

Қ.Т.Қырғызбай^{1,2*}, Т.А.Усманов¹, Э.С. Бөрібай³

¹Казахстанско-Британский технический университет (КБТУ), г. Алматы, Казахстан, kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com*, usmanovt@gmail.com

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан,

³Университет Нархоз, г. Алматы, Казахстан, elmira.boribay@narhoz.kz

ОЦЕНКА РИСКА НАВОДНЕНИЙ В БАССЕЙНЕ РЕКИ УЛЬБА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Аннотация

В условиях изменения климата и учащающихся экстремальных погодных явлений проблема оценки риска наводнений приобретает особую значимость во всём мире. Наводнения ежегодно приводят к человеческим жертвам, разрушению инфраструктуры и серьёзным экономическим потерям, особенно в горных и прибрежных районах. В Казахстане, наряду с засухами, паводки остаются одними из наиболее опасных природных явлений, особенно в восточных регионах страны, где весенние талые воды и интенсивные осадки вносят существенный вклад в формирование паводковой опасности. Река Ульба, протекающая по гористым районам Восточного Казахстана, характеризуется сложным рельефом и высокой водосборной активностью, что делает её бассейн уязвимым к внезапным паводкам. Это обуславливает необходимость применения современных геоинформационных методов для пространственного анализа и моделирования зон потенциального риска.

Впервые на региональном уровне выполнено комплексное геоинформационное моделирование риска наводнений в бассейне реки Ульба с применением методов дистанционного зондирования, многокритериального анализа (MCDA) и взвешенного наложения (Weighted Overlay Analysis) в среде ArcGIS. Новизна работы заключается в адаптации и апробации интегральной модели оценки риска с учётом локальных геоморфологических и климатических особенностей, ранее не рассмотренных в столь детальном пространственном разрешении. В качестве входных факторов использованы цифровая модель рельефа (ЦМР), уклон местности, пространственное распределение атмосферных осадков (TerraClimate), карта типов землепользования (LULC) и евклидово расстояние от водотоков. Каждый из критериев был классифицирован на пять категорий риска с присвоением шкалированных значений от 2 до 10 в зависимости от степени влияния на вероятность затопления: низменности, пологие уклоны, высокая увлажнённость и близость к водотокам получили наибольшие значения риска. Все слои были нормированы и объединены с помощью метода взвешенного наложения. Результатом моделирования стала первая детализированная карта пространственного распределения риска наводнений для бассейна реки Ульбы, позволяющая выделить территории с высокой уязвимостью в границах водосборного бассейна.

Предложенная методика может быть использована как репрезентативная модель для горных территорий Центральной Азии, что подчёркивает её научную и прикладную значимость. Методика обоснована рядом международных исследований и продемонстрировала высокую применимость в условиях ограниченных наблюдательных данных.

Ключевые слова: риск наводнений, геоинформационное моделирование, многокритериальный анализ (MCDA), взвешенное наложение (Weighted Overlay), пространственный анализ, оценка уязвимости, ArcGIS.

Введение

В настоящее время наблюдается тенденция к увеличению частоты и масштабов природных и техногенных катастроф, что связано с изменениями климата как на глобальном, так и на региональном уровнях. Среди природных катаклизмов наводнения считаются одними из наиболее опасных [1]. Причинами наводнений могут быть обильные осадки, таяние снега, заторы и зажоры на реках, а также ветровые нагонные волны [2, 3].

Большая часть территории Казахстана, включая около 750 сельских и 850 городских населённых пунктов с общим населением более 3 миллионов человек, находится в зоне риска затопления [4, 5]. В критические годы половодья подтоплялось до 50 000 га посевных земель, зафиксировано затопление 7 000 домов общей площадью 635 000 м². В результате наводнений было разрушено 875 км автодорог, 718 км ЛЭП, 275 км линий связи, весной 1993 года пострадали 669 населённых пунктов, погибло 6 человек, эвакуировано 12 700 человек. В 2024 году в различных регионах Казахстана наблюдались масштабные весенние паводки [2-4, 6].

В последние годы многие исследователи занимались анализом и управлением рисками наводнений [7, 8]. Эффективность этих исследований значительно возросла при использовании комбинации инструментов геоинформационных систем (ГИС), дистанционного зондирования и многокритериального анализа решений (MCDA) [9, 10].

Для предотвращения и смягчения последствий будущих наводнений важно проведение анализа и картографирования опасных зон, что позволяет выявить наиболее уязвимые участки, исходя из физико-географических характеристик территории [11].

Основной целью настоящего исследования является определение пространственного распределения зон риска наводнений в бассейне реки Ульба путём применения концепций оценки опасности наводнений с использованием инструментов геоинформационных систем (ГИС), дистанционного зондирования и методов многокритериального анализа (MCDA).

Объект исследования

Объектом исследования является бассейн реки Ульба (рисунок 1), расположенный в пределах горной системы Восточного Казахстана. От высшей точки Алтая – горы Белуха (4620 м) – всеверо-западном направлении протягивается непрерывная система хребтов Западного Алтая, и с которых берут начало основные правобережные притоки Иртыша [12, 13], в том числе реки Буктырма, Ульба и Оба, отличающиеся высоким уровнем водности. Река Ульба формируется в результате слияния двух горных рек – Тихая (длина 25 км, площадь водосбора 681 км²) и Громотуха (длина 34 км, водосбор 451 км²).

Гидротехническая трансформация бассейна выражена, в частности, в переброске части стока реки Малая Ульба в верховья Левого Громотухи. На реке Малая Ульба в 1936 году было сооружено Малоульбинское водохранилище объёмом 87,7 млн м³. В нижнем течении Ульбы функционируют Хариузовская и Тишинская гидроэлектростанции, входящие в Лениногорский каскад. Устье реки расположено в черте города Усть-Каменогорск, где она впадает в реку Ертіс, являясь её правобережным притоком.

Общая длина реки составляет около 100 км, площадь водосборного бассейна – 4990 км². По данным наблюдений за период 1974-2015 гг., среднемноголетний расход воды в реке составляет 91,2 м³/с, что определяет её как важный гидрологический объект с высоким паводковым потенциалом [14].

Эти гидрографические особенности формируют сложный режим поверхностного стока, что делает бассейн реки Ульба уязвимым к паводковым рискам и требует применения современных подходов к их оценке, включая ГИС-моделирование и многокритериальный анализ.

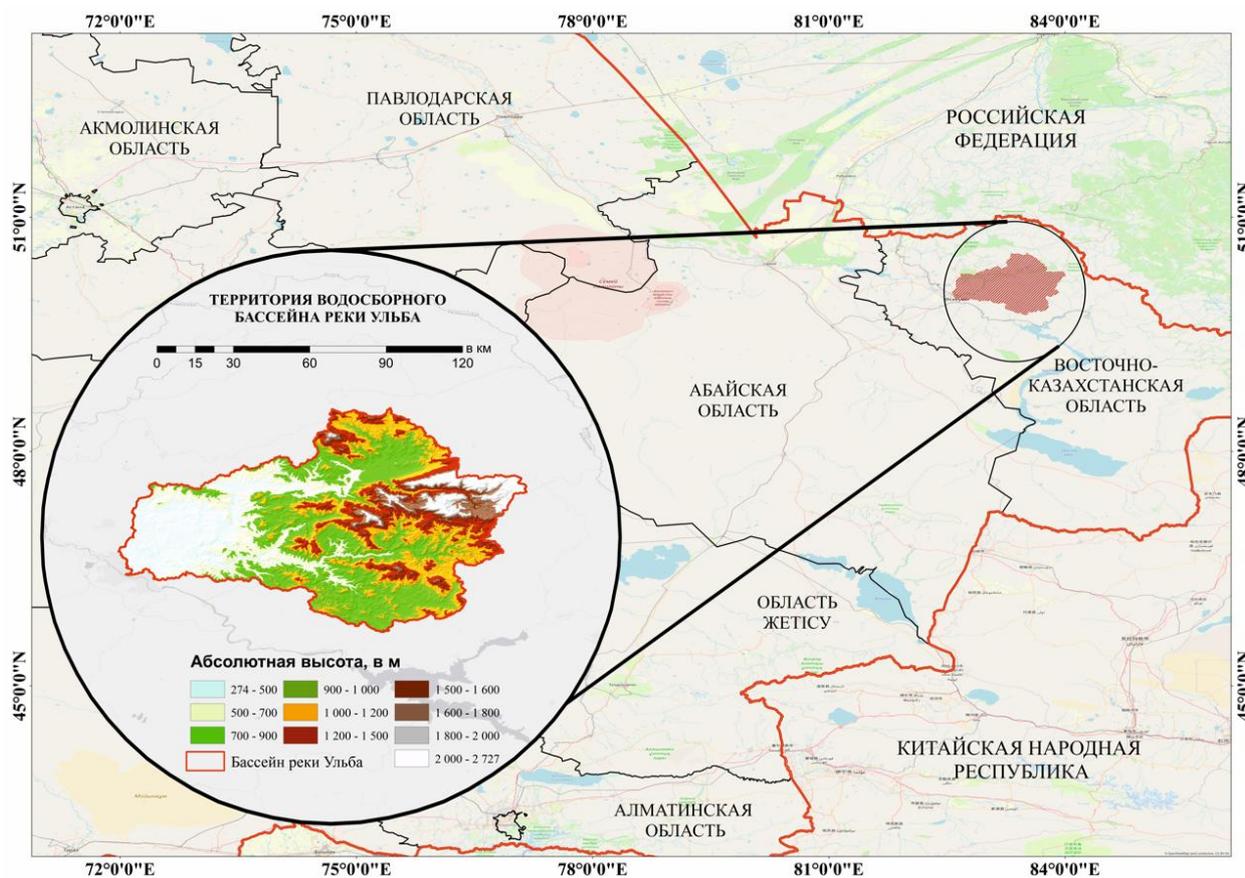


Рисунок 1 – Географическое расположение объекта исследования

Материалы и методы исследования

В данной работе использованы 5 пространственных факторов, влияющих на вероятность возникновения паводков: высота (E), уклон (S), землепользование и покров земной поверхности (LULC), расстояние до рек (DRI) и количество осадков (R). Все слои были созданы с применением программного обеспечения ГИС и технологий дистанционного зондирования на основе различных источников данных.

Данные и программное обеспечение. Все пространственные слои были приведены к единой системе координат и согласованы по разрешению для последующего анализа в среде ГИС. Ниже приведено описание использованных наборов данных и методов их подготовки.

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Карты высоты и уклона были получены из цифровой модели рельефа (ЦМР) с пространственным разрешением 30 м на основе данных Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, <https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover Time Series представляет собой глобальную карту землепользования и покрова земной поверхности (LULC), полученную на основе спутниковых изображений ESA Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 метров (<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=cfc7609de5f478eb7666240902d4d3d>).

TerraClimate – это высокодетализированный набор данных, содержащий ежемесячные значения климатических параметров и водного баланса для наземных территорий Земли за период с 1958 по 2020 год [15].

В данном исследовании для анализа рельефа, водосборных характеристик и пространственной уязвимости использовались инструменты модуля *Spatial Analyst Tools* в среде ArcGIS 10.6.

Методы исследования. Оценка риска наводнений в бассейне реки Ульба выполняется с использованием геоинформационного моделирования, основанного на методологии многокритериального анализа (MCDA) и метода взвешенного наложения (Weighted Overlay

Analysis). Основная цель методики – пространственная интеграция разнородных факторов риска с учётом их весовой значимости для построения карты уязвимости.

Первым этапом выступает концептуализация модели оценки риска, включающая выделение факторов, определение критериев оценки и логики присвоения им значимости. Метод MCDA позволяет структурировать оценку на основе различных пространственных критериев, каждый из которых оказывает влияние на вероятность возникновения наводнений.

Одним из широко используемых подходов MCDA является метод *аналитической иерархии (АИР)*. Для определения весов факторов риска наводнений в АИР используется матрица парных сравнений, позволяющая выявить, насколько один фактор превосходит другой по значимости.

Второй этап заключается в построении логики классификации критериев. Методшкалирования отражает степень влияния конкретного параметра на формирование риска: более высокие значения присваивались условиям, способствующим накоплению или направлению стока (например, низкие уклоны, высокая влажность, близость к водотокам).

Третий этап включает *реализацию метода взвешенного наложения (Weighted Overlay Analysis)*. Каждому фактору присваивается вес (в %), отражающий его относительный вклад в итоговое значение риска. Весовые коэффициенты нормируются таким образом, чтобы их сумма составляла 100%, что обеспечивает соблюдение принципов сбалансированной оценки. Суммарный индекс риска рассчитывается по формуле:

$$y = \sum_{i=1}^n w_i * x_i \quad (1)$$

где, y - итоговая величина риска, n – число факторов, w_i – вес критерия, определенный с помощью АИР., x_i – нормализованное значение критерия i .

Финальный этап заключается в построении карты пространственного распределения риска. Полученные значения классифицируются на пять уровней: очень низкий, низкий, средний, высокий и очень высокий риск.

Таким образом, предложенная методика представляет собой воспроизводимую аналитическую схему, основанную на сочетании экспертно-аналитических процедур MCDA и алгоритмов пространственного наложения, и может быть эффективно использована в условиях ограниченности полевых данных [8, 16].

Результаты и обсуждения

В результате геоинформационного моделирования риска наводнений в бассейне реки Ульба были получены ключевые пространственные данные и тематические карты, представленные на рисунках 2-4. Они отражают как исходные геопространственные характеристики, так и результирующее распределение рисков.

Рисунок 2 демонстрирует исходные данные, использованные в модели:

1) 2а - Цифровая модель рельефа (ЦМР) позволяет визуализировать высотную дифференциацию территории: наиболее высокие участки (до 2727 м) сосредоточены в восточной части, а наиболее низменные (274-600 м) — на западе. Эта информация критична для оценки направлений стока и потенциальных зон аккумуляции воды;

2) 2б - Карта уклонов показывает, что значительная часть территории характеризуется пологими склонами (менее 5°), что потенциально увеличивает риск затоплений за счёт замедленного стока;

3) 2в - Земельный покров и землепользование (LULC) указывает на доминирование лесных площадей и сельскохозяйственных угодий, однако вблизи рек наблюдаются застроенные территории, которые подвержены наибольшему риску при паводках;

4) 2г - Распределение атмосферных осадков демонстрирует максимальные значения в восточной части бассейна (до 744 мм), совпадающие с горными районами, что повышает вероятность возникновения паводков в весенний и летний периоды;

5) 2д - Евклидово расстояние от водотоков позволяет выявить наиболее близкие к руслам участки, которые обладают наивысшей уязвимостью к затоплению.

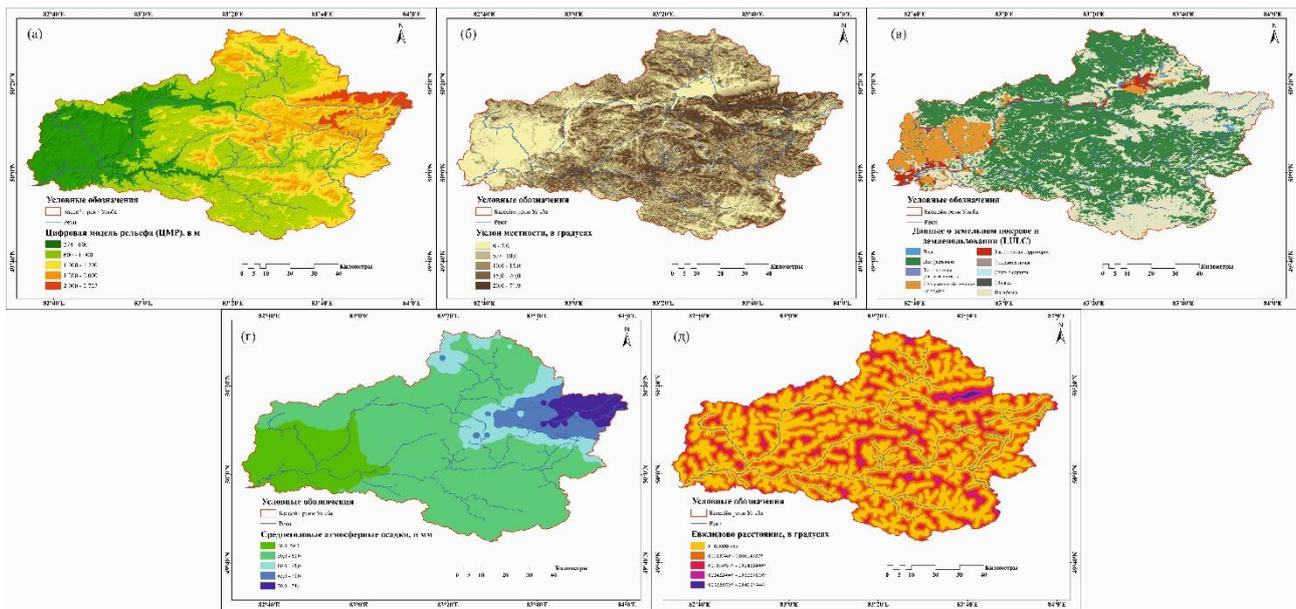


Рисунок 2–Геопространственные данные бассейна реки Ульба: а –Цифровая модель рельефа (ЦМР); б –уклон местности; в –земельный покров и землепользование (LULC); г –атмосферные осадки; д –евклидово расстояние.

Пространственные слои были преобразованы в целочисленные растровые карты с пространственным разрешением 30 м. Далее, каждый растровый слой был переклассифицирован с использованием инструмента Reclassify модуля Spatial Analyst в программном обеспечении ArcGIS 10.6 в шкалу оценивания от 2 до 10, где: 2 – очень низкая степень риска, 4 – низкая, 6 – средняя, 8 – высокая и 10 – очень высокая степень опасности (рис-3).

На рисунке 3 представлена классификация указанных факторов по уровням риска:

- 1) 3а – Классификация по высоте показывает, что зоны с отметками до 600 м отнесены к категории «очень высокий риск», поскольку они располагаются в долинах и аккумулятивных зонах;
- 2) 3б – Классификация по уклону отражает, что минимальные уклоны (до 5°), особенно в поймах, оказываются в зоне высокого риска из-за накопления поверхностного стока;
- 3) 3в – Классификация LULC указывает, что застроенные территории и сельхозугодья вблизи рек формируют высокий и очень высокий уровень риска из-за высокой плотности населения и отсутствия дренажа;
- 4) 3г –Классификация осадков подчёркивает, что районы с осадками выше 700 мм в год преимущественно попадают в категории высокого риска, особенно в сочетании с другими предрасполагающими факторами;
- 5) 3д – Классификация по расстоянию от водотоков показывает, что участки в пределах 0-0,008 градусов (около 1 км) от русел рек – наиболее уязвимы.

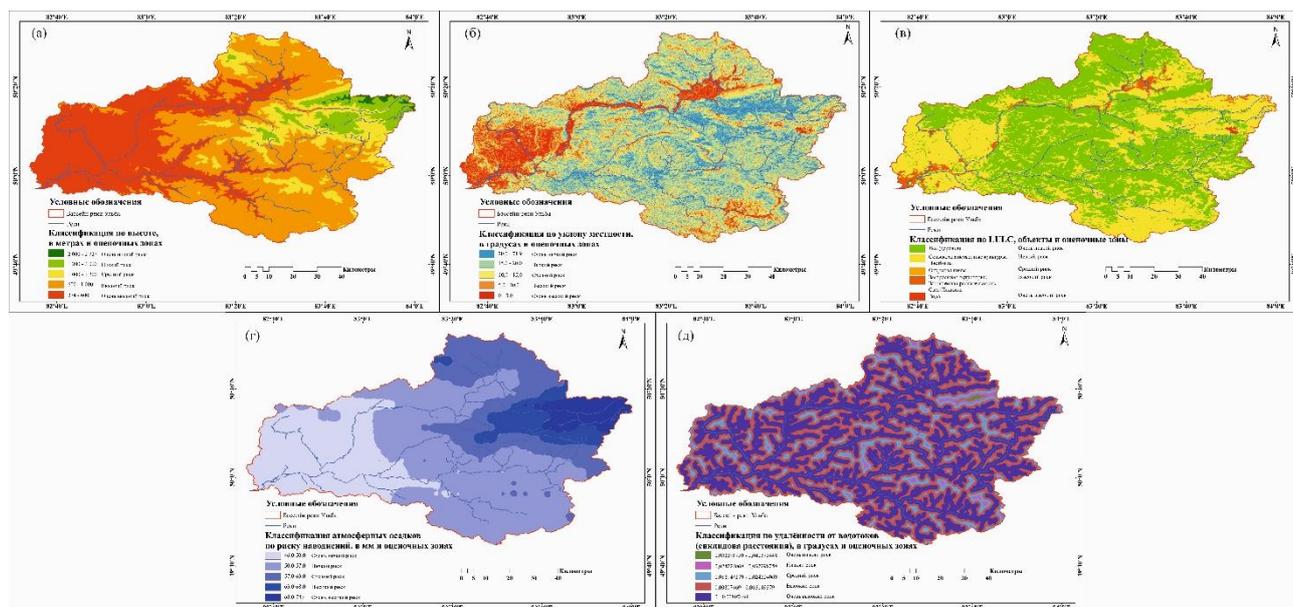


Рисунок3–Классификация данных по риску наводнений на бассейне реки Ульба: а – классификация по высоте; б – классификация по уклону; в – классификация по земельному покрову и землепользованию; г – классификация атмосферных осадков; д – классификация по удаленности от водотоков.

На рисунке 4 представлены итоговая карта риска наводнений и диаграмма распределения площадей по классам:

1) 4а - Интегральная карта риска, полученная путём взвешенного наложения всех критериев, демонстрирует, что значительная часть бассейна отнесена к зонам среднего (58,05%) и низкого риска (27,7%). Однако в восточной части и вдоль долин наблюдаются участки с высоким (12,48%) и очень высоким риском (0,98%);

2) 4б - Диаграмма распределения подтверждает, что совокупная доля территорий с высоким и очень высоким риском составляет около 13,5%, что требует приоритетного внимания в рамках адаптационного водного планирования.

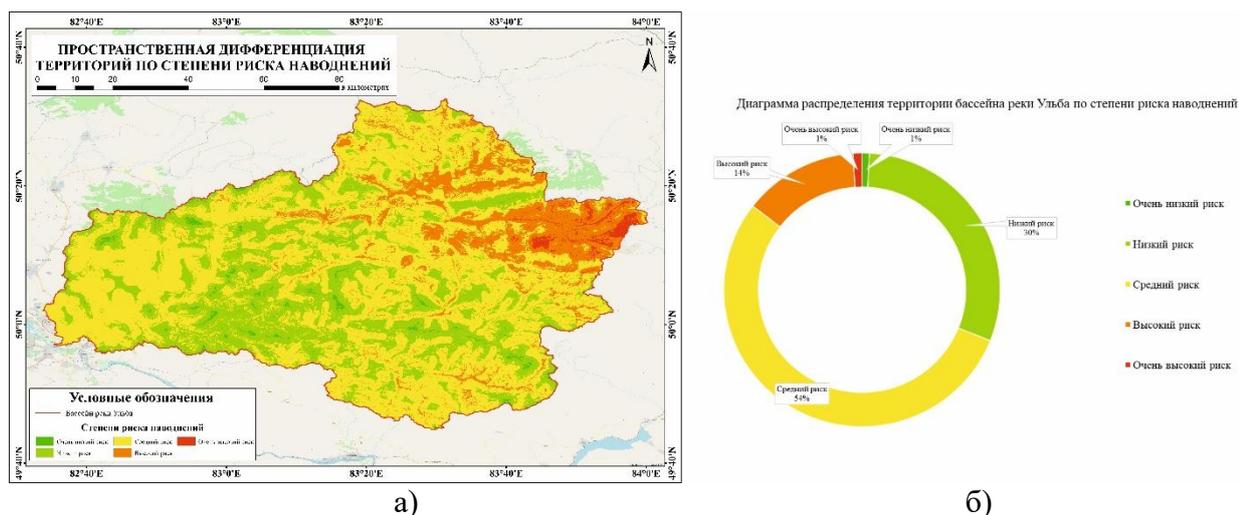


Рисунок4–Карта оценки риска наводнений в бассейне реки Ульба с использованием методов геоинформационного моделирования и многокритериального анализа (а), диаграмма распределения территории по степени риска наводнений (б)

Таблица 1 дополняет визуальные данные, количественно отображая распределение площадей по классам риска. Совокупная площадь бассейна, попавшая в зоны высокого и очень

высокого риска, составляет 683,32 км², что подчёркивает актуальность пространственной дифференциации и необходимость принятия локальных мер защиты.

Таблица 1 – Распределение территории бассейна реки Ульба по риску наводнений

Степени риска наводнений	Площадь, км ²	%
Очень низкий риск	40,26	0,79
Низкий риск	1402,24	27,7
Средний риск	2939,12	58,05
Высокий риск	633,83	12,48
Очень высокий риск	49,49	0,98

В совокупности результаты показывают высокую эффективность интегрального геомоделирования на основе MCDA и Weighted Overlay для оценки паводковой уязвимости. Методика позволила учесть как орографические, так и климатические и антропогенные факторы, адаптируя подход к условиям горного бассейна Центральной Азии.

Выводы

Проведённое исследование продемонстрировало высокую эффективность применения геоинформационных технологий и многокритериального анализа (MCDA) для оценки риска наводнений в сложных природных условиях Восточного Казахстана. Впервые для бассейна реки Ульба была реализована комплексная методика, сочетающая данные дистанционного зондирования, цифрового моделирования рельефа и климатических параметров с современными инструментами пространственного анализа в среде ArcGIS. Разработанная интегральная модель позволила идентифицировать и картографировать участки с различной степенью уязвимости к наводнениям, выделив зоны очень высокого риска.

Новизна и практическая значимость разработанного подхода заключается в его адаптации к локальным геоморфологическим и климатическим условиям, а также в возможности масштабирования на другие горные бассейны Центральной Азии, что обеспечивает его интеграцию в региональные системы мониторинга и управления природными рисками, особенно при дефиците наблюдательных данных.

Таким образом, результаты исследования вносят вклад в развитие прикладной геоинформатики и устойчивого водного управления, а также подтверждают целесообразность использования ГИС и дистанционного зондирования в решении задач оценки и минимизации природных угроз, обусловленных изменением климата.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках проекта программно-целевого финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан «Инновации снижения последствий наводнений-засух с гидрогеологическими стратегиями управляемого пополнения водоносных горизонтов для Жамбылской, Алматинской, Жетысуской, Абайской и Восточно-Казахстанской областей» (ИРН: BR27197639).

Список источников

1 Алагуджаева М.А., Садвакасова С.Р., Елбасиева Б.Б., Аимбетов А.А. Условия формирования наводнений на территории Центрального Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2023. Вып. 4. – С. 61–73.

2 Медеу А.Р., Махмудова Л.К., Мырзахметов А.Б., Загидуллина А.Р., Қанай М.Ә. Паводковая ситуация на реке Жайык (Урал) в 2024 году // География и водные ресурсы. – 2024. Вып. 4. – С. 24-32. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-4-14-23.35>

3 Турсунова А.А., Мырзахметов А.Б., Баспакова Г.Р., Сайлаубек А.М., Салаватова Ж.Т. Историческая справка о гидрологических характеристиках наводнений на реке Жайык // География и водные ресурсы. – 2024. Вып. 2. – С. 40-51. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-2-40-51.11>

4 Саиров С.Б., Тілләкәрім Т.А., Серікбай Н.Т. Некоторые моменты совершенствования прогнозирования объема половодья в условиях ограниченных гидрометеорологических данных // Гидрометеорология и экология. – 2024. Вып. 3. – С. 7–16.

5 Медеу Н.Н., Бейсенбаева С.Ж. Применение программы Mike-Hydro для моделирования наводнения участка бассейна реки Жабай // Proceedings of the 4th International Scientific Conference: «Progress in Science», Brussels, Belgium, 2023. 216-220 pp. <https://ojs.publisher.agency/index.php/PS/article/view/2465>

6 Терехов А.Г., Саиров С.Б., Абаев Н.Н., Сагатдинова Г.Н., Амиргалиев Е.Н. О возможных причинах исключительно больших весенних паводков 2024 года в Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2024. Вып. 21(3). – С. 331–338.

7 Rincón D., Khan U.T., Armenakis C. Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A Greater Toronto Area case study // Geosciences. – 2018. – Vol. 8, No. 8. – Article 275. – DOI: 10.3390/geosciences8080275.

8 Mohammed Z. T., Hussein L. Y., Abood M. H. Potential Flood Hazard Mapping Based on GIS and Analytical Hierarchy Process // Journal of Water Management Modeling. – 2024. Vol. 32 (C528). DOI: 10.14796/JWMM.C528.

9 Msabi M.M., Makonyo M. Flood susceptibility mapping using GIS and multi-criteria decision analysis: A case of Dodoma region, central Tanzania // Remote Sensing Applications: Society and Environment. – 2021. – Vol. 21. – Article 100445. – DOI: 10.1016/j.rsase.2020.100445.

10 Kumar V., Sharma K.V., Caloiero T., Mehta D.J., Singh K. Comprehensive overview of flood modeling approaches: A review of recent advances // Hydrology. – 2023. – Vol. 10, No. 7. – Article 141. – DOI: 10.3390/hydrology10070141.

11 Bhatt G.D., Sinha K., Deka P.K., Kumar A. Flood hazard and risk assessment in Chamoli District, Uttarakhand using satellite remote sensing and GIS techniques // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 3, No. 8. – P. 9.

12 Мамырбекова Г.К., Калыбекова Е.М., Саиров С.Б., Шеров А.Г., Анапьянова С.Б., Базарбаева Ж.А. Пространственно-временная характеристика качества поверхностных вод реки Ертис в черте города Усть-Каменогорск // Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. – 2025. – №1 (105). – С. 209-219. – DOI: <https://doi.org/10.37884/1-2025/25>.

13 Мамырбекова Г.К., Калыбекова Е.М., Анапьянова С.Б., Колпакова В., Еремеева Ю., Шевцов М. Влияние притока реки Иртыш–Ульбы на качество воды // Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. – 2024. – № 2 (102). – С. 341–351. – DOI: 10.37884/2-2024/33

14 Чигринец А.Г., Жансыкпаев А.Р. Минимальный сток рек в бассейнах рек Ульбы и Обы // Гидрометеорология и экология. – 2019. – № 4. – С 150-170.

15 Abatzoglou J.T., Dobrowski S.Z., Parks S.A., Hegewisch K.C. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015 // Scientific Data. – 2018. – Vol. 5. – Article 170191. – DOI: 10.1038/sdata.2017.191.

16 Капитонова Т.А., Стручкова Г.П., Тихонова С.А., Тарская Л.Е. Оценка опасности наводнений на участке реки Лены с использованием метода аналитической иерархии, ГИС и данных ДЗЗ // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – 2024. – Т. 50. – С. 63–75. – DOI: 10.26516/2073-3402.2024.50.63.

References

1 Alagudzaeva M.A., Sadvakasova S.R., Elbasieva B.B., Aimbetov A.A. Usloviya formirovaniya navodnenij na territorii Central'nogo Kazakhstana // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2023. – Vyp. 4. – S. 61–73. [in russ].

2 Medeu A.R., Mahmudova L.K., Myrzakhmetov A.B., Zagidullina A.R., Qanaj M.Á. Pavodkovaya situaciya na reke Žajyq (Ural) v 2024 godu // Geografiya i vodnye resursy. – 2024. – Vyp. 4. – S. 24–32. – DOI: 10.55764/2957-9856/2024-4-14-23.35. [in russ].

3 Tursunova A.A., Myrzakhmetov A.B., Baskpakova G.R., Sajlaubek A.M., Salavatova Ž.T. Istoričeskaja spravka o gidrologičeskikh harakteristikah navodnenij na reke Žajyq // Geografiya i

vodnye resursy. – 2024. – Вып. 2. – С. 40–51. – DOI: 10.55764/2957-9856/2024-2-40-51.11. [in russ].

4 Sairov S.B., TilläkärİM T.A., Serikbaj N.T. Nekotorye momenty sovershenstvovaniya prognozirovaniya ob"ema polovod'ya v usloviyah ogranichennyh gidrometeorologičeskikh dannyh // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. – 2024. – Вып. 3. – С. 7–16. [in russ].

5 Medeu N.N., Bejsenbaeva S.Ž. Primenenie programmy Mike-Hydro dlja modelirovaniya navodneniya učastka bassejna reki Žabaj // *Proceedings of the 4th International Scientific Conference: «Progress in Science»*, Brussels, Belgium, 2023. – С. 216–220. – URL: <https://ojs.publisher.agency/index.php/PS/article/view/2465>. [in russ].

6 Terehov A.G., Sairov S.B., Abaev N.N., Sagatdinova G.N., Amirgaliev E.N. O vozmožnyh pričinah isključitel'no bol'sih vesennykh pavodkov 2024 goda v Kazahstane // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2024. – Т. 21, № 3. – С. 331–338. [in russ].

7 Rincón D., Khan U.T., Armenakis C. Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A Greater Toronto Area case study // *Geosciences*. – 2018. – Vol. 8, No. 8. – Article 275. – DOI: 10.3390/geosciences8080275.

8 Mohammed Z. T., Hussein L. Y., Abood M. H. Potential Flood Hazard Mapping Based on GIS and Analytical Hierarchy Process // *Journal of Water Management Modeling*. – 2024. Vol. 32 (C528). DOI: 10.14796/JWMM.C528.

9 Msabi M.M., Makonyo M. Flood susceptibility mapping using GIS and multi-criteria decision analysis: A case of Dodoma region, central Tanzania // *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. – 2021. – Vol. 21. – Article 100445. – DOI: 10.1016/j.rsase.2020.100445.

10 Kumar V., Sharma K.V., Caloiero T., Mehta D.J., Singh K. Comprehensive overview of flood modeling approaches: A review of recent advances // *Hydrology*. – 2023. – Vol. 10, No. 7. – Article 141. – DOI: 10.3390/hydrology10070141.

11 Bhatt G.D., Sinha K., Deka P.K., Kumar A. Flood hazard and risk assessment in Chamoli District, Uttarakhand using satellite remote sensing and GIS techniques // *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. – 2014. – Vol. 3, No. 8. – P. 9.

12 Mamyrbekova G.K., Kalybekova E.M., Sairov S.B., Šerov A.G., Anap'janova S.B., Bazarbaeva Ž.A. Prostranstvenno-vremennaja harakteristika kachestva poverhnostnyh vod reki Ertis v cherte goroda Ust'-Kamenogorsk // *Izdenister, natizheler – Issledovaniya, rezul'taty*. – 2025. – № 1 (105). – С. 209–219. – DOI: <https://doi.org/10.37884/1-2025/25>. [in russ].

13 Mamyrbekova G.K., Kalybekova E.M., Anap'janova S.B., Kolpakova V., Eremeeva Ju., Ševcov M. Vlijanie pritoka reki Irtyš–Ul'by na kachestvo vody // *Izdenister, natizheler – Issledovaniya, rezul'taty*. – 2024. – № 2 (102). – С. 341–351. – DOI: 10.37884/2-2024/33. [in russ].

14 Čigrinec A.G., Žansykpaev A.R. Minimal'nyj stok rek v bassejnah rek Ul'by i Oby // *Gidrometeorologija i ekologija*. – 2019. – № 4. – С. 150–170. [in russ].

15 Abatzoglou J.T., Dobrowski S.Z., Parks S.A., Hegewisch K.C. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015 // *Scientific Data*. – 2018. – Vol. 5. – Article 170191. – DOI: 10.1038/sdata.2017.191.

16 Kapitonova T.A., Stručkova G.P., Tihonova S.A., Tarskaja L.E. Ocenka opasnosti navodnenij na učastke reki Leny s ispol'zovaniem metoda analitičeskoj ierarhii, GIS i dannyh DZZ // *Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Nauki o Zemle»*. – 2024. – Т. 50. – С. 63–75. – DOI: 10.26516/2073-3402.2024.50.63. [in russ].

Қ.Т.Қырғызбай^{1,2*}, Т.А. Усманов¹, Э.С. Бөрібай³

¹Қазақстан-Британтехникалық университеті (ҚБТУ) Алматы қ., Қазақстан, kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com*, usmanovt@gmail.com

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті Алматы қ., Қазақстан,

³Нархоз университеті, г. Алматы, Қазақстан, Elmira.boribay@narhoz.kz

ҮЛБІ ӨЗЕНІНІҢ БАССЕЙНІНДЕ СУ ТАСҚЫНЫ ҚАУІП-ҚАТЕРІН ГЕОАҚПАРАТТЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ КӨПКРИТЕРИЙЛІ ТАЛДАУДЫҢ НЕГІЗІНДЕ БАҒАЛАУ

Аңдатпа

Климаттың өзгеруі және экстремалды ауа райы құбылыстарының жиілеуі жағдайында су тасқынының қауіпін бағалау мәселесі бүкіл әлемде ерекше маңызға ие болуда. Су тасқындары, әсіресе таулы және жағалау аймақтарда, жыл сайын адамдардың құрбан болуына, инфрақұрылымның бұзылуына және айтарлықтай экономикалық шығындардың пайда болуына кері әсерін тигізеді. Қазақстанда, атап айтқанда шығыс өңірлерінде, құрғақшылықпен қатар, су тасқындары да жойқын табиғи құбылыстардың біріне айналып, көктемгі қар суы мен қарқынды жауын-шашын әсерінен қауіп арттады. Шығыс Қазақстанның таулы аумақтары арқылы ағатын Үлбі өзенінің күрделі геоморфологиялық құрылымы және жоғары су жинау белсенділігі алабының кенеттен болатын тасқындарға осал етеді. Осыған байланысты су тасқыны болуы мүмкін ықтимал аймақтарын кеңістіктік талдау мен модельдеу заманауи геоақпараттық әдістерді қолдану қажеттілігін айқындайды.

Алғаш рет аймақтық деңгейде Үлбіөзені алабында су тасқынының қауіпін кешенді геоақпараттық модельдеу ArcGIS ортасында жерді қашықтан зондтау, көп критерийлі талдау (MCDA) және салмақталған қабаттау (Weighted Overlay) әдістері негізінде жүргізілді. Зерттеудің жаңалығы – кеңістіктік ажыратымдылығы жоғары деректердің негізінде жергілікті геоморфологиялық және климаттық ерекшеліктерді ескеретін интегралды тәуекелді бағалау моделін бейімдеу. Кіріс деректері ретінде жер бедерінің сандықүлгісі, жер бедерінің еңістігі, жауын-шашынның кеңістіктік таралуы (TerraClimate), жер пайдалану түрлері картасы (LULC) және су арналарына дейінгі евклидтік қашықтық қолданылды. Баяндалған критерийлердің әрқайсысы су басу ықтималдығына әсер ету дәрежесіне байланысты тәуекелдің бес санатына бөлініп, 2-ден 10-ға дейінгі шамадағы, атап айтқанда ойпаң, жайпақ еңіс, ылғалдылығы жоғары және су көздеріне жақын аймақтарының мәндері берілді. Кеңістіктік қабаттар салмақталған қабаттау әдісі арқылы нормаланып, біріктірілді. Модельдеу нәтижесінде Үлбі алабы бойынша алғаш рет су тасқыны қауіпінің кеңістіктік таралуының егжей-тегжейлі картасы жасалып, соның негізінде су жиналатын аумақ шегінде осал аймақтарды анықтауға мүмкіндік берілді.

Ұсынылған әдістеме ғылыми және қолданбалы маңыздылығын айқындайтын Орталық Азияның таулы аумақтары үшін репрезентативті модель ретінде қолдануға жарамды. Мақалада қарастырылған әдіс-тәсілдер халықаралық зерттеулермен негізделген және бақылау деректері шектеулі жағдайда жоғары қолданбалы тиімділікті көрсетті.

Кілт сөздер: су тасқыны қауіпі, геоақпараттық модельдеу, көпкритерийлі талдау (MCDA), салмақталған қабаттау (Weighted Overlay), кеңістіктік талдау, осалдықты бағалау, ArcGIS.

K.Kyrgyzbay^{1,2*}, T.Usmanov¹, E.Boribay³

¹Kazakh-British Technical University (KBTU), Almaty, Kazakhstan
kyrgyzbay.kudaibergen@gmail.com*, usmanovt@gmail.com

²Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

³Narxoz University, Almaty, Kazakhstan, Elmira.boribay@narxoz.kz

FLOOD RISK ASSESSMENT IN THE ULBA RIVER BASIN USING GEO- INFORMATION MODELING AND MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS (MCDA)

Abstract

In the context of climate change and the extreme weather events, flood risk assessment is becoming critically important worldwide. Floods annually result in human casualties, infrastructure damage, and significant economic losses, especially in mountainous and coastal regions. In Kazakhstan, along with droughts, floods remain among the most hazardous natural phenomena, particularly in the eastern regions where spring snowmelt and intense precipitation significantly contribute to flood formation. The Ulba River, flowing through the mountainous areas of Eastern

Kazakhstan, is characterized by complex topography and high catchment activity, making its basin especially vulnerable to sudden floods. This underscores the need for modern geoinformation methods for spatial analysis and modeling of potential flood risk zones.

For the first time at the regional level, comprehensive geoinformation-based flood risk modeling was conducted for the Ulba River basin using remote sensing data, Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), and Weighted Overlay Analysis within the ArcGIS environment. The novelty of this study lies in the adaptation and testing of an integrated risk assessment model that accounts for local geomorphological and climatic conditions, previously not analyzed at such detailed spatial resolution. Input factors included a digital elevation model (DEM), slope, spatial distribution of precipitation (TerraClimate), land use/land cover (LULC), and Euclidean distance from watercourses. Each criterion was classified into five risk categories and assigned scaled values depending on its contribution to flood probability: low elevations, gentle slopes, high moisture levels, and proximity to rivers received the highest scores. All layers were normalized and combined using the weighted overlay method. The result is the first detailed spatial flood risk map of the Ulba River basin, allowing the identification of highly vulnerable areas within the watershed.

The proposed methodology can serve as a representative model for mountainous regions of Central Asia, demonstrating both scientific value and practical applicability in data-scarce environments.

Keywords: flood risk, geo-information modeling, multi-criteria decision analysis (MCDA), weighted overlay, spatial analysis, vulnerability assessment, ArcGIS.

Вклад авторов:

Концептуализация – Қырғызбай Қ.Т., Усманов Т.А., Борибай Э.С.; Курирование данных – Қырғызбай Қ.Т., Усманов Т.А.; Формальный анализ–Қырғызбай Қ.Т., Усманов Т.А., Борибай Э.С.; Приобретение финансирования– Қырғызбай Қ.Т., Усманов Т.А.; Расследование–Қырғызбай Қ.Т.; Методология–Қырғызбай Қ.Т.; Администрирование проекта–Қырғызбай Қ.Т.; Ресурсы–Қырғызбай Қ.Т.; Программное обеспечение–Қырғызбай Қ.Т., Усманов Т.А.; Надзор–Қырғызбай Қ.Т.; Проверка–Қырғызбай Қ.Т.; Визуализация–Қырғызбай Қ.Т.; Роли/Письмо (первоначальный проект) –Қырғызбай Қ.Т.; Написание (обзор и редактирование) –Қырғызбай Қ.Т., Усманов Т.А., Борибай Э.С..

МРНТИ 70.27.11

DOI <https://doi.org/10.37884/3-2025/53>

*Мұқатай А.А. *, Долгополова С.Ю., Айтқалиева А.А., Аблайсанова Г.М.*

«Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, aida94mukatai@mail.ru, sveta.dolgopolova.1987@gmail.com, aigerim87a@mail.ru, ablai_gulmira@mail.ru*

**ШУ АУДАНЫНДАҒЫ СУ АЙДЫНДАРДЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ
ЖАҒДАЙЛАРЫ МЕН СУ САПАСЫ**

Аңдатпа

Мақалада Жамбыл облысы, Шу ауданында орналасқан Тасөткел су қоймасы мен Ақсу, Ақша көлдерінің гидрохимиялық және гидрологиялық жағдайларының зерттеу нәтижелері келтірілген. Аталған су айдындары өңірдің су ресурстарын сақтау, ауыл шаруашылығы қажеттіліктерін қамтамасыз ету және экожүйелік тұрақтылықты қолдау тұрғысынан маңызды рөл атқарады.