

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ РЕКИ БУРЛУК НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА

О.Г. Бесимбаева¹, Е.Н. Хмырова¹, С.П. Бахаева², А.А. Калтаева¹

¹ Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
Караганда, Республика Казахстан, e-mail: alena.khmyrova.rodina@mail.ru

² Кузбасский государственный университет имени Горбачева, Кемерово, Россия

Аннотация: Рассмотрено изменение уровня воды реки Бурлук с использованием цифровой модели рельефа и спутниковых снимков в среде QGIS. Интерес к данной теме связан с тем, что в последние годы все чаще наблюдаются изменения гидрологического режима рек, что может приводить к подтоплениям и другим неблагоприятным последствиям при расположении реки вблизи объектов ведения горных работ и населенных пунктов. В ходе исследования использовались данные цифровой модели рельефа и разновременные спутниковые изображения, на основе которых выполнена обработка и выделение водной поверхности реки с применением водных индексов. Проведена оцифровка русла и анализ рельефа территории. Это позволило проследить, как меняется площадь водного зеркала в разные периоды и какие участки наиболее подвержены затоплению. Результаты показали, что река Бурлук достаточно сильно реагирует на сезонные изменения: в период паводков ее русло расширяется, а в засушливое время – сужается. Использование ГИС-технологий оказалось удобным и наглядным способом для анализа таких процессов и своевременного принятия мер для предупреждения негативных последствий.

Ключевые слова: река Бурлук, цифровая модель рельефа, дистанционное зондирование Земли, QGIS, NDWI, MNDWI, гидрологический мониторинг, паводки.

Для цитирования: Бесимбаева О. Г., Хмырова Е. Н., Бахаева С. П., Калтаева А. А. Оценка изменений уровня воды реки Бурлук на основе применения цифровых моделей рельефа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 10-1. – С. 140–151. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_101_0_140.

Assessment of change of water level in the Burluk River using digital terrain models

O.G. Bessimbayeva¹, E.N. Khmyrova¹, S.P. Bakhaeva², A.A. Kaltaeva¹

¹ Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov,
Karaganda, Republic of Kazakhstan,

² Kuzbass State University named after Gorbachev, Kemerovo, Russia

Abstract: The study assesses the change of the water level in the Burluk River using a digital terrain model and satellite images from OGIS. The interest in this topic is connected with the recent and frequent observations of changing hydrological regime of rivers, which can lead to underflooding and other adverse consequences for the river-adjacent mining operations and

population clusters. The research used the data from a digital terrain model and different-time satellite images for processing and definition of the water surface of rivers with the help of the water indexes. The riverbed was digitalized, and the terrain relief was analyzed. That allowed following the change in the water plane area in different periods of time, and identifying land sites most exposed to flooding. The results show that the Burluk River is highly sensitive to seasonal changes: the riverbed expands during the flood season and narrows in the dry weather season. GIS technologies appear to be a convenient and demonstrative tool for the analysis of such processes and for the prompt decision-making on prevention of their adverse effects.

Key words: Burluk River, digital terrain model, earth remote sensing, QGIS, NDWI, MNDWI, hydrological monitoring, flood seasons.

For citation: Bessimbayeva O. G., Khmyrova E. N., Bakhaeva S. P., Kaltaeva A. A. Assessment of change of water level in the Burluk River using digital terrain models. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(10-1):140-151. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_101_0_140.

Введение

В условиях глобальных климатических изменений и возрастающей антропогенной нагрузки на природные водные объекты особую актуальность приобретает мониторинг гидрологического режима рек. Изменения уровня воды не только оказывают существенное влияние на экосистемы, сельскохозяйственные угодья, инфраструктуру, безопасность населения, но и представляют серьезную опасность для горных выработок в части нарушения устойчивости бортов и отвалов вскрышных пород, особенно в паводковый период. В этой связи реки, расположенные вблизи горных выработок и других техногенных объектов, требуют постоянного детального изучения на основе методов дистанционного мониторинга.

Современные геоинформационные технологии и данные дистанционного зондирования Земли открывают новые возможности для анализа пространственно-временной динамики водных объектов. Использование цифровых моделей рельефа (ЦМР) в сочетании со спутниковыми снимками позволяет проводить оценку изменений уровня воды, выявлять зоны затопления и моделировать возможные сценарии развития паводко-

вых процессов. Применение программного обеспечения QGIS обеспечивает эффективную обработку, визуализацию и анализ данных, что делает этот подход доступным и практико-ориентированным.

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения точности и оперативности оценки изменений уровня воды рек, расположенных вблизи горных выработок, а также внедрения современных геоинформационных методов в гидрологические исследования. Полученные результаты могут быть использованы для мониторинга водных ресурсов, прогнозирования паводков и принятия управленческих решений в сфере создания защитных сооружений для обеспечения устойчивости откосов уступов и бортов карьеров, отвалов. Одной из основных причин оползней является насыщение водой пород приобортовой зоны карьера. При разгрузке грунтовых вод в сторону карьерной выработки происходит сразу несколько деструктивных физико-механических изменений пород, которые приводят к потере их устойчивости.

Целью работы является оценка изменений уровня воды реки Бурлук на основе цифровой модели рельефа и спут-

никовых данных с использованием возможностей ГИС-среды QGIS. Для достижения поставленной цели выполнены анализ ЦМР, обработка спутниковых изображений, а также пространственный анализ изменений водной поверхности реки в различные временные периоды.

Методы исследования

Проблема мониторинга и оценки изменений уровня воды рек получила широкое освещение в трудах как зарубежных, так и отечественных исследователей. В современной научной литературе данный вопрос рассматривается преимущественно в контексте развития методов дистанционного зондирования Земли, геоинформационных систем и цифрового моделирования рельефа, что позволяет проводить пространственно-временной анализ гидрологических процессов с высокой степенью достоверности.

Значительный вклад в развитие теоретических и методических основ применения геоинформационных технологий внесли зарубежные исследователи. В работе А.П. Карпика, И.Г. Ганагиной и О.А. Опритовой [1] рассматривается

оценка точности глобальных цифровых моделей рельефа, что имеет важное значение для их дальнейшего применения в пространственном анализе природных процессов. Использование данных дистанционного зондирования для анализа водных объектов представлено в работе J. Pekel и соавторов [2], посвященной детальному картографированию поверхностных вод и изменению их состояния со временем. Полученные авторами результаты подтверждают возможность применения спутниковых данных для изучения пространственно-временной динамики водных объектов.

Большое внимание в зарубежных исследованиях уделяется использованию спутниковых данных для мониторинга водных объектов. Современные подходы к оценке гидрологических рисков также включают интеграцию геоинформационных технологий и методов пространственного анализа. В работе Zelalem Demissie и соавторов [3] рассматривается картографирование территорий, подверженных затоплению с использованием методов ГИС и анализа пространственных факторов.

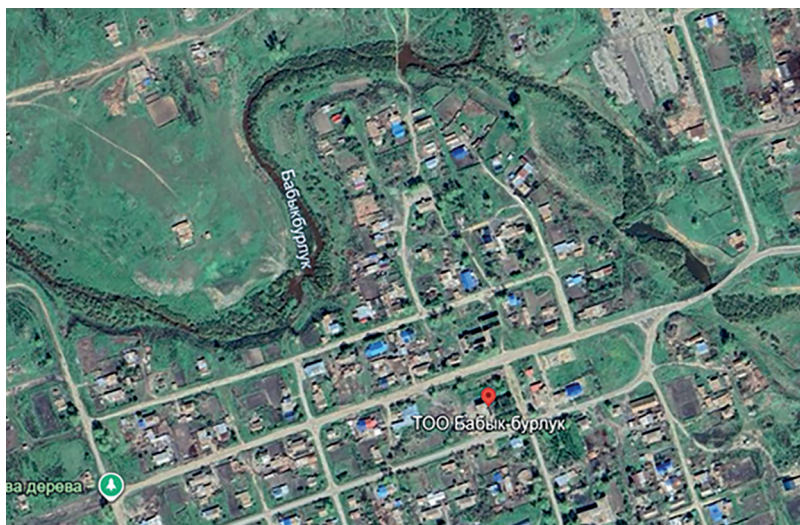


Рис. 1. Область исследований

Fig. 1. Research area

В отечественной научной литературе также активно развиваются исследования, направленные на применение дистанционного зондирования, ГИС для анализа гидрологических процессов. Так, в работе П.Ю. Орлова [4] рассматриваются возможности геоинформационного моделирования, а в исследованиях Р.С. Харазми и Л.Н. Чабан [5] показано применение автоматизированной обработки мультиспектральных космических снимков для анализа динамики природных экосистем.

В работах казахстанских исследователей В.Г. Бондур, Л.Н. Захарова и др. [6] подчеркивается важность мониторинга оползневого процесса берега реки Бурей по данным интерферометрической съемки радаров L-диапазона.

Настоящие исследования, посвященные бассейну реки Бурлук, показывают, что уровень воды характеризуется выраженной сезонной изменчивостью, связанной с таянием снежного покрова и режимом осадков (см. рис. 1).

Необходимо отметить важность использования цифровых моделей рельефа и спутниковых данных для объективной оценки изменений водной поверхности реки Бурлук и прогнозирования возможных последствий паводков, которые могут негативно влиять на состояние устойчивости бортов карьера строительных материалов, расположенного на расстоянии до 5 км от русла исследуемой реки.

Таким образом, анализ научной литературы свидетельствует о том, что использование ЦМР и спутниковых данных в среде ГИС является эффективным инструментом для оценки изменений уровня воды рек [7].

В процессе исследования использованы геоинформационные, дистанционные и аналитические методы, направленные на оценку изменений уровня воды реки Бурлук на основе цифровых моде-

лей рельефа и спутниковых данных в программной среде QGIS.

Исходными материалами для исследования послужили цифровая модель рельефа, полученная из открытых источников (SRTM, ASTER GDEM), а также спутниковые снимки среднего пространственного разрешения (KazEOSat-2, PeruSAT-1) за различные временные периоды. Дополнительно использовались картографические и гидрологические данные по бассейну реки Бурлук. Все пространственные данные были приведены к единой системе координат и масштабу для обеспечения корректности анализа.

Предварительная обработка спутниковых данных включала радиометрическую и атмосферную коррекцию изображений, маскирование облачности и обрезку снимков по границам исследуемой территории. Для выделения водной поверхности применялись спектральные водные индексы, такие как NDWI и MNDWI, вычисленные с использованием инструментов QGIS и плагина Semi-Automatic Classification Plugin [8, 9].

Цифровая модель рельефа использовалась для анализа морфометрических характеристик территории, включая определение абсолютных высот, уклонов и форм речной долины. На основе ЦМР выполнено построение продольных и поперечных профилей русла реки Бурлук, а также гидрологическое моделирование с применением инструментов анализа рельефа для выявления направлений стока и потенциальных зон затопления [7].

Границы водной поверхности реки Бурлук для различных дат получены путем классификации спутниковых изображений и последующей векторизации. Сравнительный анализ разновременных данных позволил определить изменения площади водного зеркала, выявить участки расширения и сужения русла,

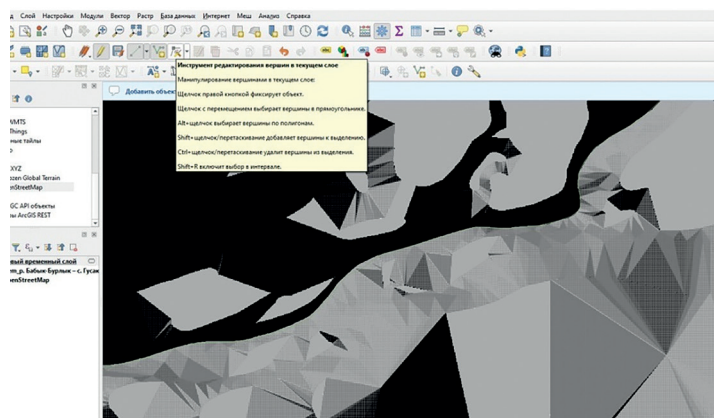


Рис. 2. Добавление и редактирование штриха линий
Fig. 2. Adding and editing stroke lines

а также установить пространственные особенности динамики уровня воды.

Оценка изменений уровня воды осуществлялась путем сопоставления выделенных водных поверхностей с высотными отметками цифровой модели рельефа. Результаты исследования визуализированы в виде тематических карт, профилей и графиков, что обеспечило наглядное представление динамики уровня воды и облегчило интерпретацию полученных данных [9–11].

Результаты обработки (ЦМР) и оцифровки русла реки Бурлук

В ходе практической работы в программной среде QGIS загружена цифровая модель рельефа исследуемой территории и приведена к корректной системе координат. Для уточнения пространственного положения реки дополнительно использовались картографические подложки OpenStreetMap и Google Satellite. Применение режима теневого рельефа позволило более четко определить направление течения и морфологические особенности русла реки Бурлук [12, 13].

После выполнения этих шагов открывается новый временный слой для проведения процесса оцифровки с целью выбора уровня линейного рисования.

После открытия слоя переключаются в режим редактирования и вносят необходимые изменения с целью создания цифровой модели района русла реки (рис. 2).

Одним из важных этапов работы является построение и проверка продольных и поперечных профилей русла. Моделирование рельефа в программных комплексах с использованием фототриангуляционных построений позволяет точно отобразить характерные высотные отметки в районе русла реки Бурлук. После проверки построений и исключения ошибок получают максимально точный продольный и поперечные профили рельефа местности в районе реки для выявления направлений стока и потенциальных зон затопления, в том числе расположенных вблизи горных выработок (рис. 3).

Для сохранения созданного слоя нажимается кнопка «экспорт» и слою присваивается соответствующее имя. Это действие спасает созданный слой (при определенных условиях) от исчезновения, т.е. производится замена временно-го слоя на постоянный.

Оцифрованные данные участка (см. рис. 4) сравниваются с количественными данными за прошлый и предыдущие годы, что позволяет определить парамет-

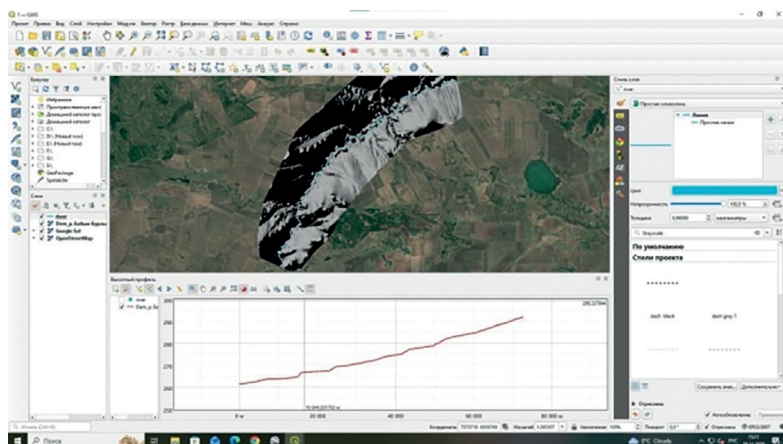


Рис. 3. Построение продольного профиля в районе русла реки Бурлук
 Fig. 3. Construction of a longitudinal profile in the area of the Burluk River bed

ры изменения высоты и направления стока реки, а также выявить изменение формы и размеров потенциальных зон затопления [14, 15].

Пространственно-временной анализ данных дает возможность выявить сезонные и межгодовые колебания уровня воды, а также определить потенциально уязвимые участки при повышении водности реки Бурлук, осуществить контроль уровня притока реки, т.е. определить уровень подъема и спада воды в

бассейне в весенний и осенний сезоны года (рис. 4).

Результаты анализа изменений уровня воды по разновременным данным

После построения цифровой модели русла реки Бурлук полученные данные сопоставлялись со спутниковыми изображениями, относящимися к различным временным периодам и сезонам года. Такой подход позволил проследить ди-

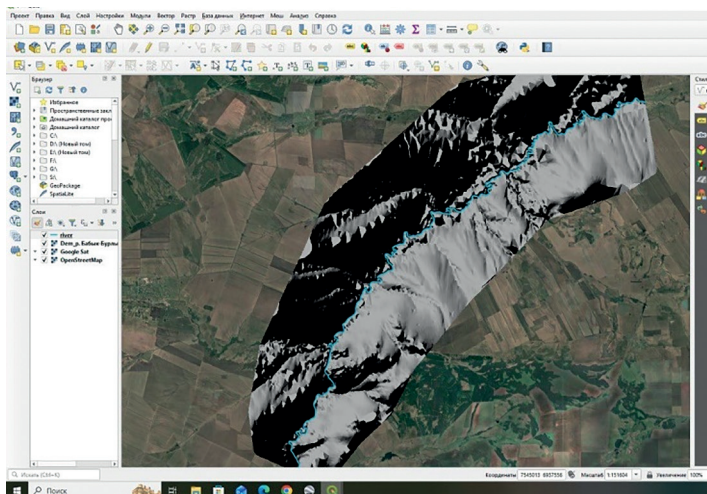


Рис. 4. Обработка результатов моделирования участка реки Бурлук
 Fig. 4. Processing of the results of modeling of the Burluk River section

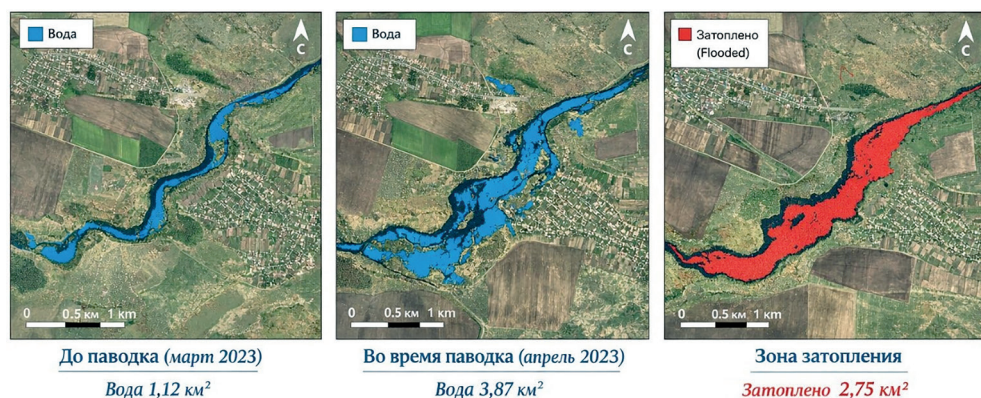


Рис. 5. Результаты анализа изменений уровня воды русла реки Бурлук (2023 г.)

Fig. 5. Results of the analysis of water level changes in the Burluk River bed (2023)

намику изменения водной поверхности реки во времени и оценить влияние сезонных колебаний водности на конфигурацию русла.

Для более точного выделения водной поверхности использовались спектральные каналы спутниковых снимков, а также водные индексы, позволяющие уверенно отделить водные объекты от прилегающих участков суши. В результате была определена граница водного зеркала реки для каждого анализируемого периода, что дало возможность провести их последующее сравнение [16].

Сравнительный анализ показал, что ширина, форма и пространственное по-

ложение русла реки существенно изменяются в зависимости от гидрологического режима. В периоды повышенной водности, характерные для весеннего снеготаяния и после обильных осадков, наблюдается значительное расширение водной поверхности. Вода выходит за пределы основной арны, затопливая прилегающие пониженные участки рельефа, что особенно заметно в пойменной части реки (рис. 5).

Для более детальной оценки динамики гидрологического режима реки Бурлук дополнительно использовались фактические данные уровня воды за 2015–2023 гг., которые представлены в ниже следующей табл. 1. Анализ многолетних наблюдений позволил выявить закономерности изменения уровня воды в различные сезоны и годы.

На основе обработанных данных построен график изменения уровня воды, что позволило наглядно отразить (рис. 6) динамику гидрологического режима реки (по данным гидрологических данных, код поста реки Бурлук 11453). Полученные результаты подтверждают ранее выявленные сезонные колебания и демонстрируют периоды повышения и понижения уровня воды.

В засушливые периоды, напротив, фиксируется сокращение площади вод-



Рис. 6. Динамика уровня воды в реке Бурлык

Fig. 6. Water level dynamics in the Burlyk River

ного зеркала и сужение русла. В таких условиях течение концентрируется в пределах основной арны, а конфигурация русла становится более стабильной. Данные изменения подтверждают высокую чувствительность реки Бурлук к сезонным колебаниям уровня воды и климатическим условиям.

Для определения потенциально затопляемых территорий использовалась цифровая модель рельефа, которая позволила проанализировать распределение абсолютных высот в пределах исследуемого участка. Особое внимание уделялось зонам с минимальными высотными отметками, поскольку именно они в первую очередь подвергаются затоплению при повышении уровня воды в реке [10].

Анализ ЦМР показал, что наибольшую уязвимость к затоплению имеют пойменные территории, горные выработки карьеров, дамбы гидротехнических сооружений, а также участки, приуроченные к изгибам русла рек. В этих зонах наблюдается замедление течения и аккумуляция воды, что способствует более длительному удержанию паводковых вод. Кроме того, в местах меандрирования русла повышается вероятность размыва берегов и изменения береговой линии в сторону понижения уклона земной поверхности. Техногенные объекты, находящиеся в пойменной части реки Бурлук, требуют разработки проектов защиты горных выработок или остановки работ до устранения риска нарушения их устойчивости [17].

Полученные результаты позволяют оценить потенциальные риски затопления без проведения трудоемких и затратных полевых исследований. Использование цифровых моделей рельефа в сочетании со спутниковыми данными делает возможным оперативный анализ опасных участков и может быть применено для предварительного планирования защитных мероприятий.

**Изменение уровня воды
в реке Бурлук за 2015–2023 гг.
Changes in the water level
in the Burluk River (2015–2023)**

Гидрологическая база Код поста реки Бурлук 11453		
Год	Дата	Уровень воды (см)
2015	01.01.2015	395
2015	01.04.2015	420
2015	01.08.2015	366
2015	01.12.2015	380
2016	01.01.2016	370
2016	01.04.2016	536
2016	01.08.2016	387
2016	01.12.2016	376
2017	01.01.2017	368
2017	01.04.2017	365
2017	01.08.2017	387
2017	01.12.2017	388
2018	01.04.2018	387
2018	01.08.2018	386
2018	01.12.2018	373
2019	01.04.2019	428
2019	01.08.2019	364
2019	01.12.2019	338
2020	01.01.2020	332
2020	01.04.2020	405
2020	01.08.2020	372
2020	01.12.2020	357
2021	01.01.2021	340
2021	01.04.2021	373
2021	01.08.2021	364
2021	01.12.2021	360
2022	01.01.2022	358
2022	01.04.2022	398
2022	01.08.2022	383
2022	01.12.2022	370
2023	01.01.2023	372
2023	01.04.2023	445
2023	01.08.2023	379
2023	01.12.2023	375

Обсуждение результатов

Проведенное исследование показало, что совместное использование цифровой модели рельефа и разновременных спутниковых данных в среде QGIS является эффективным инструментом для анализа изменений уровня воды и пространственной динамики русла рек. Примененный подход позволяет выявлять сезонные колебания водности, оценивать изменения ширины и конфигурации русла, а также определять потенциальные зоны затопления.

Визуализация результатов в среде QGIS обеспечила наглядное представление процессов, происходящих в русле реки Бурлук, и позволила выделить наиболее уязвимые участки береговой линии. Это значительно упрощает интерпретацию данных и повышает информативность анализа. В то же время следует отметить, что точность полученных результатов во многом зависит от пространственного разрешения используемой ЦМР и качества спутниковых снимков [18, 19, 20]. Ограничения, связанные с разрешающей способностью данных, могут влиять на детальность выявления отдельных элементов рельефа и границ водной поверхности. Несмотря на это, предложенная методика показала свою практическую применимость для мониторинга малых и средних рек и может быть успешно использована как в учебных, так и в прикладных гидрологических исследованиях [18].

Выводы

В ходе проведенного исследования выполнена оценка изменений уровня воды реки Бурлук с использованием цифровой модели рельефа и спутниковых данных в среде QGIS. Применение геоинформационных технологий позволило не только визуализировать русло реки, но и проанализировать его пространственно-временные изменения.

Анализ показал, что уровень воды в реке значительно зависит от сезонных факторов. В периоды весеннего снеготаяния и обильных осадков наблюдается расширение русла и увеличение площади водного зеркала, тогда как в засушливые периоды происходит его сужение. Это подтверждает высокую чувствительность реки к изменениям природных условий.

Использование цифровой модели рельефа позволило выявить участки, наиболее подверженные затоплению. К таким зонам относятся пойменные территории, горные выработки, дамбы гидротехнических сооружений и участки изгибов русла, где происходит накопление воды. Полученные результаты показывают, что даже без проведения полевых работ можно достаточно точно определить потенциально опасные участки и своевременно разработать защитные мероприятия по снижению уровня риска затопления ответственных сооружений. В целом можно отметить, что применение спутниковых данных и ГИС-технологий является эффективным и доступным инструментом для мониторинга водных объектов. Данный подход может быть использован для оценки паводковых рисков, а также при планировании производственно-хозяйственной деятельности организаций на прилегающих территориях.

Авторы выражают благодарность компании OpenAI за предоставленную возможность использования языковой модели GPT-5.5 при переводе отдельных фрагментов текста с казахского языка на русский и английский языки. Использование языковой модели не повлияло на результаты проведенного исследования.

Авторы также выражают благодарность ведущим специалистам АО «НК «Қазақстан Ғарыш Сапары» за предоставленные космические снимки исследуемой территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпик А. П., Ганагина И. Г., Опритова О. А. Оценка точности глобальных цифровых моделей рельефа на территорию Российской Федерации // Геодезия и картография. — 2025. — № 10. — С. 2 — 11. DOI: 10.22389/0016-7126-2025-1024-10-2-11.
2. Pekel J., Cottam A., Gorelik N., Belward A. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes // *Nature*. 2016, vol. 540 (7633), pp. 418 — 422. DOI: 10.1038/nature20584.
3. Zelalem Demissie, Prashant Rimal, Wondwosen M., Atri Dutta, Glen Rimmington Flood susceptibility mapping: Integrating machine learning and GIS for enhanced risk assessment // *Applied Computing and Geosciences*. 2024, vol. 23, article 100183. DOI: 10.1016/j.acags.2024.100183.
4. Орлов П. Ю. Анализ опыта геоинформационного моделирования карстово-суффозионных процессов // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. — 2022. — Т. 66. — № 5. — С. 14 — 27. DOI: 10.30533/0536-101X-2022-66-5-14-27.
5. Харазми Р. С., Чабан Л. Н. Анализ динамики экосистем бассейна Систан по результатам автоматизированной обработки космических мультиспектральных снимков // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. — 2015. — № 4. — С. 94 — 100.
6. Бондур В. Г., Захарова Л. Н., Захаров А. И., Чимитдоржиев Т. Н., Дмитриев А. В., Дагуров П. Н. Долговременный мониторинг оползневой процесса на берегу реки Бурея по данным интерферометрической съемки радаров L-диапазона // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. — 2019. — Т. 16. — № 5. — С. 113 — 119. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-113-119.
7. Курбатова И. Е. Космический мониторинг негативных ситуаций в прибрежных зонах крупных водоемов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. — 2012. — Т. 9. — № 2. — С. 52 — 59.
8. Акпамбетова К. М., Абиева Г. Б. Географические факторы размещения речных долин на территории Центрального Казахстана // *Евразийский Союз Ученых (ЕСУ)*. — 2019. — № 4(61). — С. 26 — 31.
9. Abegeja D. The application of satellite sensors, current state of utilization, and sources of remote sensing dataset in hydrology for water resource management // *Journal of Water and Health*. 2024, vol. 22, no. 7, pp. 1162 — 1179.
10. Abd El-sadek E., Elbeih S., Negm A. Coastal and landuse changes of Burullus Lake, Egypt: A comparison using Landsat and Sentinel-2 satellite images // *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2022, vol. 25, no. 3, pp. 815 — 829.
11. Кузьмин К. А., Буковский М. Е., Воронков А. В. Расчет морфометрических характеристик рельефа речных бассейнов возвышенных и низменных измерений на основе цифровых моделей рельефа // *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле»*. — 2025. — Т. 53. — С. 70 — 83. DOI: 10.26516/2073-3402.2025.53.70.
12. Безгодова О. В. Структурно-морфометрический анализ малого речного бассейна реки Ихе-Ухгун (бассейн реки Иркут) // *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле»*. — 2021. — Т. 37. — С. 3 — 16. DOI: 10.26516/2073-3402.2021.37.3.
13. Yang V., Harshadip N. R. Managing water resources in large river basins // *Water*. 2020, vol. 12, no. 12, article 3486. DOI: 10.3390/w12123486.
14. Волкова Н. А. Повышение качества гидрологического прогнозирования на основе снижения информационной критичности нечетких оценок показателей стока рек // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. — 2025. — № 5. — С. 97 — 118. DOI: 10.35567/1999-4508-2025-5-97-118.
15. Андреевич П. П. Гидрологические риски и их предотвращение в Казахстане // *Международный журнал гидротехники*. — 2019. — № 3(1). — С. 3 — 4. DOI: 10.15406/ijh.2019.03.00154.
16. Nada Kadhim Assessment of water level changes based on the analysis of optical satellite images / *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing of the Earth and Spatial Information Sciences*. 2025, pp. 445 — 452. DOI: 10.5194/isprs-annals-XG-2025-445.
17. MacFerrin M., Amante C., Carignan K., Love M., Lim E. The Earth Topography 2022 (ETOPO 2022) Global DEM dataset // *Earth System Science Data*. 2024, vol. 17, no. 5, pp. 1835 — 1849. DOI: 10.5194/essd-17-1835-2025.
18. Журкин И. Г., Сычев Г. Г. Метод определения координат цифровых изображений фотограмметрических опорных знаков: разработка и оценка точности // *Измерительная техника*. — 2021. — № 11. — С. 19 — 23. DOI: 10.32446/0368-1025it.2021-11-19-23.

19. Чабан Л. Н., Березина К. В. Анализ информативности спектральных и текстурных признаков при классификации растительности по гиперспектральным аэроснимкам // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2018. — Т. 62. — № 1. — С. 85—95. DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-1-85-95.

20. Svobodova K. Integrating cultural and spiritual restoration into mine closure: The case of way-side shrines and crosses // Energy Research & Social Science. 2025, vol. 127, article 104289. **PLoS**

REFERENCES

1. Karpik A. P., Ganagina I. G., Opritova O. A. Assessment of the accuracy of global digital terrain models on the territory of the Russian Federation. *Geodesy and Cartography*. 2025, no. 10, pp. 2—11. [In Russ]. DOI: 10.22389/0016-7126-2025-1024-10-2-11.

2. Pekel J., Cottam A., Gorelik N., Belward A. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*. 2016, vol. 540 (7633), pp. 418—422. DOI: 10.1038/nature20584.

3. Zelalem Demissie, Prashant Rimal, Wondwosen M., Atri Dutta, Glen Rimmington Flood susceptibility mapping: Integrating machine learning and GIS for enhanced risk assessment. *Applied Computing and Geosciences*. 2024, vol. 23, article 100183. DOI: 10.1016/j.acags.2024.100183.

4. Orlov P. Y. Analysis of the experience of geoinformation modeling of karst-suffusion processes. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2022, vol. 66, no. 5, pp. 14—27. [In Russ]. DOI: 10.30533/0536-101X-2022-66-5-14-27.

5. Kharazmi R. S., Chaban L. N. Analysis of ecosystem dynamics in the Sistan basin based on the results of automated processing of multispectral satellite images. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2015, no. 4, pp. 94—100. [In Russ].

6. Bondur V. G., Zakharova L. N., Zakharov A. I., Chimitdorzhiev T. N., Dmitriev A. V., Dagurov P. N. Long-term monitoring of the landslide process on Bureya riverbank based on interferometric L-band radar data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2019, vol. 16, no. 5, pp. 113—119. [In Russ]. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-113-119.

7. Kurbatova I. E. Space monitoring negative situations in coastal zones of large reservoirs. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2012, vol. 9, no. 2, pp. 52—59. [In Russ].

8. Akpambetova K. M., Abieva G. B. Geographical factors of the location of river valleys in Central Kazakhstan. *Eurasian Union of Scientists (EUU)*. 2019, no. 4(61), pp. 26—31. [In Russ].

9. Abegeja D. The application of satellite sensors, current state of utilization, and sources of remote sensing dataset in hydrology for water resource management. *Journal of Water and Health*. 2024, vol. 22, no. 7, pp. 1162—1179.

10. Abd El-sadek E., Elbeih S., Negm A. Coastal and landuse changes of Burullus Lake, Egypt: A comparison using Landsat and Sentinel-2 satellite images. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2022, vol. 25, no. 3, pp. 815—829.

11. Kuzmin K. A., Bukovskiy M. E., Voronkov A. V. Calculation of the morphometric characteristics of the river basin relief of high and low plains based on a digital elevation model. *The Bulletin of Irkutsk State University Series «Earth Sciences»*. 2025, vol. 53, pp. 70—83. [In Russ]. DOI: 10.26516/2073-3402.2025.53.70.

12. Bezgodova O. V. Structural and morphometric analysis of the ihe-ukhgun small river basin (Irkut river basin). *The Bulletin of Irkutsk State University Series «Earth Sciences»*. 2021, vol. 37, pp. 3—16. [In Russ]. DOI: 10.26516/2073-3402.2021.37.3.

13. Yang V., Harshadip N. R. Managing water resources in large river basins. *Water*. 2020, vol. 12, no. 12, article 3486. DOI: 10.3390/w12123486.

14. Volkova N. A. Improving the quality of hydrological forecasting based on reducing the criticality of information-based fuzzy estimates of river flow indicators. *Russian water industry: problems, technologies, management*. 2025, no. 5, pp. 97—118. [In Russ]. DOI: 10.35567/1999-4508-2025-5-97-118.

15. Andreevich P. P. Hydrological risks and their prevention in Kazakhstan. *International Journal of Hydraulic Engineering*. 2019, no. 3(1), pp. 3—4. [In Russ]. DOI: 10.15406/ijh.2019.03.00154.

16. Nada Kadhim Assessment of water level changes based on the analysis of optical satellite images. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing of the Earth and Spatial Information Sciences*. 2025, pp. 445—452. DOI: 10.5194/isprs-annals-XG-2025-445.

17. MacFerrin M., Amante C., Carignan K., Love M., Lim E. The Earth Topography 2022 (ETOPO 2022) Global DEM dataset. *Earth System Science Data*. 2024, vol. 17, no. 5, pp. 1835 – 1849. DOI: 10.5194/essd-17-1835-2025.

18. Zhurkin I. G., Sychev G. G. Method of determining the coordinates of digital images of photogrammetric reference signs: development and evaluation of accuracy. *Measuring equipment*. 2021, no. 11, pp. 19 – 23. [In Russ]. DOI: 10.32446/0368-1025it.2021-11-19-23.

19. Chaban L. N., Berezina K. V. Information analysis of spectral and textural features in the classification of vegetation by hyperspectral aerial photographs. *News of higher educational institutions. Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2018, vol. 62, no. 1, pp. 85 – 95. [In Russ]. DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-1-85-95.

20. Svobodova K. Integrating cultural and spiritual restoration into mine closure: The case of way-side shrines and crosses. *Energy Research & Social Science*. 2025, vol. 127, article 104289.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бесимбаева Ольга Газисовна*¹ — канд. техн. наук,

доцент, доцент, e-mail: bog250456@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-8132-1505,

*Хмырова Елена Николаевна*¹ — канд. техн. наук,

доцент, e-mail: alena.khmyrova.rodina@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-5763-327X,

Бахаева Светлана Петровна — д-р техн. наук, профессор,

Кузбасский государственный университет имени Горбачева,

e-mail: bsp.mdg@kuzstu.ru,

ORCID ID: 0009-0003-1764-2341,

*Калтаева Асылтас Амангельдыкызы*¹ — магистрант ОП «Геодезия»,

e-mail: asyltas.kaltaeva@mail.ru,

¹ Карагандинский технический университет

имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Республика Казахстан.

Для контактов: Хмырова Е.Н., e-mail: alena.khmyrova.rodina@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*O.G. Bessimbayeva*¹, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,

Associate Professor, e-mail: bog250456@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-8132-1505,

*E.N. Khmyrova*¹, Cand. Sci. (Eng.),

Associate Professor, e-mail: alena.khmyrova.rodina@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-5763-327X,

S.P. Bakhaeva, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

Kuzbass State University named after Gorbachev,

Kemerovo, Russia, e-mail: bsp.mdg@kuzstu.ru,

ORCID ID: 0009-0003-1764-2341,

*A.A. Kaltaeva*¹, Master's Student of the EP «Geodesy»,

e-mail: asyltas.kaltaeva@mail.ru,

¹ Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov,

100008, Karaganda, Republic of Kazakhstan.

Corresponding author: E.N. Khmyrova, e-mail: alena.khmyrova.rodina@mail.ru.

Получена редакцией 10.06.2026; получена после рецензии 25.08.2026; принята к печати 20.09.2026.

Received by the editors 10.06.2026; received after the review 25.08.2026; accepted for printing 20.09.2026.

