



УДК 574.24:632.123.1

МРНТИ 87.15.21

DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2026.102(2).39

Губашева Б.Е., Сунгаткызы С., Утегенова А.Е.

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана,
Уральск, Казахстан

E-mail: bibigul690305@mail.ru, sungat_k80@mai.ru, 069uae@gmail.com

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ОТПЕЧАТОК ПАВОДКА: ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

Аннотация. Статья посвящена оценке экологического отпечатка весеннего паводка 2024 года и анализу трансформации экосистем Западно-Казахстанской области под воздействием экстремального гидрологического события. В работе рассматриваются изменения качества атмосферного воздуха, почв и поверхностных водных объектов, подвергшихся прямому и косвенному влиянию паводка.

В качестве информационной базы использованы ежемесячные данные по загрязнению атмосферного воздуха в городах Уральск и Аксай, квартальные показатели загрязнения почв города Уральск, а также данные по состоянию донных отложений и мониторингу качества поверхностных вод рек Жайык, Чаган и Деркул за период 2023–2025 гг. Проведён сравнительный анализ экологических показателей в допаводковый, паводковый и постпаводковый периоды.

Наиболее выраженные изменения выявлены в поверхностных водах, где зафиксирован переход к более высоким классам загрязнения и рост концентраций биогенных веществ в период паводка.

Полученные результаты позволяют выявить характер пространственно-временных изменений компонентов природной среды и оценить масштаб экологических последствий паводка 2024 года. Исследование подчёркивает значимость комплексного анализа экологических эффектов паводков при оценке устойчивости региональных экосистем и планировании природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: экология, загрязнение, атмосфера, почва, вода, отложения, воздействие.

Введение

Экстремальные гидрологические события рассматриваются в современной научной литературе как один из ключевых факторов трансформации биогеохимических циклов в речных бассейнах. Паводки усиливают мобилизацию ранее депонированных загрязняющих веществ, способствуют вторичному загрязнению водных экосистем и изменяют пространственное распределение химических элементов в пределах водосборной территории. Данный эффект описывается как «event-driven pollution transport» и рассматривается как важнейший механизм кратковременной, но интенсивной экологической дестабилизации [1,18].

Паводки относятся к числу наиболее значимых природных гидрологических явлений, оказывающих комплексное воздействие на природные и антропогенные экосистемы [2, 21]. Экологический отпечаток паводка проявляется через изменение физико-химических свойств почв, перераспределение загрязняющих веществ, трансформацию гидрологического режима водных объектов и нарушение



устойчивости экосистемных связей. В период паводка происходит активная миграция взвешенных веществ и донных отложений, способствующая как самоочищению водных систем, так и аккумуляции загрязняющих компонентов в отдельных ландшафтных зонах [3, 6].

После схода воды экологические последствия могут сохраняться в течение нескольких лет, отражаясь на плодородии почв, качестве водных ресурсов и структуре биологических сообществ [4, 23].

Эти механизмы воздействия паводков на компоненты окружающей среды подчёркивают необходимость комплексного анализа изменений качества атмосферы, почв и поверхностных вод. Исследования таких эффектов позволяют не только описать непосредственные последствия экстремальных событий, но и выявить долгосрочные тенденции, что важно для управления природными ресурсами и стратегий восстановления экосистем [5, 9].

Паводки оказывают широкий спектр экологических последствий. Однако из-за сложного состава окружающей среды и многочисленных факторов, влияющих на их риск, в нескольких исследованиях систематически анализировалось воздействие паводков на окружающую среду [10].

Паводки оказывают как отрицательные, так и положительные эффекты - их последствия зависят от места возникновения, масштаба, глубины и интенсивности. Они затрагивают как отдельных людей, так и целые сообщества. Они имеют социальные, экономические и экологические последствия [8, 20].

Паводковые процессы играют значительную роль в формировании химического состава поверхностных вод. В период интенсивного снеготаяния и сильных осадков происходит активизация процессов поверхностного смыва, что приводит к поступлению в водные объекты значительного количества взвешенных веществ, биогенных элементов и тяжелых металлов [12, 25]. В результате кратковременные гидрологические события могут оказывать более сильное влияние на качество воды, чем длительные фоновые процессы загрязнения [1, 24].

Исследования показывают, что экстремальные гидрологические явления способны существенно изменять структуру потоков веществ в речных системах. В частности, в период паводков наблюдается значительное увеличение транспорта взвешенных наносов и связанных с ними загрязняющих веществ, что приводит к временной деградации качества водных экосистем [6, 19].

Изменения гидрологического режима оказывают влияние не только на физико-химические параметры среды, но и на состояние биологических компонентов экосистем. В этой связи паводковые процессы рассматриваются как фактор, способный опосредованно воздействовать на биоразнообразие и устойчивость водных экосистем [7, 21].

Паводки оказывают как прямое, так и косвенное воздействие на пресноводное биоразнообразие. Прямые эффекты включают перемещение организмов или их гибель, тогда как косвенные - изменение формы и структуры русла водоёма. Паводки также увеличивают поверхностный сток, усиливают эрозию почв и приводят к поступлению в водоёмы повышенных количеств почвенных частиц, органического вещества и загрязнителей [7, 9].

Особое значение имеет анализ временной динамики экологических показателей до паводка, в год его проявления и в постпаводковый период. Такой подход позволяет выявить не только масштаб и направленность изменений, но и оценить способность экосистем к восстановлению. Ряд исследований указывает на то, что паводки могут



выполнять двойственную роль: с одной стороны - усиливать антропогенную нагрузку за счёт вторичного загрязнения, с другой - способствовать обновлению экосистем и перераспределению питательных веществ [4, 23].

Увеличение частоты и интенсивности экстремальных осадков в условиях глобального изменения климата усиливает риск повторяемости подобных экологических трансформаций. Согласно данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата, в средних широтах ожидается рост числа интенсивных гидрометеорологических событий, что повышает актуальность региональных исследований постпаводковых эффектов [16]. Использование многолетних рядов наблюдений позволяет объективно оценить трансформацию экосистем и сформировать научно обоснованные выводы о последствиях паводков для окружающей среды [8, 20]. Целью исследования является выявление и оценка экологических последствий паводка 2024 года на основе анализа изменений качества атмосферного воздуха, состояния почв и поверхностных вод Западно-Казахстанской области в допаводковый, паводковый и постпаводковый периоды.

Материалы и методы исследования

В качестве информационной базы исследования использованы официальные данные РГП «Казгидромет» за 2023–2025 гг., включая ежемесячные показатели качества атмосферного воздуха в гг. Уральск и Аксай, данные мониторинга поверхностных вод на 2 створах 3 водных объектов, а также сведения о гидрохимическом составе и концентрации основных загрязняющих веществ.

Для оценки экологического отпечатка паводка был применён сравнительный анализ показателей в три временных периода: допаводковый (2023 г.), паводковый (2024 г.) и постпаводковый (2025 г.). Также использовались методы статистического обобщения, графической интерпретации данных и сравнительного анализа динамики экологических показателей. Анализ проводился по динамике интегральных показателей загрязнения, классам качества воды и концентрациям приоритетных загрязняющих веществ (фосфаты, магний, железо, БПК₅, взвешенные вещества).

Использованный подход позволил выявить пространственно-временные изменения компонентов экосистем и оценить степень их восстановления после экстремального гидрологического события.

Результаты исследования

Мониторинг качества атмосферного воздуха в регионе осуществляется сетью автоматических наблюдательных станций, позволяющих получать данные в непрерывном режиме. Наблюдения за состоянием атмосферного воздуха на территории г. Уральск проводятся на 4 автоматических станциях (Таблица 1).

Таблица 1- Места и характеристики наблюдательных пунктов за качеством атмосферного воздуха и определяемые примеси

Город	Номер поста	Сроки отбора	Проведение наблюдений	Адрес поста	Определяемые примеси
Уральск	2	Каждые 20 минут	В непрерывном режиме	ул. Гагарина, 25	NO ₂ , SO ₂ , NO, CO ₂ , NH ₃ , H ₂ S
	3			ул. Даумова (парк им. С.М.Кирова)	NO ₂ , SO ₂ , CO, NH ₃ , NO.
	5			5 ул. Мухит (рынок Мирлан)	NO ₂ , SO ₂ , NO, CO NH ₃ , H ₂ S, O ₃
	6			ул. Жангир хана, 45В	NO ₂ , NO, CO, NH ₃
Аксай	4	Каждые 20 минут	В непрерывном режиме	ул. Утвинская, 17	NO ₂ , SO ₂ , NO, CO, H ₂ S



В целом по городу определяется 7 основных загрязняющих веществ: 1) диоксид (SO_2) серы; 2) оксид углерода (CO); 3) диоксид азота (NO_2); 4) оксид азота (NO); 5) озон (O_3), 6) аммиак (NH_3), 7) сероводород (H_2S).

В таблице 1 представлена информация о местах расположения постов наблюдений и перечне определяемых показателей на каждом посту. Размещение постов охватывает как центральные городские зоны, так и участки с повышенной транспортной и промышленной нагрузкой. Непрерывный режим наблюдений (каждые 20 минут) обеспечивает высокую репрезентативность данных и позволяет фиксировать кратковременные пики загрязнения, характерные для экстремальных гидрометеорологических событий [13].

Таблица 2 - Результаты мониторинга качества атмосферного воздуха по стандартному интегральному индексу (СИ) в гг. Уральск и Аксай, январь 2023 — декабрь 2025 (месячные значения). (Источник: РГП «Казгидромет»)

Месяц/год	Стандартный интегральный индекс (СИ)					
	г.Уральск			г.Аксай		
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
январь	2,4	2,4	1,7	1,0	1,7	0,9
февраль	1,7	1,8	0,9	6,2	4,9	1,1
март	0,7	6,6	1,7	0,7	6,3	1,1
апрель	1,1	1,0	2,3	3,3	1,8	1,4
май	6,29	1,2	0,7	2,03	2,5	0,9
июнь	6,3	5,9	1,9	2,0	15,3	0,9
июль	0,6	1,4	1,0	2,0	1,3	0,9
август	2,0	1,3	0,9	4,54	6,4	0,9
сентябрь	1,0	1,6	1,0	2,0	7,6	1,0
октябрь	1,05	1,9	1,0	3,89	7,4	1,0
ноябрь	2,4	7,3	0,92	2,4	8,3	1,0
декабрь	2,5	2,4	0,95	1,4	2,4	1,0

Анализ помесечной динамики стандартного интегрального индекса (СИ) показал выраженную межгодовую вариабельность (таблица 2, рисунок 1). В 2023 г. значения СИ оставались в диапазоне, соответствующем умеренному уровню загрязнения, без резких пиковых отклонений. Наиболее выраженные отклонения наблюдаются в 2024 году, что может быть связано с изменением гидрометеорологических условий в период паводка и последующим вторичным загрязнением атмосферы. В 2024 г. зафиксировано увеличение частоты месяцев с повышенными значениями индекса. Максимальные значения приходятся на весенне-летний период, что может быть связано с интенсификацией вторичного пылевого загрязнения и повышенной ветровой активностью после паводкового события. В 2025 г. наблюдается тенденция к снижению амплитуды колебаний СИ, однако показатели не возвращаются полностью к допаводковому фону, что указывает на инерционность атмосферных процессов и возможный вклад вторичного переноса загрязнённых частиц с трансформированных почвенных поверхностей.

Рисунок 1 отражает динамику интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха в гг. Уральск и г. Аксай за 2023–2025 гг. Графическая интерпретация подтверждает, что 2024 г. характеризуется увеличением частоты экстремальных значений СИ по сравнению с 2023 г. Пиковые эпизоды имеют краткосрочный характер, что типично для постэкстремальных периодов, когда наблюдается вторичное аэрозольное загрязнение вследствие пересыхания переувлажнённых территорий.



Различия между городами свидетельствуют о влиянии локальных факторов: в одном из пунктов колебания более выражены, что может отражать различия в промышленной нагрузке либо в структуре землепользования прилегающих территорий.

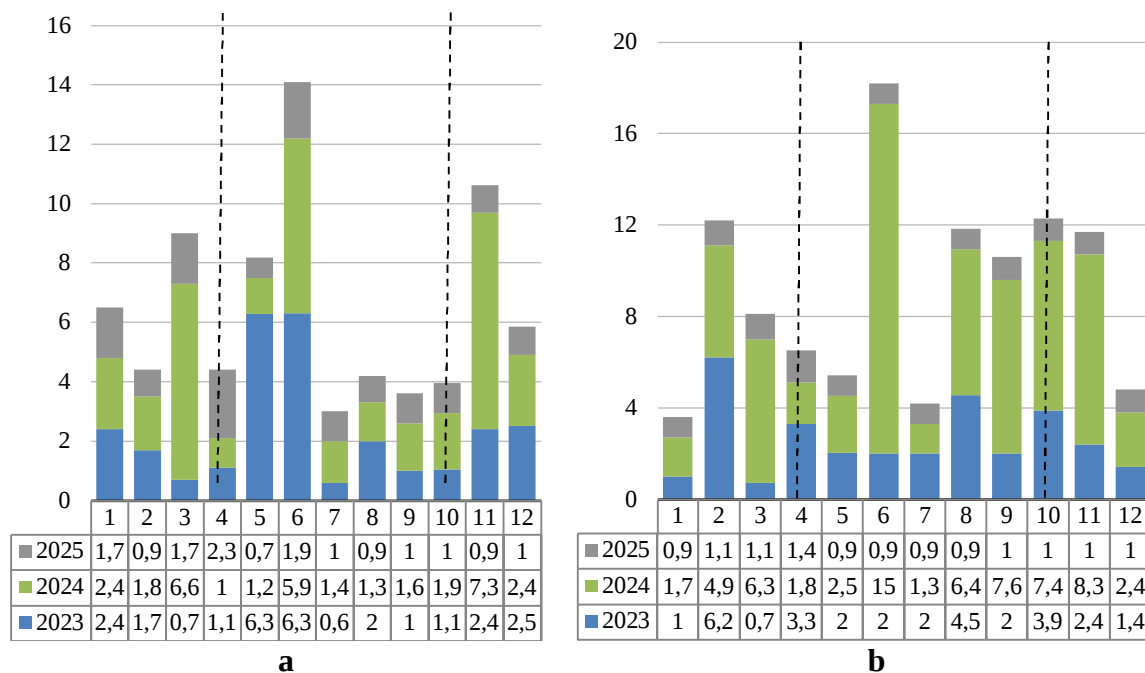


Рисунок 1 - Месячная динамика стандартного интегрального индекса (СИ) в гг. Уральск (а) и Аксай (б), январь 2023 - декабрь 2025.

Вертикальные пунктирные линии отмечают календарные границы летне-осеннего паводкового сезона 2024 г. (апрель — октябрь). (Источник РГП «Казгидромет»).

Наблюдения за качеством поверхностных вод по Западно-Казахстанской области проводились на 18 створах 9 водных объектов (реки Жайык, Шаган, Дерколь, Елек, Шынгырлау, Караозен, Сарыозен, Кошимский канал и озеро Шалкар).

При изучении поверхностных вод в отбираемых пробах воды определяются физико-химические показатели качества: температура, взвешенные вещества, цветность, прозрачность, водородный показатель (рН), растворенный кислород, БПК₅, ХПК, главные ионы солевого состава, биогенные элементы, органические вещества (нефтепродукты, фенолы), тяжелые металлы, пестициды.

Ниже приведены результаты мониторинга качества поверхностных вод на территории Западно-Казахстанской области (таблица 3).

Одновременный переход рек Жайык, Шаган и Деркул к 5 классу качества в 2024 году свидетельствует о синхронном ухудшении состояния водных объектов и подтверждает региональный масштаб паводкового воздействия. Сохранение 5 класса с апреля по декабрь указывает на продолжительный характер загрязнения. Для количественной оценки трансформации водных систем был рассчитан среднегодовой класс качества для каждого года. Для реки Жайык средние значения классов составили 2,667 в 2023 г., 4,250 в 2024 г. и 3,000 в 2025 г.; коэффициент увеличения 2024/2023 = 1,59 (рост +59,4 %). Для реки Шаган — 1,917 (2023), 4,333 (2024), 3,083 (2025); коэффициент 2024/2023 = 2,26 (рост +125,7 %). Для реки Деркул — 1,667 (2023), 4,333 (2024), 3,250 (2025); коэффициент 2024/2023 = 2,60 (рост +160,0 %).



Кроме того, рассчитана доля месяцев, в которых класс качества относился к неблагоприятным категориям (4–5 класс). Для всех трёх рек доля таких месяцев выросла с 0–25 % в 2023 г. до 75 % в 2024 г. (в 2025 г. доля снизилась до ~25–33 %). Увеличение доли месяцев 4–5 класса с 2023 к 2024 указывает на переход от эпизодических превышений к устойчивому неблагоприятному гидрохимическому режиму в паводковый год.

Таблица 3 - Сводный показатель качества поверхностных вод (класс качества) по месяцам, реки Жайык, Шаган и Деркул, январь 2023 — декабрь 2025. (Источник: РГП «Казгидромет»).

Объект	Дата	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
р. Жайык	2023	4	4	3	4	3	1	2	2	3	2	2	2
	2024	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2025	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
р. Шаган	2023	3	3	3	3	1	1	1	2	3	1	1	1
	2024	2	3	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2025	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
р. Деркул	2023	2	1	4	3	2	1	1	2	1	1	1	1
	2024	3	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2025	4	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3

В 2023 году реки преимущественно соответствовали 1–3 классу качества (относительно благополучное состояние).

В 2024 году наблюдается резкое ухудшение, а точнее переход к 5 классу качества и устойчивое сохранение высокого уровня загрязнения с апреля по декабрь во всех исследуемых реках. Это указывает на системное загрязнение в период паводка.

В 2025 году наблюдается частичное восстановление до 3 класса, однако возврата к исходному состоянию не произошло.

Данные таблицы 3 показывают синхронность ухудшения качества воды в 2024 году, что свидетельствует о региональном характере паводкового воздействия. Это указывает на масштабность гидрологического события, перераспределение загрязняющих веществ и возможность смыва сельскохозяйственных и городских стоков.

Таблица 4 - Сводный показатель качества поверхностных вод по месяцам (январь 2023 - сентябрь 2025) объектов р. Жайык 11,2 км ниже г. Уральск и р. Деркул, створ с. Селекционный (класс качества)

Объект	Год/месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
р.Жайык, 11,2 км ниже г. Уральск	2023	3	3	1	3	3	1	1	3	3	1	3	1
	2024	2	3	2	5	5	4	5	5	5	5	4	4
	2025	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3
р. Деркул, створ с. Селекционный	2023	2	1	4	3	1	1	1	2	1	1	1	3
	2024	3	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2025	4	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3

Дополнительно была рассчитана доля месяцев с неблагоприятным качеством воды (4–5 класс). В 2023 г. данный показатель составлял 0–25 %, тогда как в 2024 г. он



увеличился до 75 % для всех исследуемых рек. Это свидетельствует о переходе от эпизодических превышений к устойчивому неблагоприятному гидрохимическому режиму в период паводка.

Изменение классов качества воды носит системный характер. В допаводковом году преобладали более благоприятные категории, тогда как в 2024 г. фиксируется смещение к худшим классам с увеличением продолжительности неблагоприятного состояния.

Во время экстремальных гидрологических событий происходит активная мобилизация донных отложений и смыв биогенных веществ с водосборной территории. Наиболее чувствительным индикатором паводкового воздействия выступают фосфаты, концентрация которых возрастает вследствие выноса сельскохозяйственных удобрений и городских сточных вод (таблица 5).

Таблица 5 - Концентрации фосфатов (мг/л) по створам Жайык, 11,2 км ниже г. Уральск и р. Деркул, створ с. Селекционный

Год/месяц	Концентрации фосфатов (мг/л)			
	Жайык, 11,2 км ниже г.Уральск		Деркул, створ с.Селекционный	
	2024	2025	2024	2025
Январь	-	0,661	-	0,879
Февраль	-	0,523	0,322	0,565
Март	0,275	0,532	0,344	0,574
Апрель	3,068	0,919	3,229	0,955
Май	1,221	0,586	1,22	0,599
Июнь	0,794	0,682	1,989	0,742
Июль	3,108	0,693	3,503	0,629
Август	2,206	0,604	1,997	0,611
Сентябрь	1,891	0,586	1,526	0,613
Октябрь	1,834	0,526	2,747	0,511
Ноябрь	0,992	0,586	1,254	0,515
Декабрь	0,89	0,575	1,201	0,597

Концентрации фосфатов демонстрируют чёткую фазовую структуру. В допаводковом периоде значения характеризуются относительной стабильностью и умеренной сезонной вариабельностью. В 2024 г. фиксируется резкое увеличение концентраций с достижением пиковых значений в середине гидрологического года, что свидетельствует о массовом выносе биогенных веществ с водосборной территории.

Наиболее вероятный механизм - смыв удобрений и органического материала с сельскохозяйственных угодий, а также ремобилизация фосфора из донных отложений в условиях турбулентного потока.

В 2025 г. концентрации снижаются, однако не возвращаются к исходному уровню, что указывает на изменение баланса фосфора в системе и возможное накопление мобильных форм в пойменных отложениях.

Максимальные концентрации фосфатов в 2024 г. превышали допаводковые значения более чем в 10 раз. Среднегодовой показатель увеличился кратно по сравнению с фоновыми концентрациями, что подтверждает масштаб выноса биогенных веществ в период паводка.

Повышение концентраций фосфатов в период паводков объясняется мобилизацией фосфорсодержащих соединений из почвенного покрова и сельскохозяйственных территорий. Исследования показывают, что до 70 % годового выноса фосфора может приходиться именно на кратковременные высоководные события, что формирует выраженные импульсные пики концентраций.



Динамика носит импульсный характер: наблюдается резкий подъём концентраций в период паводка с последующим постепенным спадом. Однако спад имеет более пологий характер по сравнению с подъёмом, что указывает на асимметричную реакцию экосистемы.

Такой профиль типичен для систем с накопительным эффектом, где экстремальное гидрологическое событие запускает каскадный перенос вещества, а его возврат к фоновым значениям требует длительного времени.

Различия между створами отражают пространственную неоднородность антропогенной нагрузки и морфологию русла.

Содержание тяжёлых металлов в донных отложениях демонстрирует изменение распределения после паводкового периода (рисунок 2). В 2024 г. отмечается увеличение концентраций ряда элементов, что может свидетельствовать о перераспределении загрязнённых частиц в результате гидродинамического перемешивания.

При этом отсутствие пропорционального роста всех элементов указывает на селективный перенос фракций, преимущественно связанных с мелкодисперсным материалом.

В 2025 г. частичное снижение концентраций может отражать процессы седиментации и стабилизации системы, однако окончательное восстановление до допаводкового уровня не прослеживается.

Донные отложения играют важную роль в формировании химического режима водных экосистем, выполняя функцию как источника, так и аккумулятора загрязняющих веществ. При изменении гидрологических условий возможно вторичное высвобождение накопленных элементов из осадков в водную толщу, что приводит к повторному загрязнению водных объектов.

Донные отложения рассматриваются как долговременный аккумулятор загрязняющих веществ и индикатор кумулятивного антропогенного воздействия. После экстремальных гидрологических событий происходит перераспределение металлов из водной фазы в осадочную, что приводит к формированию вторичных геохимических аномалий.

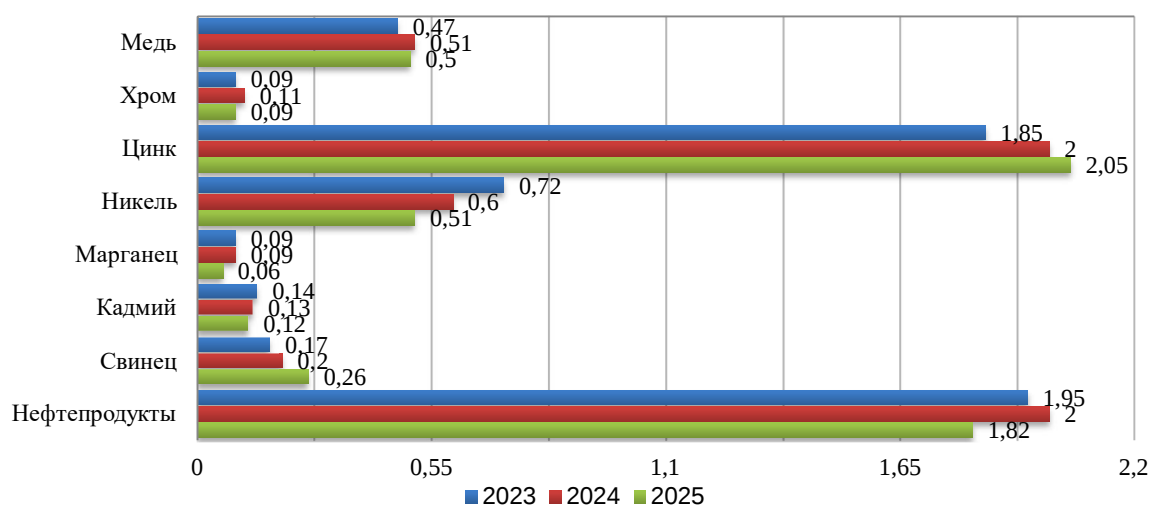


Рисунок 2 - Содержание металлов в донных отложениях поверхностных вод бассейна реки Жайык с. Январцево за 2023-2025гг. *Источник РГП «Казгидромет»*

Почвенный покров является одним из наиболее чувствительных компонентов экосистем к экстремальным гидрологическим событиям. В период паводков



происходит изменение водного режима почв, усиление процессов вымывания растворимых соединений и миграции химических элементов по почвенному профилю. Кроме того, временное подтопление может приводить к изменению окислительно-восстановительных условий, что влияет на подвижность биогенных элементов и тяжелых металлов [17].

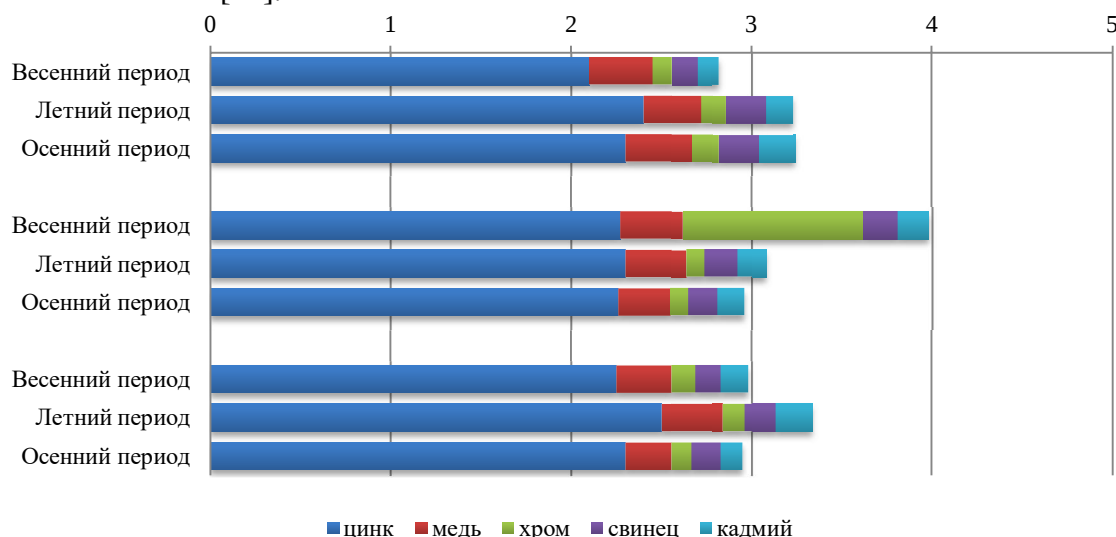


Рисунок 3 - Состояние загрязнения почв тяжелыми металлами по Западно-Казахстанской области

Результаты исследования подтверждают концепцию дифференцированной устойчивости компонентов экосистем к экстремальным гидрологическим воздействиям. Атмосферная среда характеризуется быстрым восстановлением после кратковременного загрязнения, тогда как водные объекты и донные отложения демонстрируют пролонгированную трансформацию, что соответствует современным представлениям о резистентности и резилиентности природных систем.

Заключение

Проведённый анализ данных за 2023–2025 гг. показал, что паводок 2024 года оказал системное воздействие на экосистемы Западно-Казахстанской области. Наиболее выраженные изменения зафиксированы в поверхностных водах, где наблюдался переход к 5 классу качества и рост концентрации фосфатов до 3,0–3,5 мг/л, что в 10 и более раз превышает допаводковые значения. Синхронность ухудшения состояния рек подтверждает региональный масштаб гидрологического события.

В 2025 году отмечается частичное восстановление показателей до 3 класса качества, однако возврата к исходному экологическому состоянию не произошло, что свидетельствует о формировании устойчивого экологического отпечатка. Атмосферный воздух продемонстрировал преимущественно кратковременные изменения без длительного деградационного эффекта.

Количественный анализ показал, что паводок 2024 г. оказал системное воздействие на экосистемы Западно-Казахстанской области. Атмосферный компонент реагировал в основном импульсно (рост СИ в Аксай до 5,49 в 2024 г., +109,5 %), водные системы испытали пролонгированную деградацию (средний класс по рекам вырос в 1,6–2,6 раза, доля месяцев 4–5 класса достигла 75 % в 2024 г.), фосфаты в реке Жайык в 2024 г. в среднем составили 1,6279 мг/л (пик 3,108 мг/л), а в 2025 г. снизились до 0,6261 мг/л (–61,6 %). Донные отложения показывают накопление цинка и свинца (Zn:



1,85 → 2,00 → 2,05; Pb: 0,17 → 0,20 → 0,26), что указывает на перераспределение нагрузки в осадочную фазу. На основе этих результатов рекомендовано:

а) ввести продолжительный (не менее 3 лет) мониторинг гидрохимии ключевых створов;

б) провести расчёт нагрузок ($\text{load} = \text{концентрация} \times \text{расход}$) для оценки общего выноса вещества в период паводка;

в) разработать меры по снижению стока фосфора с сельскохозяйственных угодий (контроль удобрений, буферные полосы).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Old G.H., Naden P.S., Rameshwaran P., Acreman M., Mountford J.O. Event-driven nutrient and sediment transport in river systems // *Journal of Hydrology*. 2019. Vol. 573. P. 467–482.

[2] Ward J.V., Tockner K., Schiemer F. Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity // *Regulated Rivers: Research & Management*. 1999. Vol. 15(1–3). P. 125–139.

[3] Junk W.J., Bayley P.B., Sparks R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems // *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1989. Vol. 106. P. 110–127.

[4] Tockner K., Stanford J.A. Riverine flood plains: present state and future trends // *Environmental Conservation*. 2002. Vol. 29(3). P. 308–330.

[5] Meybeck M. Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2003. Vol. 358. P. 1935–1955.

[6] Walling D.E. Human impact on land–ocean sediment transfer by the world’s rivers // *Geomorphology*. 2006. Vol. 79. P. 192–216.

[7] Naiman R.J., Décamps H., McClain M.E. *Riparia: Ecology, Conservation and Management of Streamside Communities*. Amsterdam: Elsevier, 2005.

[8] Kundzewicz Z.W., Kanae S., Seneviratne S.I., et al. Flood risk and climate change: global and regional perspectives // *Hydrological Sciences Journal*. 2014. Vol. 59(1). P. 1–28.

[9] Zhang Y., Li Z., Xu H., Chen X. Impact of floods on the environment: indicators, influencing factors and evaluation methods // *Science of the Total Environment*. 2024. Vol. 906. Article 167642.

[10] Aldardasawi A.F.M., Eren B. Floods and their impact on the environment // *Sakarya University Journal of Science*. 2020. Vol. 24(5). P. 1001–1010.

[11] Sharpley A.N., Kleinman P.J.A., Flaten D.N., Buda A.R. Critical source area management of agricultural phosphorus // *Journal of Environmental Quality*. 2011. Vol. 40. P. 1–12.

[12] Horowitz A.J. A primer on sediment-trace element chemistry // *Hydrological Processes*. 1995. Vol. 9. P. 251–271.

[13] Förstner U., Wittmann G.T.W. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Berlin: Springer, 2012.

[14] Brady N.C., Weil R.R. *The Nature and Properties of Soils*. 15th ed. New York: Pearson, 2017.

[15] Holling C.S. Resilience and stability of ecological systems // *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1973. Vol. 4. P. 1–23.



[16] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

[17] Smith D.R., King K.W., Williams M.R. What is causing the harmful algal blooms in Lake Erie? // Journal of Soil and Water Conservation. 2015. Vol. 70. P. 27A–29A.

[18] Chen X., Zhou J., Li H. Flood-induced pollutant transport in river basins under extreme precipitation // Water Research. 2022. Vol. 218.

[19] Raymond P.A., Hartmann J., Lauerwald R., et al. Global carbon dioxide emissions from inland waters // Nature. 2013. Vol. 503. P. 355–359.

[20] Bormann H., Pinter N. Trends in flood risk of the Elbe River basin // Hydrological Processes. 2017. Vol. 31. P. 2439–2450.

[21] Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., et al. The natural flow regime // BioScience. 1997. Vol. 47. P. 769–784.

[22] Kaushal S.S., Likens G.E., Pace M.L., et al. Freshwater salinization syndrome on a continental scale // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018. Vol. 115. P. E574–E583.

[23] Palmer M.A., Ruhi A. Linkages between flow regime, biota and ecosystem processes: implications for river restoration // Science. 2019. Vol. 365.

[24] Dodds W.K., Smith V.H. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams // Inland Waters. 2016. Vol. 6. P. 155–164.

[25] Withers P.J.A., Jarvie H.P. Delivery and cycling of phosphorus in rivers // Science of the Total Environment. 2008. Vol. 400. P. 379–395.

REFERENCES

[1] Old G.H., Naden P.S., Rameshwaran P., Acreman M., Mountford J.O. Event-driven nutrient and sediment transport in river systems // Journal of Hydrology. 2019. Vol. 573. P. 467–482.

[2] Ward J.V., Tockner K., Schiemer F. Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity // Regulated Rivers: Research & Management. 1999. Vol. 15(1–3). P. 125–139.

[3] Junk W.J., Bayley P.B., Sparks R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems // Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences. 1989. Vol. 106. P. 110–127.

[4] Tockner K., Stanford J.A. Riverine flood plains: present state and future trends // Environmental Conservation. 2002. Vol. 29(3). P. 308–330.

[5] Meybeck M. Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes // Philosophical Transactions of the Royal Society B. 2003. Vol. 358. P. 1935–1955.

[6] Walling D.E. Human impact on land–ocean sediment transfer by the world’s rivers // Geomorphology. 2006. Vol. 79. P. 192–216.

[7] Naiman R.J., Décamps H., McClain M.E. Riparia: Ecology, Conservation and Management of Streamside Communities. Amsterdam: Elsevier, 2005.

[8] Kundzewicz Z.W., Kanae S., Seneviratne S.I., et al. Flood risk and climate change: global and regional perspectives // Hydrological Sciences Journal. 2014. Vol. 59(1). P. 1–28.

[9] Zhang Y., Li Z., Xu H., Chen X. Impact of floods on the environment: indicators, influencing factors and evaluation methods // Science of the Total Environment. 2024. Vol. 906. Article 167642.



- [10] Aldardasawi A.F.M., Eren B. Floods and their impact on the environment // Sakarya University Journal of Science. 2020. Vol. 24(5). P. 1001–1010.
- [11] Sharpley A.N., Kleinman P.J.A., Flaten D.N., Buda A.R. Critical source area management of agricultural phosphorus // Journal of Environmental Quality. 2011. Vol. 40. P. 1–12.
- [12] Horowitz A.J. A primer on sediment-trace element chemistry // Hydrological Processes. 1995. Vol. 9. P. 251–271.
- [13] Förstner U., Wittmann G.T.W. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Berlin: Springer, 2012.
- [14] Brady N.C., Weil R.R. The Nature and Properties of Soils. 15th ed. New York: Pearson, 2017.
- [15] Holling C.S. Resilience and stability of ecological systems // Annual Review of Ecology and Systematics. 1973. Vol. 4. P. 1–23.
- [16] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
- [17] Smith D.R., King K.W., Williams M.R. What is causing the harmful algal blooms in Lake Erie? // Journal of Soil and Water Conservation. 2015. Vol. 70. P. 27A–29A.
- [18] Chen X., Zhou J., Li H. Flood-induced pollutant transport in river basins under extreme precipitation // Water Research. 2022. Vol. 218.
- [19] Raymond P.A., Hartmann J., Lauerwald R., et al. Global carbon dioxide emissions from inland waters // Nature. 2013. Vol. 503. P. 355–359.
- [20] Bormann H., Pinter N. Trends in flood risk of the Elbe River basin // Hydrological Processes. 2017. Vol. 31. P. 2439–2450.
- [21] Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., et al. The natural flow regime // BioScience. 1997. Vol. 47. P. 769–784.
- [22] Kaushal S.S., Likens G.E., Pace M.L., et al. Freshwater salinization syndrome on a continental scale // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018. Vol. 115. P. E574–E583.
- [23] Palmer M.A., Ruhi A. Linkages between flow regime, biota and ecosystem processes: implications for river restoration // Science. 2019. Vol. 365.
- [24] Dodds W.K., Smith V.H. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams // Inland Waters. 2016. Vol. 6. P. 155–164.
- [25] Withers P.J.A., Jarvie H.P. Delivery and cycling of phosphorus in rivers // Science of the Total Environment. 2008. Vol. 400. P. 379–395.

Губашева Б.Е., Сұңғатқызы С., Утегенова А.Е.
СУ ТАСҚЫНЫНЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ІЗІ: ЭКОЖҮЙЕЛЕРДІҢ
ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ

Аңдатпа. Мақала 2024 жылғы көктемгі су тасқынының экологиялық ізін бағалауға және экстремалды гидрологиялық құбылыстың әсерінен Батыс Қазақстан облысы экожүйелерінің трансформациясын талдауға арналған. Жұмыста су тасқынының тікелей және жанама әсеріне ұшыраған атмосфералық ауа сапасының, топырақтардың және жерүсті су нысандарының сапасындағы өзгерістер қарастырылады.

Ақпараттық база ретінде Орал және Аксай қалаларындағы атмосфералық ауаның ластануы бойынша ай сайынғы деректер, Орал қаласының топырақтарының ластануын сипаттайтын тоқсандық көрсеткіштер, сондай-ақ 2023–2025 жылдар аралығындағы Жайық, Шаған және Деркөл өзендерінің түпкі шөгінділерінің жай-күйі мен жерүсті суларының сапасын мониторингтеу деректері пайдаланылды. Су тасқынына дейінгі, су тасқыны кезеңіндегі және



су тасқынынан кейінгі кезеңдердегі экологиялық көрсеткіштердің салыстырмалы талдауы жүргізілді.

Ең айқын өзгерістер жерүсті суларында анықталды: су тасқыны кезеңінде ластану класының жоғары деңгейге ауысуы және биогендік заттар концентрациясының артуы тіркелді.

Алынған нәтижелер табиғи ортаның компоненттеріндегі кеңістіктік-уақыттық өзгерістердің сипатын анықтауға және 2024 жылғы су тасқынының экологиялық салдарының ауқымын бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеу аймақтық экожүйелердің тұрақтылығын бағалау және табиғатты қорғау шараларын жоспарлау кезінде су тасқындарының экологиялық әсерлерін кешенді талдаудың маңыздылығын көрсетеді.

Кілт сөздер: экология, ластану, атмосфера, топырақ, су, шөгінділер, әсер.

Bibigul Gubasheva, Sandugash Sungatkyzy, Aida Utegenova

ECOLOGICAL FOOTPRINT OF FLOODS: ECOSYSTEM TRANSFORMATION

Annotation. The article is devoted to assessing the ecological footprint of the spring flood of 2024 and analyzing the transformation of ecosystems in the West Kazakhstan Region under the influence of an extreme hydrological event. The study examines changes in the quality of atmospheric air, soils, and surface water bodies that were subjected to both direct and indirect impacts of the flood.

The information base includes monthly data on atmospheric air pollution in the cities of Uralsk and Aksai, quarterly indicators of soil pollution in the city of Uralsk, as well as data on the state of bottom sediments and monitoring of surface water quality in the Zhaiyk, Chagan, and Derkul rivers for the period 2023–2025. A comparative analysis of environmental indicators was conducted for the pre-flood, flood, and post-flood periods.

The most pronounced changes were identified in surface waters, where a transition to higher pollution classes and an increase in the concentrations of biogenic substances were recorded during the flood period.

The obtained results make it possible to identify the nature of spatial and temporal changes in environmental components and to assess the scale of the ecological consequences of the 2024 flood. The study emphasizes the importance of a comprehensive analysis of the environmental effects of floods when assessing the resilience of regional ecosystems and planning environmental protection measures.

Keywords: ecology, pollution, atmosphere, soil, water, sediments, impact.