingon, Calamba City. *International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE)*. P. 1–6. DOI: 10.1109/ICTKE62841.2024.10787196.
9. Yuan S., Xu Q., Zhao K., Zhou Q., Wang X., Zhang X., Chen W., Ji X. (2024). Dynamic analyses of soil erosion and improved potential combining topography and socio-economic factors on the Loess Plateau. *Ecol. Indic.* Art.60 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111814>
10. Andrew K. Marondedze and Brigitta S. (2020). Assessment of Soil Erosion Using the RUSLE Model for the Epworth District of the Harare Metropolitan Province, Zimbabwe. *Sustainability*. Art 12(20), 8531. <https://doi.org/10.3390/su12208531>
11. Shamshad, A., Azhari, M. N., Isa M. H., Hussin W. M. A. W.; Parida B. P. (2007). Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI30 index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. *Catena*. Art.72. P.423–432. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.08.002>.
12. Hamza I., Rachid M., Bouamar B., Rachid M., Ahmed D., Derradji A. (2016). Soil erodibility mapping using three approaches in the Tangiers province –Northern Morocco // *International Soil and Water Conservation Research* Art. 4. P. 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.07.001>.
13. FAO Soils Portal. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faunesco-soil-map-of-the-world/en/>. data obrashcheniya: 21.02.2025.
14. Kobrick M., Crippen R. SRTMGL1 v003. NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second. Retrieved from <https://lpdaac.usgs.gov/products/srtmgl1v003/> data obrashcheniya: 21.02.2025.
15. Kurlovich D. M. (2011). Ispol'zovanie Model Builder pri razrabotke nabora instrumentov «Strukturno-geomorfologicheskij GISanaliz» dlya ArcToolbox GIS ArcGIS 9.3. *Mezhdunarodnyj kongress po informatike: informacionnye sistemy i tekhnologii: Materialy mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa [International Congress on Informatics: Information Systems and Technologies: Proceedings of the International Scientific Congress]* Vol. 2. С. 193–198. [in Russian].

16. FAO soils portal, FAO/UNESCO Soil Map of the World. Retrieved from <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faunesco-soil-map-of-the-world/en/>
17. Samira B., Kamila B. H., Abderrazak B., Abdeldjalil B. (2020). Identification of zones at risk of erosion by the combination of a digital model and the method of multi-criteria analysis in the arid regions: case of the Bechar Wadi watershed. *Applied Water Science*. Art.121. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01191-6>
18. Ganasri, B.P. and Ramesh, H. (2016). Assessment of Soil Erosion by RUSLE Model Using Remote Sensing and GIS—A Case Study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, Art.7. P. 953-961. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>
19. Datasets Climatic Research Unit (CRU), Retrieved from <https://www.climate-europe.eu/datasets-climatic-research-unit-cru/> data obrashcheniya: 21.02.2025.
20. JOINT RESEARCH CENTRE, Global Rainfall Erosivity, Climate Research Unit data obrashche-niya: 21.02.2025.
21. Rybalkin, B. A. (2018). On the issue of creating ecologically sustainable agricultural landscapes in the Voronezh region. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Michurinsk State Agrarian University]*, 3, 40–44 [in Russian].
22. Fedotova, A. V., Jakovleva, L. V., Sorokin, A. P. (2013). Assessment of the state of degraded soils of the Volga Delta landscapes. *Estestvennye nauki [Natural Sciences]*, 1(42), 28-36 [in Russian].
23. Akperova, U. Z. (2020). Soil erosion by water and measures to combat it. *Evrazijskij sojuz uchenyh [The Eurasian Union of Scientists]*, 8–5(77), 45–51 [in Russian].
24. Chikalova, L. S. (2023). Soil erosion as a factor affecting the yield of agricultural products. *Jekologija i stroitel'stvo [Ecology and Construction]*, 3, 13–20 [in Russian].
25. Shpedt, A. A. (2017). Agrogenic degradation of soils and soil cover of the Krasnoyarsk forest-steppe. *Pochvovedenie [Soil Science]*, 10, 1253–1261 [in Russian].
26. Skorohodov, V. Ju., Maksjutov, N. A., Zorov, A. A. (2021). Preservation of fertility and soil protection from erosion in the steppe zone of the Southern Urals. *Plodorodie [Fertility]*, 6(123), 22–25 [in Russian].
27. Mishhenko, A. E., Gaevaja, Je. A., Kiss, N. N., Taradin, S. A. (2015). Protection of soils from degradation in adaptive landscape agriculture in the Rostov region. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University]*, 3(53), 11–14 [in Russian].

### Об авторах

Лаззат Темерхановна Бабкенова – аспирант, преподаватель кафедры геодезии.

Алексей Викторович Дубровский – доктор технических наук, профессор, директор Института кадастра и природопользования.

Нурлыгуль Кошербаевна Уньшева – магистр наук, докторант кафедры землеустройства.

Виктор Николаевич Москвин – доктор технических наук, профессор кафедры кадастра и территориального планирования.

### Author details

Lazzat T. Babenkova – PhD student, Lecturer, Department of Geodesy

Alexey V. Dubrovsky – D.Sc, Professor, Director of the Institute of Cadastre and Natural Resources Management.

Nurlygul K. Unysheva – MSc, PhD student, Department of Land Management

Victor N. Moskvina – D.Sc, Professor, Department of Cadastre and Territorial Planning.

Получено / Received 11.03.2025

Поступила после рецензирования / Revised 12.05.2025

Принята к публикации / Accepted 14.08.2025