https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-3-174-195.43

МРНТИ 37.27.21; 38.61.15
УДК 551.50; 556; 550.8

Б. К. Бекнияз[1], С. С. Байшоланов*[2], Г. Н. Камзин[3], Н. Б. Зинабдин[4], Д. Д. Дуйсембин[5], Г. К. Дуйсенбиева[6]

[1] К. г. н., Председатель правления (Национальная гидрогеологическая служба «НАО “Казгидрогеология”», Астана, Казахстан; *bbolat@mail.ru*)
[2] *К. г. н., директор департамента науки и прикладных исследований (Национальная гидрогеологическая служба «НАО “Казгидрогеология”», Астана, Казахстан; ***saken_baisholan@mail.ru***)
[3] Директор департамента мониторинга подземных вод и опасных геологических процессов (Национальная гидрогеологическая служба «НАО “Казгидрогеология”», Астана, Казахстан; *kamzin_galymgazy-pavl@mail.ru*)
[4] PhD, старший преподаватель (Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; *zinabdin.n@gmail.com*)
[5] Главный специалист департамента гидрогеологических исследований (Национальная гидрогеологическая служба «НАО “Казгидрогеология”», Астана, Казахстан; *dauil58@mail.ru*)
[6] Главный специалист департамента гидрогеологических исследований (Национальная гидрогеологическая служба «НАО “Казгидрогеология”», Астана, Казахстан; *gulnara_duisenbiyeva@mail.ru*)

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПОЙМЕ РЕКИ ЖАБАЙ В ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

Аннотация. Одной из паводкоопасных рек в Акмолинской области является река Жабай. Проанализирован гидрологический режим реки Жабай в период прохождения пиков весеннего половодья за 2014-2026 г., выявлены ключевые метеорологические факторы риска наводнений, изучены гидрометеорологические условия формирования экстремального половодья 2024 года, количественно оценено влияние речного стока на динамику уровня грунтовых вод, а также рассмотрена возможность магазинирования паводковых вод. Угроза наводнения возникает при выпадении с ноября по март более 140 мм осадков, глубине промерзания почвы более 90 см, продолжительности периода прогрева воздух до 10^{o}C менее 30 сут, показателе интенсивности снеготаяния более 5 мм/сут. Метеорологические условия, сложившиеся весной 2024 года, способствовали интенсивному таянию снега, что привело к резкому увеличению расхода воды от 4 до 2330 м^3/с, повышению уровня воды до 952 см и затоплению поймы реки, включая восточную часть г. Атбасара. Установлено, что гидрологический режим реки Жабай в период весеннего половодья существенно влияет на уровень грунтовых вод. Корреляционный анализ показал высокую обратную зависимость уровня грунтовых вод в скважинах от расхода воды в реке Жабай. Регрессионный анализ позволил установить уравнения зависимости уровня грунтовых вод в 7 скважинах от расхода воды на ГП р. Жабай – г. Атбасар. Участок поймы правого берега реки Жабай на глубине более 15 м от поверхности, являющийся водоносной зоной трещиноватости каменноугольных отложений и состоящий из алевролита, известняка, сланца и песчаника, наиболее перспективен для магазинирования паводковых вод. Результаты исследования будут полезны при оценке риска наводнений и разработке мер по борьбе с паводками, а также при определении подземных хранилищ для магазинирования паводковых вод.

Ключевые слова: половодье, наводнение, температура воздуха, осадки, уровень воды, расход воды, грунтовые воды, гидрогеологический пост, скважина.

Введение. Одной из паводкоопасных рек в Акмолинской области является река Жабай. Ее сток имеет сильно выраженную сезонную и многолетнюю неравномерность. Русло реки подвержено весеннему половодью из-за таяния снежного покрова. В низовье реки Жабай расположен город Атбасар с населением около 28 тыс. человек. Река протекает по восточной стороне города в направлении с севера на юг. Восточную часть города периодически затапливает в результате весеннего половодья. В последнее десятилетие наиболее значимые наводнения наблюдались в 2014, 2017 и 2024 годах.

В 2014 году из-за резкого потепления 8-9 апреля до +14 °С степные талые воды интенсивно хлынули в реку Жабай, где ещё не растаял лёд, и подтопили 559 домов на 12 улицах города Атбасара [1].

В 2017 году 11 апреля начался подъем уровня воды, который с 14 по 21 апреля превысил опасную отметку, в результате чего вода вышла на пойму реки. Из-за высокого уровня воды, дождя и ветра в четырех местах была размыта защитная дамба. Подтоплены более 400 домов, эвакуированы 1374 человека. Уровень воды поднялся выше критической отметки на 80 см и превысил уровень наводнения 2014 года [2, 3].

Наводнение 2024 года по своей разрушительности превысило уровень всех предыдущих. Первая волна паводков пришла в Атбасар 11 апреля, около 5 утра произошел перелив на 6 участках земляного вала, защищающего город от подтопления. Далее масштабы наводнения увеличивались на протяжении 6 сут. Были затоплены 19 улиц, пострадали около 400 домов [4].

Половодье 2024 года в Казахстане стал самым масштабным за последние восемь десятилетий, охватив значительную часть территории страны и продолжавшись почти два месяца. Власти Республики Казахстан приняли комплексные меры по ликвидации последствий паводков и поддержке пострадавших граждан [5].

Половодье, паводок и наводнение являются опасными гидрологическими явлениями. Половодье – фаза водного режима реки, сезонное явление, повторяющееся ежегодно и характеризующееся наибольшей водностью и высоким уровнем воды. Формируется талыми снеговыми и дождевыми водами, часто сопровождается выходом воды на пойму реки. Паводок – фаза водного режима, наблюдающаяся в различные сезоны года и характеризующаяся кратковременным увеличением расхода и уровня воды. Он формируется дождевыми водами или снеготаянием во время оттепелей. Наводнение – стихийное бедствие, затопление поймы реки в результате подъема уровня воды в реках и водоемах. Причиной наводнения может быть как паводок, так и половодье [6].

В Казахстане ведется мониторинг гидрологического режима рек и паводков. Государственный гидрологический мониторинг проводит РГП «Казгидромет» Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан (МЭПР РК). На сайте РГП «Казгидромет» имеется интерактивная карта гидрологического мониторинга, где представлены ежедневные фактические данные об уровне, расходе и температуре воды по 442 гидрологическим постам Казахстана. Интерактивная карта показывает степень опасности повышения уровня рек по трем градациям: низкая, неблагоприятная и опасная.

В Министерстве водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан (МВРИ РК) с 2025 года эксплуатируется информационная система для прогнозирования и моделирования паводков Tasqyn. В системе ведутся моделирование и прогнозирование паводков по 142 гидропостам на 128 участках рек. Прогнозы паводков используются для принятия мер по предотвращению затопления местности в результате наводнения. Система Tasqyn интегрирована в глобальную систему оповещения о наводнениях GloFAS.

На рисунке 1 представлены река Жабай, границы возможного затопления в пойме реки, паводкоопасные населенные пункты, метеорологическая станция Атбасар и гидрологический пост р. Жабай-Атбасар.

Исследованию бассейна реки Жабай посвящена статья А. Нурбациной и др. [7], где для анализа влияния изменения климата на гидрологические экстремумы в бассейне реки Жабай применяется интегрированная модель почвы и воды (Soil and Water Integrated Model). Ими оценено влияние изменения климата на среднегодовой сток и характер наводнений до конца текущего столетия. Изменение климата увеличивает интенсивность и частоту экстремальных осадков в бассейне реки Жабай, что приводит к повышению риска наводнений, особенно весной. Прогнозируется, что пиковый объем паводков увеличится в 1,5-2,0 раза с 2010 по 2040 год. Далее с 2041 по 2070 год ожидается двукратное увеличение пикового объема паводков.

В статье [5] рассмотрены основные факторы возникновения весенних половодий, технология их мониторинга, использование данных из различных источников (ДЗЗ, РГП «Казгидромет», международные платформы, департамент по чрезвычайным ситуациям), а также возможность разработки имитационной модели с помощью искусственного интеллекта. Здесь для анализа

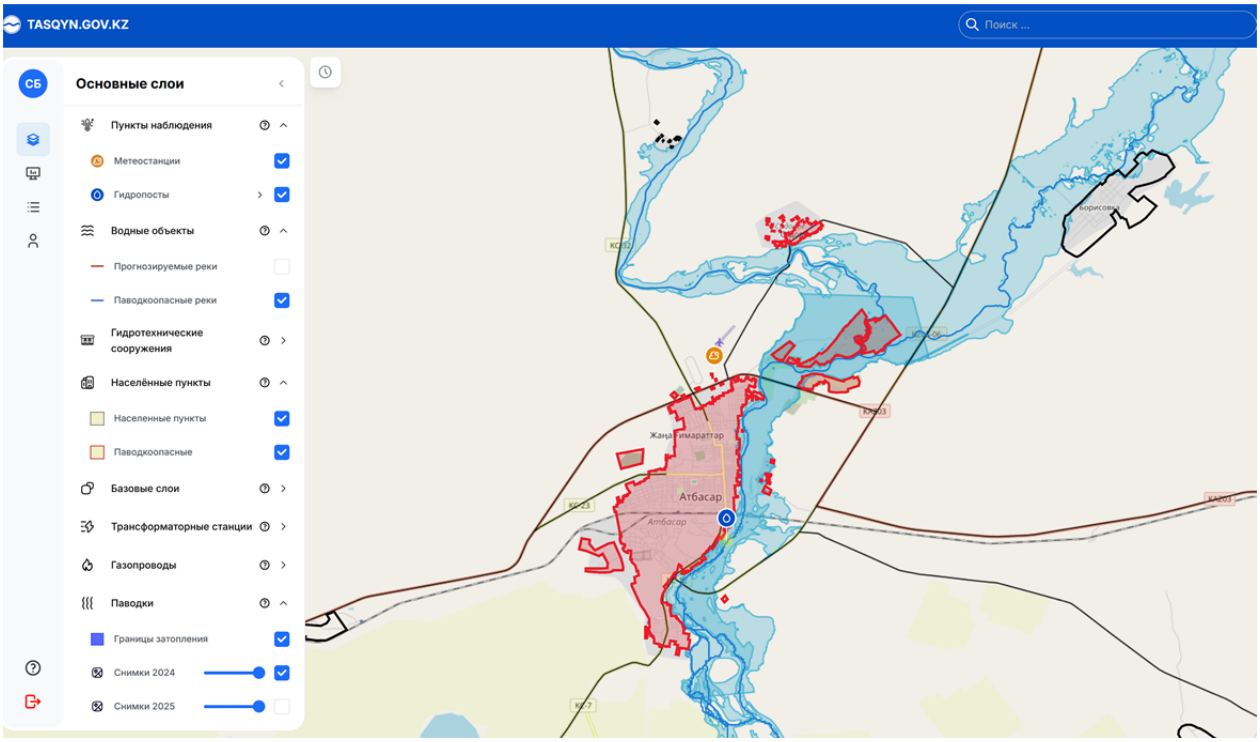


Рисунок 1 – Границы возможного затопления в пойме реки Жабай.
Источник: ИС «Tasqyn»

Figure 1 – The boundaries of possible flooding in the floodplain of the Zhabai River.
Source: IS «Tasqyn»

характеристик снежного покрова применяется портал данных FEWS NET (Famine Early Warning Systems Network), который предоставляет доступ к геопространственным данным и спутниковым продуктам ДЗЗ, включая различные параметры снежного покрова.

В работе [2] приведены результаты оценки пространственного распределения наводнений, прогнозирования и моделирования зон затопления территорий в результате изменения гидрологического состояния водных объектов в Северном Казахстане.

Цель нашего исследования является выявление ключевых метеорологических факторов формирования весеннего половодья на реке Жабай, анализ гидрометеорологических условий экстремального половодья и наводнения 2024 года, количественная оценка влияния гидрологического режима реки на уровень грунтовых вод в период весеннего половодья, а также оценка возможности магазинирования паводковых вод.

Данные и методы исследования. ***Территория.*** Территорией исследования является пойма реки Жабай и город Атбасар. Река Жабай протекает по территории Сандыктауского и Атбасарского районов Акмолинской области, входит в Есильский речной бассейн. Река берет начало на склоне горы Малиновая, имеет 14 притоков и впадает в реку Есиль [8].

На рисунке 2 представлен водосборный бассейн реки Жабай. Длина реки Жабай составляет 196 км, водосборная площадь бассейна реки – 8777,13 км^2.

Данные. В исследовании были использованы данные метеорологических станций (МС) и гидрологического поста (ГП) РГП «Казгидромет» МЭПР РК, а также материалы гидрогеологического поста (ГГП) Национальной гидрогеологической службы НАО «Казгидрогеология» МВРИ РК:

метеорологические показатели (температура воздуха, осадки, глубина промерзания почвы) с 1991 по 2026 г. по МС Атбасар и МС Балкашино;

гидрологические параметры (уровень воды, расход воды, температура воды) по ГП р. Жабай – с. Балкашино, ГП р. Жабай – г. Атбасар с 2014 по 2026 год;

гидрогеологические данные (уровень грунтовых вод) по 7 скважинам ГГП 26А Атбасар за 2020-2025 г.

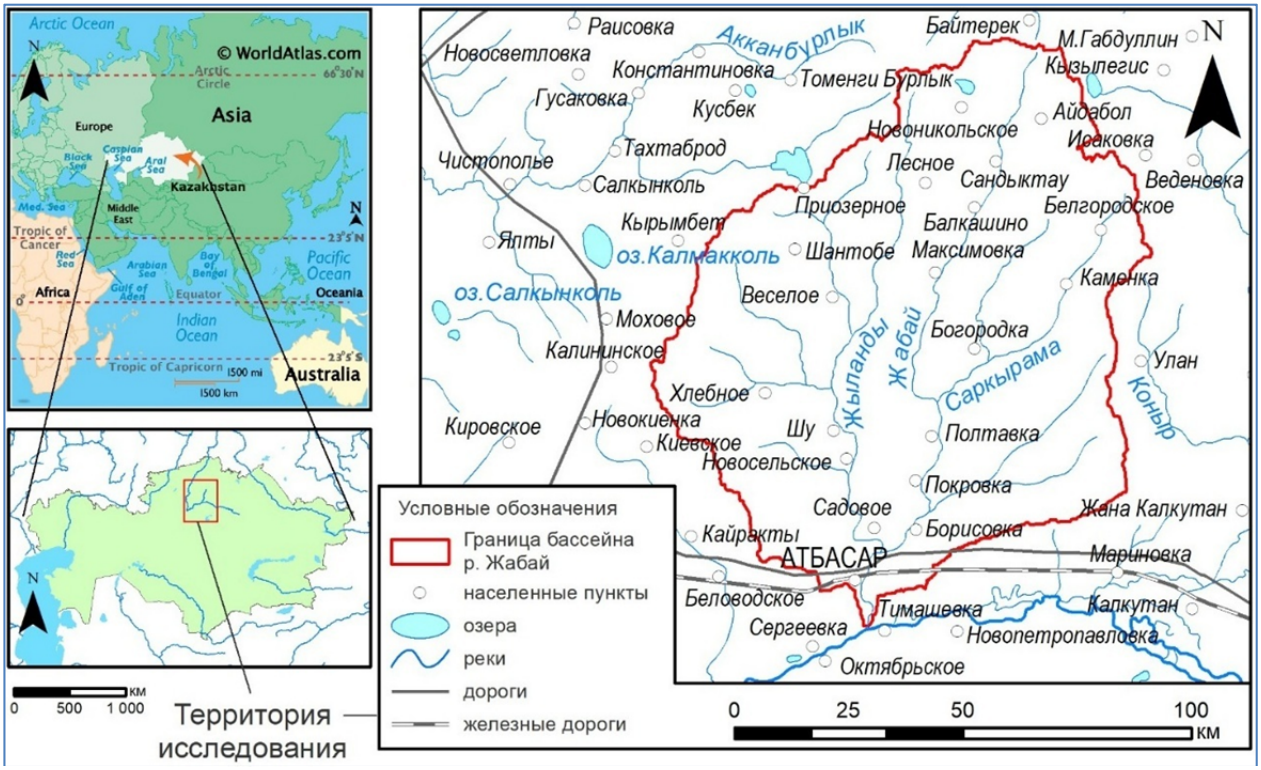


Рисунок 2 – Водосборный бассейн реки Жабай

Figure 2 – Drainage basin of the Zhabai River

Методы. В исследовании применялись методы математической статистики (корреляционный и регрессионный анализ), а также технологии геоинформационных систем (ГИС) и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Статистическая обработка данных и расчеты выполнены в Microsoft Excel с использованием надстройки «Пакет анализа», а также общепринятыми в гидрометеорологии методами [9-11].

С целью характеристики многолетнего режима и вариативности исследуемых показателей определялись базовые статистические параметры: среднее значение, медиана, асимметрия, мода, а также меры рассеяния – среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации.

Медиана – значение величины, которое делит многолетний ряд на две равные части: 50 % единиц ряда данных будут иметь значение меньше, чем медиана, 50 % – больше, чем медиана. Медиану рекомендуется определять при асимметричных распределениях и при неточных крайних значениях величины. Если медиана меньше среднего значения, то это означает, что в выборке присутствует некоторое количество экстремально больших значений (выбросов), которые смещают среднее арифметическое вправо (вверх). Если медиана больше среднего значения, то это означает, что в выборке присутствует некоторое количество экстремально малых значений, которые тянут среднее арифметическое влево (вниз).

Мода – наиболее часто встречающееся в данном многолетнем ряду значение. Моду рекомендуется определять для резко асимметричных распределений, когда среднее арифметическое не является типичным значением элемента.

Коэффициент асимметрии показывает степень и направление скошенности (несимметричности) распределения ряда данных относительно его среднего значения. Распределение симметричное при асимметрии менее 0,25, асимметрия слабая – 0,25-0,50; асимметрия умеренная – 0,50-1,0; резко асимметричное – более 1,0. Асимметрия бывает положительной (правосторонняя скошенность, экстремально высокие значения) и отрицательной (левосторонняя скошенность, экстремально низкие значения).

Среднеквадратическое отклонение – показатель рассеивания величины относительно её среднего значения.

Коэффициент вариации – мера относительного разброса величины. Числовой ряд считается однородным (слабая изменчивость) при вариации менее 17 %, достаточно однородным (умеренная изменчивость) при 17-33 %, неоднородным (сильная изменчивость) при более 33 %.

С применением корреляционного анализа оценивалась теснота взаимосвязей между гидрогеологическими, гидрологическими и метеорологическими показателями. Статистическая значимость полученных коэффициентов парной линейной корреляции Пирсона проверялась путем их сопоставления с критическими (табличными) значениями при 95 % уровне значимости и соответствующем числе степеней свободы.

Для аппроксимации зависимости уровня грунтовых вод от расходов воды использовался регрессионный анализ. Оценка точности и статистической надежности построенных регрессионных моделей проводилась на основе коэффициента детерминации (R^2), стандартной ошибки регрессии, t-критерия Стьюдента (значимость коэффициентов) и F-критерия Фишера (значимость модели в целом).

Коэффициент детерминации (R^2) представляет собой статистический показатель, характеризующий долю дисперсии зависимой переменной, объясняемую построенной регрессионной моделью. Он выступает универсальной мерой зависимости переменной от одного или нескольких факторов. В случае парной линейной регрессии R^2 равен квадрату коэффициента корреляции Пирсона (r^2) между исследуемыми переменными. Значения R^2, близкие к 1, свидетельствуют о высоком качестве аппроксимации, тогда как приближение к 0 указывает на слабую взаимосвязь и отсутствие зависимости между переменными.

t-критерий Стьюдента (t-тест) применяется для оценки статистической значимости различий между средними значениями двух выборок. Классическое условие его применимости предполагает соответствие исследуемых данных закону нормального распределения. Однако критерий устойчив к умеренным отклонениям от нормальности к небольшим нарушениям нормальности, в особенности при объемах выборок свыше 50 наблюдений [12].

С помощью t-критерия Стьюдента также выполняется проверка статистической значимости параметров регрессионного уравнения (коэффициентов регрессии). Расчетное значение критерия сопоставляется с критическим (табличным) при заданном уровне значимости и соответствующем числе степеней свободы. Если фактическое значение превышает критическое ($t > t_{кр}$), коэффициент регрессии признается статистически значимым [12].

Критерий Фишера (F-критерий) в регрессионном анализе применяется для оценки общей статистической значимости и адекватности модели в целом. Он отражает, насколько дисперсия, объясняемая включенными факторами, превосходит случайную остаточную дисперсию (ошибку модели). Расчетное значение критерия (F) сопоставляется с критическим (табличным) при заданном уровне значимости и соответствующем числе степеней свободы. Если расчетное значение превышает критическое (F > Fкр), регрессионная модель признается статистически значимой и адекватной.

При определении площади водосборного бассейна реки Жабай и дешифрировании материалов космической съемки в период наводнения в районе г. Атбасара применялся программный комплекс ArcGIS10 (ESRI).

Результаты исследования. Река Жабай характеризуется значительной сезонной и долгосрочной изменчивостью режима течения, существенным колебанием уровня воды, с отчетливыми периодами высокого и низкого уровня воды. Период с 1985 по 1999 год характеризовался высоким уровнем воды, а с 1999 по 2014 год – низким. С 2014 года наблюдаются экстремальные водные условия, характеризующиеся высоким содержанием воды в реке Жабай [13].

По данным М. М. Молдахметова и др. [14], на реке Жабай за многолетний период (1974-2014 г.) весеннее половодье в среднем начиналось 5 апреля, достигало пика 17 апреля и заканчивалось 23 мая. В работе также делается вывод о том, что в связи с потеплением климата наблюдаются более ранние сроки начала и окончания половодья, что приводит к сокращению его общей продолжительности.

В ходе нашего исследования были проведены следующие работы:

1) анализ гидрологического режима реки Жабай в период прохождения пика половодья в 2014-2026 г.;

2) определение ключевых метеорологических факторов, способствующих возникновению наводнений в районе г. Атбасара в результате высокого половодья на реке Жабай;

3) анализ гидрологических и метеорологических условий в период весеннего половодья и наводнения в 2024 году;

4) оценка влияния гидрологического режима реки Жабай на уровень грунтовых вод в период весеннего половодья;

5) оценка возможности аккумуляции (магазинирования) паводковых вод в подземных водоносных горизонтах.

1. Гидрологический режим реки Жабай на пике половодья. В таблице 1 приведены максимальный уровень воды (H_{max}, см и % от опасного уровня), максимальный расход воды (Q_{max}) и даты пика весеннего половодья на гидрологических постах р. Жабай – с. Балкашино и р. Жабай – г. Атбасар. Для оценки изменчивости показателей были определены их основные статистические характеристики – среднее значение (Xcp), медиана (Me), мода (Mo), асимметрия (Cs), стандартное отклонение (SD) и коэффициент вариации (Cv). Для параметров, где отсутствует выраженная асимметрия (Cs < 1,0), расчёт моды (Mo) не проводился.

Таблица 1 – Максимальные уровень и расход воды на пике половодья

Table 1 – The maximum level and maximum flow of water at the peak of the flood

Год	ГП р. Жабай – с. Балкашино				ГП р. Жабай – г. Атбасар			
	H_{max}, см	H_{max}, %	Q_{max}, м^3/с	Дата	H_{max}, см	H_{max}, %	Q_{max}, м^3/с	Дата
2014	469	90	161	10.04	805	98	1750	11.04
2015	422	81	80	14.04	720	88	80	17.04
2016	431	83	89	07.04	761	93	553	08.04
2017	537	103	142	17.04	886	108	3290	17.04
2018	359	69	35	14.04	662	81	238	14.04
2019	377	73	77	05.04	708	86	1530	06.04
2020	437	84	165	07.04	686	84	496	11.04
2021	374	72	94	14.04	709	86	704	16.04
2022	173	33	20	09.04	542	66	141	14.04
2023	323	62	46	12.04	681	83	914	07.04
2024	562	108	413	14.04	952	116	2570	11.04
2025	496	95	113	05.04	567	69	567	07.04
2026	338	65	55	02.04	755	92	702	04.04
Xcp	408	78	115	10.04	726	88	1040	11.04
Me	422	81	89	10.04	710	86	702	11.04
Mo	–		37,7	–	–		131,4	–
Cs	-0,52		2,11	-0,23	0,30		1,18	-0,07
SD	102		101	5	113		980	4
Cv, %	25		88	57	17		94	63

2014-2026 г. на реке Жабай пик половодья наблюдался со 2 по 17 апреля, при этом средней многолетней датой является 11 апреля. Опасные отметки уровня воды составляют: для ГП р. Жабай – с. Балкашино – 520 см, для ГП р. Жабай – г. Атбасара – 820 см. За последние 13 лет превышение опасного уровня было зафиксировано в 2017 и 2024 годах, когда произошли наводнения. В 2014 году, когда также произошло затопление г. Атбасара, уровень воды на ГП р. Жабай – г. Атбасар вплотную приблизился к опасной отметке (805 см, 98%). Тогда наводнение было вызвано весенним ледоходом, который начался 5 апреля. Уровень ледохода достиг пика 10 апреля, составив 867 см и превысив опасную отметку [15]. Близость среднего и медианного значений, а также невысокий коэффициент вариации (25 и 17 %) максимальных уровней воды на пике половодья на гидропостах указывает на их достаточно однородное распределение с умеренной изменчивостью.

Максимальный расход воды на пике половодья из года в год колеблется в широких пределах. За последние 13 лет максимальный расход воды на ГП р. Жабай – с. Балкашино варьировал от 20 до 413 м^3/с (среднее – 115 м^3/с), а на ГП р. Жабай – г. Атбасар – от 80 до 3290 м^3/с (среднее – 1040 м^3/с). На обоих гидрологических постах медианное значение меньше среднего и коэффициент асимметрия превышает единицу (Cs > 1,0), что указывает на наличие в ряду правосторонней асимметрии из-за экстремально больших значений расхода воды. Высокие значения коэффициента вариации (88 и 94 %) свидетельствует о выраженной неоднородности ряда и значительной межгодовой изменчивости расхода воды (см. таблицу 1).

Пик половодья в среднем наблюдается 10-11 апреля и характеризуется высокой межгодовой изменчивостью (Cv = 57 и 63 %). За исследуемые годы пик фиксировался со 2 по 17 апреля (см. таблицу 1). В 2014 году в районе ГП р. Жабай – г. Атбасар весеннее половодье продолжалось 40 сут (с 31 марта по 9 мая), дождевого паводка не было [15]. В 2017 году половодье длилось 25 сут (с 10 апреля по 4 мая), также без дождевого паводка [16]. В 2024 году весеннее половодье продолжалось с 31 марта по 4 мая (35 сут), без дождевого паводка [17].

Далее более подробно рассмотрим ГП р. Жабай – г. Атбасар, расположенный в непосредственной близости к исследуемой зоне затопления.

2. Метеорологические факторы весенних паводков. Весеннее половодье и угроза наводнения талыми водами зависят от метеорологических условий зимне-весеннего периода: снегозапасов, глубины промерзания почвы, температурного режима и осадков.

Река Жабай относится к рекам с преимущественно снеговым питанием. В её бассейне действуют две метеорологические станции, ориентированные по линии север – юг: МС Балкашино расположена ближе к верховьям, а МС Атбасар – в низовьях. Расстояние между ними составляет 83 км.

Объём весеннего половодья в основном определяется поступлением талых вод в русловую сеть. Режим и масштабы весеннего стока формируются под влиянием накопленных за зиму твёрдых осадков, глубины промерзания почвы и динамики её оттаивания [18]. При этом в ряде исследований отмечается отсутствие прямой связи между объёмами половодья и средней высотой снежного покрова в бассейнах рек Северного Казахстана; статистически значимая зависимость прослеживается лишь в условиях малоснежных зим [19].

В Северном Казахстане зима длится с ноября по март, весна начинается в апреле. При выпадении значительного количества осадков зимой формируется мощный снежный покров. Чем выше его мощность, тем больше тепла и времени требуется для полного таяния. При отсутствии данных о запасах воды в снежном покрове можно использовать суммарное количество осадков за зимний сезон (ноябрь – март). Почвенный покров влияет на скорость инфильтрации талой воды и на формирование поверхностного стока. Физические свойства почвы, включая гранулометрический состав и пористость, также влияют на пополнение грунтовых вод. По сравнению с мелкозернистыми грунтами крупнозернистые обладают более высокой скоростью инфильтрации [20, 21]. Однако ранней весной, пока почва ещё не оттаяла, талые воды практически не проникают вглубь независимо от типа грунта, вызывая интенсивный поверхностный сток. Соответственно определяющее значение имеет глубина зимнего промерзания: её высокие значения приводят к резкому увеличению объема поверхностного стока талых вод.

Показателем начала весны служит дата устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С. Однако снежный покров начинает таять задолго до этой даты за счёт радиационного прогрева. Дату начала таяния снежного покрова точнее характеризует устойчивый переход максимальной дневной температуры воздуха через 0 °С.

На процесс снеготаяния влияет интенсивность повышения температуры воздуха. Весной устойчивая теплая погода устанавливается с даты перехода среднесуточной температуры через 10 °С. Скорость нарастания температуры можно косвенно характеризовать продолжительностью периода между датами перехода через 0 и 10 °С. Чем короче этот интервал, тем быстрее прогревается воздух и интенсивнее тает снег, создавая условия для активного формирования поверхностного стока. Важным показателем также выступает средняя температура воздуха в апреле. Весенние осадки, выпадающие преимущественно в жидкой фазе, ускоряют процесс снеготаяния, что также приводит к усилению поверхностного стока. В качестве количественного показателя увлажнения можно использовать сумму осадков за апрель.

В бассейне реки Жабай зимний период в среднем начинается в конце октября и длится около пяти месяцев (ноябрь – март). Первое появление снега фиксируется 16–17 октября, однако устойчивый снежный покров формируется к 6–10 ноября. Его разрушение обычно начинается 7–10 апреля, а полный сход наблюдается 17–20 апреля. Запасы воды в снеге к концу зимы в районе МС Балкашино варьируют от 90 до 270 мм (в среднем 138 мм), а в районе МС Атбасар составляют 50–142 мм (в среднем 88 мм) [22]. Таким образом, средний многолетний объем снегозапасов в целом по бассейну реки Жабай (8777,13 км^2) к концу зимнего периода оценивается примерно в 991 800 тыс. м^3. Здесь почва полностью оттаивает в среднем 27-30 апреля ($D_{оп}$), самый ранний срок наступает 7-10 апреля, самый поздний – 14-20 мая [22].

В таблице 2 приведены средние многолетние значения (1991-2025 г.) основных метеорологических показателей на МС Балкашино и МС Атбасар.

Таблица 2 – Метеорологические показатели в бассейне реки Жабай

Table 2 – Meteorological indicators in the Zhabay River basin

МС	P, мм	$P_{11-3,}$ мм	h, см	D_0, дата	D_{10}, дата	T_4, °C	P_4, мм
Балкашино	420	142	100	05.04	05.05	4,3	24
Атбасар	320	104	120	04.04	03.05	5,3	20
Среднее	380	123	110	05.04	04.05	4,8	22

За год в среднем выпадает на МС Балкашино, расположенной ближе к верховью реки, 420 мм осадков, а на МС Атбасар, расположенной в низовье реки, – 320 мм. За зимний сезон (ноябрь-март) в среднем выпадают 104-142 мм осадков (P_{11-3}.). В конце зимы глубина промерзания почвы (h) в среднем составляет 100 см на МС Балкашино и 120 см на МС Атбасар. Меньшая глубина промерзания на МС Балкашино связана с более мощным снежным покровом при большем количестве осадков зимой. В годы с теплой зимой почва промерзает на глубину менее 100 см, а в годы с холодной зимой – более 100 см.

В бассейне реки Жабай весна (дата перехода через 0 °C, D_0) в среднем начинается 4-5 апреля. Устойчивая теплая погода (дата перехода через 10 °C, D_{10}) в среднем устанавливается 3-4 мая. Среднемесячная температура воздуха в апреле (T_4) с севера на юг растет от 4,3 до 5,3 °C. За апрель в среднем выпадает 20-24 мм осадков (P_4). Для определения ключевых метеорологических факторов, способствующих наводнениям, были проанализированы метеорологические условия, сложившиеся с 2014 по 2026 год.

В таблице 3 приведены максимальные уровни и температура воды на пике половодья на ГП р. Жабай – г. Атбасар, а также осреднённые по двум МС (Балкашино и Атбасар) метеорологические показатели, характеризующие среднее состояние погоды в бассейне реки Жабай. Для оценки изменчивости показателей были определены их основные статистические характеристики – среднее значение, медиана (Me), асимметрия (Cs), стандартное отклонение (SD) и коэффициент вариации (Cv). Ввиду отсутствия выраженной асимметрии (Cs < 1,0) расчёт моды не проводился.

Как было указано выше, в 2017 и 2024 годах затопление г. Атбасар произошло из-за высокого весеннего половодья, а в 2014 году ключевой причиной стал весенний ледоход. На пике половодья температура воды составляла: в 2014 году – 0,7 °C, в 2017 году – 2,3 °C, в 2024 году – 1,1 °C (см. таблицу 3). Детальный анализ механизма наводнения в результате ледохода требует отдельного исследования, в связи с чем основной упор был сделан на данные 2017 и 2024 годов. Количество осадков, выпавших за зимний сезон (P_{11-3}), в среднем за 13 лет составило 139 мм (с колебаниями от 97 мм в 2015 году до 206 мм в 2024 году), а анализируемый ряд характеризуется как достаточно однородный с умеренной изменчивостью (Cv = 22 %). Глубина промерзания почвы в конце зимы (h) в среднем составила 92 см, изменяясь от 50 см в 2016 году до 132 см в 2022 году, и данный показатель характеризуется высокой изменчивостью (Cv = 38 %).

Устойчивый переход максимальной дневной температуры воздуха через 0 °C (D_{0max}) в среднем происходит 25 марта. Самая ранняя дата фиксировалась 13 марта, а самая поздняя – 6 апреля. Этот срок можно считать началом таяния снега, и он отличается сильной межгодовой изменчивостью (Cv = 60 %).

Таблица 3 – Гидрологические и метеорологические показатели в период весеннего половодья в бассейне р. Жабай

Table 3 – Hydrological and meteorological indicators during the spring flood in the basin of the Zhabai River

Год	H_{max}, см	Тв, °С	P_{11-3}, мм	h, см	D_{0max}	D_0	D_{10}	T_4, °С	P_4, мм	N_{0m-10}, сут	P/N, мм/сут
2014	805	0,7	122	77	28.03	14.04	30.04	3,0	20	33	3,8
2015	720	2,1	97	118	03.04	10.04	30.04	2,9	27	27	3,6
2016	761	0,8	148	50	23.03	27.03	23.04	7,6	38	31	4,8
2017	**886**	**2,3**	**146**	**121**	**06.04**	**08.04**	**02.05**	**4,4**	**24**	**26**	**5,7**
2018	662	1,0	107	106	04.04	15.04	04.05	2,9	31	30	3,6
2019	708	0,8	107	103	22.03	31.03	04.05	4,3	38	43	2,5
2020	686	1.0	161	25	13.03	01.01	16.04	8,1	41	35	4,7
2021	709	1,3	111	128	02.04	07.01	02.05	4,5	4	30	3,7
2022	542	2,2	131	132	28.03	02.04	26.04	7,7	2	29	4,6
2023	681	1,7	168	76	22.03	01.04	23.04	4,3	24	32	5,2
2024	**952**	**1,1**	**206**	**93**	**25.03**	**04.04**	**17.04**	**7,3**	**34**	**23**	**9,0**
2025	567	2,8	162	46	15.03	29.03	20.04	9,7	28	36	4,5
2026	755	0,6	140	118	18.03	28.03	21.04	8,4	38	34	4,2
Xcp	726	1,4	139	92	25.03	04.04	26.04	5,8	27	31	4,6
Me	710	1,1	140	103	25.03	03.04	26.04	4,5	28	31	4,5
Cs	0,15	0,44	-0,04	-0,32	0,11	0,28	0	0,51	-0,07	0,05	0,03
SD	113	0,7	31	35	8	6	6	2,4	12	5	1,6
Cv, %	17	51	22	38	60	75	66	42	46	16	34

Начало климатической весны (дата устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С, D_0) в среднем фиксируется 4 апреля при наиболее раннем сроке 27 марта и наиболее позднем 15 апреля. Этот показатель также характеризуется очень высокой межгодовой изменчивостью (Cv = 75 %). Тёплая погода с устойчивым переходом среднесуточной температуры воздуха через 10 °С (D_{10}) в среднем устанавливалась 26 апреля (самая ранняя дата – 16 апреля, самая поздняя – 4 мая) и также отличается высокой изменчивостью (Cv = 66 %).

Средняя температура воздуха за апрель (T_4) варьировала от 2,9 до 9,7 °С, составив в среднем 5,8 °С. Данный показатель также характеризуется высокой межгодовой изменчивостью (Cv = 42 %). За апрель количество выпавших осадков (P_4) колебалось от 2 до 41 мм, а в среднем составило 27 мм. Ряд осадков также отличается высокой изменчивостью (Cv = 46 %). Также была определена продолжительность периода от даты перехода максимальной дневной температуры воздуха через 0 °С до даты перехода среднесуточной температуры через 10 °С, названная продолжительностью периода прогрева воздуха до 10°С (N_{0m-10}). Этот показатель зависит от интенсивности нарастания температуры воздуха в период снеготаяния и может служить индикатором риска высокого половодья. В рассматриваемые годы эта продолжительность колебалась от 27 до 43 сут, а в среднем составила 31 сут. Многолетний ряд этого показателя характеризуется однородностью и малой изменчивостью (Xcp = Me; Cv = 16 %).

Кроме того, было рассчитано отношение количества зимних осадков (P_{11-3}) к продолжительности периода прогревания воздуха до 10°С (N_{0m-10}). Этот параметр условно назван показателем интенсивности снеготаяния (P/N, мм/сут), поскольку он косвенно характеризует скорость таяния накопившихся за зиму твёрдых осадков.

Корреляционный анализ показал, что уровень и сток воды на пике половодья имеют наибольшую связь с показателем P/N (коэффициенты корреляции равны 0,57 и 0,53 соответственно), а также с зимними осадками (0,36 и 0,39) и показателем N_{0m-10} (минус 0,45 и минус 0,30). Большая изменчивость метеорологических показателей и слабая корреляционная связь затрудняют выявление критических факторов высокого половодья, приводящего к наводнениям. Тем не менее в качестве наиболее значимых предикторов можно выделить следующие показатели:

1) сумма осадков за ноябрь-март (P_{11-3}) – более 140 мм;
2) глубина промерзания почвы в конце зимы – более 90 см;
3) продолжительность периода прогрева воздуха до 10 °С (N_{0m-10}) – менее 30 сут;
4) показатель интенсивности снеготаяния (P/N) – более 5 мм/сут.

В то же время возможны наводнения из-за весеннего ледохода и ледовых заторов. На основе фактических зимних данных и прогнозных значений количества осадков и температуры воздуха на апрель можно заранее оценить опасность формирования высокого половодья, приводящего к наводнению.

3. Гидрологические и метеорологические условия в период весеннего половодья и наводнения в 2024 году. Наиболее масштабное наводнение на реке Жабай наблюдалось в 2024 году. Тогда в бассейне реки Жабай за зимний сезон (ноябрь-март) выпало 206 мм осадков, превысив критическое значение на 66 мм. Глубина промерзания почвы в конце зимы составила 93 см, что также превысило критический уровень (см. таблицу 2).

В таблице 4 подробно представлены суточные метеорологические и гидрологические данные с 24 марта по 20 апреля 2024 года, зафиксированные на МС Атбасар и ГП р. Жабай – г. Атбасар. Положительная среднесуточная температура воздуха установилась 4 апреля и устойчиво перешла

Таблица 4 – Гидрометеорологические данные в период весеннего половодья 2024 года

Table 4 – Hydrometeorological data during the spring flood of 2024

Дата	T, °C	Tmax, °C	Tmin, °C	P, мм	Q, м^3/с	H, см
24.03.2024	-10,2	-0,8	-17,0		1,5	187
25.03.2024	-1,5	1,2	-4,1		1,5	187
26.03.2024	-2,4	2,3	-9,5		1,6	187
27.03.2024	2,5	3,1	1,5	2	1,7	186
28.03.2024	2,5	3,7	0,9	2	1,8	190
29.03.2024	0,8	1,6	0,2	0,6	2,4	203
30.03.2024	-3,4	0,7	-5,0	0,7	3,0	197
31.03.2024	-3,0	1,7	-7,5		3,6	194
01.04.2024	-0,5	2,3	-3,6		4,2	195
02.04.2024	0,8	1,9	-0,8		4,5	238
03.04.2024	-0,9	0,9	-2,5		7,1	329
04.04.2024	1,3	6,5	-3,1		12	378
05.04.2024	3,0	7,9	-0,6		67	458
06.04.2024	0,6	5,8	-2,8		190	580
07.04.2024	1,7	2,9	0,2		375	667
08.04.2024	4,0	9,4	1,8	0,4	546	718
09.04.2024	3,3	4,9	1,4	0,4	891	797
10.04.2024	4,0	8,4	1,5	0,8	1170	852
11.04.2024	1,7	5,3	-1,5		2330	952
12.04.2024	3,7	9,6	-1,6		2310	950
13.04.2024	8,6	14,3	5,1	0,6	654	840
14.04.2024	10,7	16,5	7,3	1,8	905	913
15.04.2024	5,6	9,0	0,5		861	901
16.04.2024	9,3	16,1	4,9	0,3	642	836
17.04.2024	11,9	17,3	7,4	4,5	539	802
18.04.2024	14,3	23,1	7,9		438	688
19.04.2024	17,5	26,2	8,7		337	653
20.04.2024	17,4	26,2	9,1		223	600

через 10 °С 17 апреля. Максимальная дневная температура воздуха устойчиво перешла через 0 °С 25 марта. В результате продолжительность периода прогрева воздуха до 10 °С (N_{0m-10}) составила 23 сут (с 25 марта по 17 апреля), что подтверждает факт резкого потепления. В этот период значимых осадков не наблюдалось, а ночью сохранялась отрицательная температура воздуха. Ночная минимальная температура воздуха устойчиво перешла в положительную только 13 апреля. Показатель интенсивности снеготаяния (P/N) достиг 9 мм/сут.

Таким образом, сложившиеся метеорологические условия весны 2024 года способствовали интенсивному таянию снега в бассейне реки Жабай, что привело к повышению уровня воды до 952 см и затоплению прибрежных территорий, в том числе восточной части г. Атбасара (см. таблицу 4).

На рисунке 3 представлена динамика уровня и расхода воды на ГП Жабай-Атбасар в апреле 2024 года. Вследствие интенсивного снеготаяния на реке Жабай с 1 по 11 апреля расход воды резко увеличился с 4 м^3/с до 2330 м^3/с, а уровень воды поднялся с 195 до 952 см, превысив опасную отметку на 132 см. Превышение опасного уровня наблюдалось с 10 по 16 апреля, что привело к затоплению поймы реки, а также восточной части г. Атбасара. Пик половодья пришёлся на 11 апреля. Затем показатели пошли на спад, и к 30 апреля расход воды уменьшился до 43 м^3/с, а уровень воды – до 409 см.

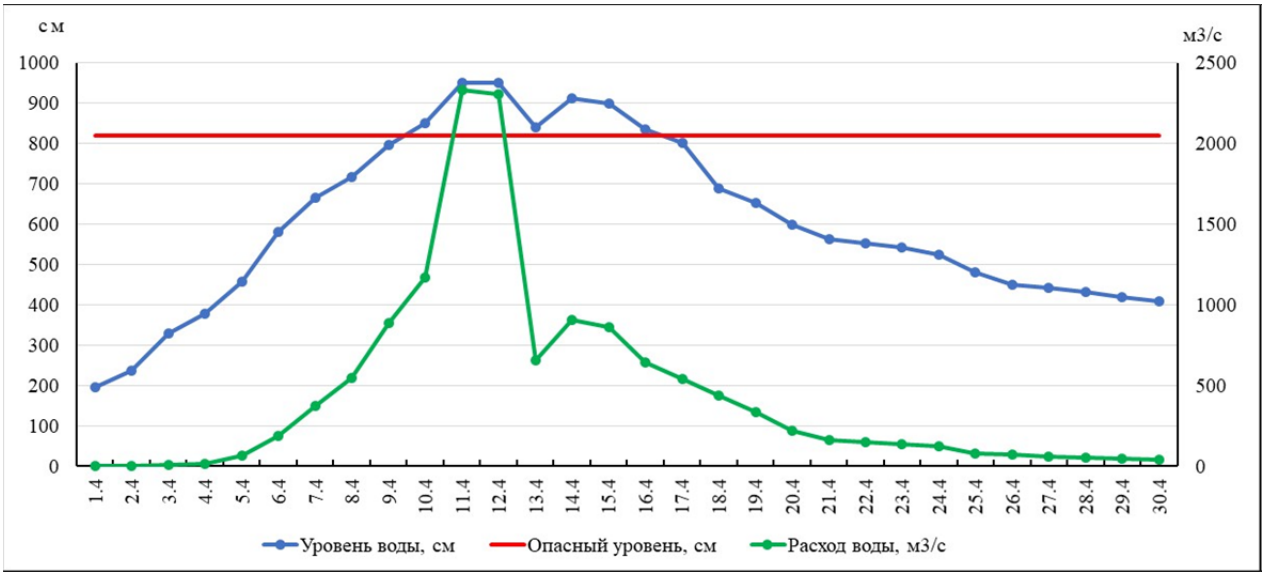


Рисунок 3 – Уровень и расход воды на ГП Жабай – г. Атбасар в апреле 2024 года

Figure 3 – Water level and flow at the Zhabai – c. Atbasar HP in April 2024

На рисунке 4 представлена река Жабай в районе г. Атбасара в естественном состоянии (28 апреля 2026 г.) и в период наводнения, вызванного весенним половодьем (14 апреля 2024 г.). На спутниковом снимке от 14 апреля 2024 года отчётливо видно затопление восточной части города Атбасара, а также масштабные разливы вдоль реки.

4. Влияние гидрологического режима реки Жабай на грунтовые воды в период весеннего половодья. Пополнение запасов подземных вод можно разделить на диффузное и сфокусированное. Диффузное пополнение представляет собой процесс, происходящий на обширных территориях, когда талая или дождевая вода просачивается через ненасыщенную зону к грунтовым водам. Сфокусированное пополнение – это просачивание воды вниз к водоносному горизонту из поверхностных водоёмов (озёр, рек, каналов) [23].

В пойме реки Жабай преобладает сфокусированное пополнение грунтовых вод. Формирование их режима определяется как инфильтрацией талых снеговых вод, так и гидравлической связью с русловым потоком в период прохождения паводковой волны. В условиях весеннего половодья река выполняет функцию области интенсивного питания водоносного горизонта. Таким образом, гидрологический режим реки Жабай в период весеннего половодья оказывает существенное



А Б

Рисунок 4 – Спутниковый снимок поймы реки Жабай. *А* – 28 апреля 2026 г.; *Б* – 14 апреля 2024 г.

Figure 4 – Satellite image of the floodplain of the Zhabai River. *А* – April 28, 2026; *Б* – April 14, 2024

влияние на уровень грунтовых вод. Пополнение запасов подземных вод, как правило, происходит интенсивнее в прибрежных равнинных поверхностных водоносных горизонтах, трещиноватых кристаллических породах и карбонатных породах, а также в районах с высоким содержанием песка. В то же время объём пополнения может значительно варьироваться в пределах водосборного бассейна из-за различий в рельефе [23].

В бассейне реки Жабай вдоль русла распространены пойменные почвы, а далее – чернозёмы южные карбонатные. В низовьях на левом берегу реки, ниже города Атбасара, распространены тёмно-каштановые солонцеватые почвы. По механическому составу они являются глинистыми и тяжелосуглинистыми, то есть плохо пропускают воду и обладают высокой полевой влагоемкостью. Здесь наименьшая полевая влагоемкость (максимальное количество воды, которое почва может удержать после стекания гравитационной воды) верхнего метрового слоя почвы составляет около 200 мм [22]. Как отмечалось ранее (см. таблицу 2), в бассейне реки Жабай за холодный сезон (ноябрь-март) в среднем выпадает 139 мм (при диапазоне от 97 до 206 мм). С учётом осенних осадков за август-октябрь (около 80 мм) их суммарная величина составляет около 220 мм. Однако часть влаги расходуется на испарение: осенью – с поверхности почвы с растительным покровом, зимой – со снежного покрова, весной – со слоя талой воды, что уменьшает долю эффективных осадков. По данным [22], запасы воды в снежном покрове в полевых условиях в конце зимы в среднем составляют 130 мм на МС Балкашино и 80 мм на МС Атбасар. Влажность метрового слоя почвы в конце августа равна в среднем 50% на МС Балкашино и 31% на МС Атбасар от наименьшей полевой влагоемкости, а в начале мая возрастает до 79 и 62% соответственно. Таким образом, талые воды преимущественно задерживаются в верхнем мом слое почвы, и лишь в многоснежные годы возможно диффузное пополнение грунтовых вод. Следовательно, ведущую роль в пополнении запасов подземных вод бассейна реки Жабай играет инфильтрация руслового и пойменного речного стока.

Для исследования влияния весеннего половодья на уровень грунтовых вод были выбраны 7 скважин гидрогеологического поста 26А Атбасар, расположенных южнее г. Атбасара, ниже гидрологического поста р. Жабай-Атбасар. Из них 3 скважины (2620, 2621, 2641) находятся на левом берегу р. Жабай, 4 скважины (2612, 2612а, 2613, 2613а) – на правом. Скважины 2612, 2612а и 2641 расположены в прирусловой зоне (150-256 м), остальные 4 скважины удалены на 1,1-1,7 км. Уровень (глубина залегания) грунтовых вод составляет от 2,5 до 5,2 м (таблица 5).

Таблица 5 – Характеристики скважин гидрогеологического поста 26А Атбасар

Table 5 – Characteristics of wells of the hydrogeological post 26A Atbasar

Скважина	Широта	Долгота	Расстояние до реки, м	Абсолютная отметка, м	Литология	Глубина до воды, м
2612	51.742	68.389	166	272,7	Песчаники, алевролиты	2,5
2612а	51.742	68.389	150	272,7	Пески	2,5
2613	51.734	68.383	1715	272,6	Песчаники, известняки	3,1
2613а	51.734	68.382	1725	272,6	Гравино-песчаные отложения	2,8
2620	51.766	68.384	1112	276,3	Песчаники, алевролиты	3,4
2621	51.761	68.384	1131	277,6	Песчаники, алевролиты	5,2
2641	51.747	68.391	256	273,7	Аргиллиты	4,9

Был проведен корреляционный анализ рядов уровней грунтовых вод по 7 скважинам за период с 01.01.2020 по 10.06.2025 год (таблица 6). Поскольку замеры выполняются трижды в месяц, за указанный период длина ряда составила 196 значений. Высокие коэффициенты корреляции (r = 0,84-0,98) указывают на тесную гидравлическую связь между скважинами и подтверждают наличие единого источника питания. Скважины синхронно реагируют на внешние факторы (речной сток, осадки, сезонные колебания).

Таблица 6 – Корреляционная матрица рядов уровней грунтовых вод по скважинам гидрогеологического поста 26А Атбасар

Table 6 – Correlation matrix of the series of groundwater levels for wells of the hydrogeological post 26A Atbasar

Скважина	2612	2612а	2613а	2613	2620	2621	2641
2612	1						
2612а	0,97	1					
2613а	0,91	0,96	1				
2613	0,88	0,95	0,99	1			
2620	0,84	0,88	0,89	0,89	1		
2621	0,85	0,86	0,88	0,87	0,98	1	
2641	0,90	0,95	0,97	0,96	0,94	0,94	1

Для оценки зависимости уровня грунтовых вод от гидрологического режима реки Жабай и атмосферных осадков был проведён корреляционный анализ. Определялась теснота связи между расходом воды в реке Жабай (ГП р. Жабай – г. Атбасар) и уровнем грунтовых вод в семи скважинах в период весеннего снеготаяния и половодья (1 марта – 10 июня) за 2020-2025 годы. Уровень грунтовых вод в скважинах измеряется 3 раза в месяц (1, 10 и 20-го числа), поэтому учитывалась накопленная с 1 марта сумма суточных расходов воды через каждые 10 сут (∑Q). Поскольку скважины удалены от реки на расстояние 150-1725 м, а пополнение грунтовых вод инфильтрацией через русла реки происходит с запаздыванием, теснота связи определялась со сдвигом на 2, 4, 6, 8, 10 и 12 сут. Наибольшие коэффициенты парной корреляции (r от -0,63 до -0,78) наблюдались при сдвиге рядов расхода воды на 8 и 10 сут по прирусловым скважинам (2612, 2612а, 2641) и на 10 и 12 сут по дальним скважинам (2613, 2613а, 2620, 2621), то есть изменение расхода воды отражается на уровне грунтовых вод с запаздыванием на 8-12 сут (таблица 7).

Таблица 7 – Коэффициенты корреляции между уровнем грунтовых вод в скважинах и расходом воды (∑Q), а также количеством осадков (∑P)

Table 7 – Correlation coefficients between the groundwater level in wells and water flow (ΔQ), as well as precipitation (ΔP)

Скважина	2612	2612а	2613а	2613	2620	2621	2641
∑Q	-0,75	-0,78	-0,73	-0,73	-0,66	-0,63	-0,71
∑P	-0,64	-0,62	-0,57	-0,53	-0,45	-0,44	-0,51

Кроме того, оценивалась теснота связи между атмосферными осадками в бассейне реки Жабай (среднее по МС Балкашино и МС Атбасар) и уровнем залегания грунтовых вод в семи скважинах. В расчётах учитывались суммы осадков, накопленные с 1 октября (начало гидрологического года) по 1, 10 и 20-е числа с марта по июнь. Корреляционный анализ с временным сдвигом не выявил существенных различий, что обусловлено незначительной долей весенних осадков в общей накопленной сумме: около 90 % приходится на осадки холодного периода года. Связь между уровнем грунтовых вод и накопленной суммой осадков (∑P) оказалась умеренной, с коэффициентами корреляции (r) от -0,44 до -0,64 (см. таблицу 7). За исследуемые 6 лет объем выборки составил 65 значений. При числе степеней свободы 63 и 95 % уровне значимости (p = 0,05) критическое значение коэффициента корреляции Пирсона составляет $r_{кр}$ = 0,25. Превышение рассчитанными коэффициентами корреляции критического порога по модулю ($|r| > r_{кр}$) подтверждает статистическую значимость связей уровня грунтовых вод как с расходом воды в реке, так и с атмосферными осадками. Теснота связи между расходом воды (∑Q) и суммой осадков (∑P) оказалась высокой (r = 0,80), что подтверждает определяющее влияние осадков, выпавших с 1 октября, на формирование весеннего половодья на ГП р. Жабай – г. Атбасар.

Таким образом, положение уровня грунтовых вод в период весеннего половодья во всех семи скважинах ГГП 26А Атбасар определяется как суммой осадков, накопленных с 1 октября, так и суммарным объемом расхода воды в р. Жабай, накопленным с 1 марта. С увеличением количества осадков и расхода воды в реке происходит подъём уровня грунтовых вод в скважинах (уменьшается глубина их залегания от поверхности земли).

Методом регрессионного анализа были получены уравнения зависимости уровня грунтовых вод в семи скважинах от расхода воды на ГП р. Жабай – г. Атбасар. Расчётный уровень грунтовых вод на заданную дату ($У_i$) определяется как сумма исходного уровня на 1 марта ($У_1$) и величины его изменения до заданной даты (ΔУ):

$$У_i = У_1 + ΔУ.$$

Величина изменения грунтовых вод (ΔУ) определяется суммарным расходом воды, накопленным с 1 марта до расчётной даты (∑Q), с временным лагом в 10 сут, т.е. гидрологический режим реки влияет на динамику грунтовых вод с 10-суточным запаздыванием.

В таблице 8 приведены регрессионные уравнения зависимости величины изменения уровня грунтовых вод (ΔУ, м) в скважинах ГГП 26А Атбасар от суммарного расхода воды (∑Q, $м^3/с$) на ГП р. Жабай – г. Атбасар.

Таблица 8 – Уравнения регрессии зависимости изменения уровня грунтовых вод от расхода воды в реке Жабай

Table 8 – Regression equations for the dependence of changes in the groundwater level on the flow of water in the Zhabai River

Скважина	Уравнение	R^2	S_e, см	SE_b	SE_a, см	t-ст	F
2612	ΔУ = - 0,0002∑Q - 0,0951	0,66	0,514	0,00002	0,0794	11,2	126,1
2612а	ΔУ = - 0,0002∑Q - 0,1451	0,65	0,553	0,00002	0,0885	10,9	120,6
2613	ΔУ = - 0,0002∑Q - 0,1174	0,63	0,504	0,00002	0,0778	10,4	107,8
2613а	ΔУ = - 0,0002∑Q - 0,1287	0,57	0,521	0,00002	0,0805	9,2	85,2
2620	ΔУ = - 0,0001∑Q - 0,1711	0,63	0,356	0,00001	0,0551	10,4	108,5
2621	ΔУ = - 0,0001∑Q - 0,1269	0,59	0,389	0,00001	0,0600	9,5	90,3
2641	ΔУ = - 0,0002∑Q - 0,1665	0,54	0,555	0,00002	0,0857	8,7	76,3
Критическое значение при n = 66 (k = 64) и p = 0,05						2,0	4,0

Значения коэффициента детерминации (R^2 = 0,54–0,66) полученных уравнений регрессии подтверждают приемлемое качество аппроксимации и устойчивую связь между уровнем грунтовых вод и расходом воды в реке.

Суммарное влияние неучтённых факторов отражает стандартная ошибка регрессии (S_e), характеризующая среднее отклонение фактических значений зависимой переменной от линии регрессии. Для полученных уравнений величина S_e изменяется от 0,356 до 0,555. При этом стандартные ошибки коэффициентов уравнений составляют: для углового коэффициента (SE_b) – от

0,00001 до 0,00002, для свободного члена (SE_a) – от 0,0551 до 0,0885. Для оценки надёжности и статистической значимости регрессионных уравнений применялись t-критерий Стьюдента и F-критерий Фишера. При числе степеней свободы k = 64 и уровне значимости p = 0,05 критические значения составляют $t_{кр}$ = 2,0 и $F_{кр}$ = 4,0. Фактические расчётные значения t-критерия для коэффициентов уравнений существенно превышают критический порог, что позволяет отвергнуть нулевую гипотезу и подтверждает статистическую значимость выявленной связи. Расчётные значения F-критерия также значительно выше критического, что подтверждает общую адекватность и статистическую значимость построенных уравнений регрессии.

Таким образом, результаты исследований подтверждают наличие статистически значимой и тесной связи между уровнем грунтовых вод в скважинах гидрогеологического поста 26А Атбасар и гидрологическим режимом реки Жабай в период весеннего половодья.

5. Оценка возможности магазинирования паводковых вод. Для борьбы с наводнениями применяется комплекс мер, включая строительство противопаводковых защитных сооружений, создание водохранилищ, дамб и плотин, а также улучшение дренажных систем. Кроме того, к мерам снижения риска наводнений относится подземное хранение паводковых вод. Подземные воды выступают в качестве буфера, смягчающего последствия как наводнений, так и засух. Например, паводки способствуют пополнению запасов подземных вод, что позволяет смягчить последствия летней засухи [24].

В работе [25] показано, что для бассейна реки Есиль характерна низкая степень синхронности внутригодового расхода воды и атмосферных осадков, что определяет возможность управления и регулирования стока с помощью гидротехнических сооружений, ориентированных на магазинирование поверхностного стока в ранневесенний период. В условиях дефицита воды актуальным является вопрос накопления паводковых вод для дальнейшего их использования в различных отраслях экономики. Подобные меры позволяют уменьшить масштабы наводнений и использовать собранную воду для орошения сельскохозяйственных угодий. Для сбора поверхностного стока необходимо выявить участки с понижениями рельефа или подземные хранилища. В статье [26] предложен инструмент выявления потенциальных мест для создания фермерских прудов, основанный на технологиях ДЗЗ и ГИС. При этом учитываются гидрогеологические факторы, уклон местности, плотность дренажной сети (водосбора), растительный покров, тип почвы и запас воды в снежном покрове.

Грунтовые воды являются верхним, первым от поверхности земли водоносным горизонтом. Оптимальным резервуаром для накопления и хранения (магазинирования) подземных вод выступают более глубокие водоносные горизонты, расположенные в трещиноватых породах. Для выявления подземных хранилищ, пригодных для магазинирования паводковых вод, необходимо изучить вертикальный разрез поймы реки.

Под магазинированием паводковых вод понимается сбор и перевод избыточных поверхностных вод в подземные водоносные горизонты. Сначала паводковые воды отстаиваются от взвешенных частиц (песка, глины и т.д.) в отстойниках. Далее осветлённая (очищенная) вода переводится в подземный водоносный горизонт открытым (бассейновым) или закрытым (скважинным) способами. При открытом способе воду заливают в специально подготовленные инфильтрационные бассейны, где под действием силы тяжести она просачивается через почву в водоносный горизонт. При закрытом способе вода принудительно закачивается под давлением через поглощающие скважины в глубокий водоносный горизонт. На Атбасарском месторождении подземных вод распространены четвертичные аллювиальные отложения долины р. Есиль и палеозойские образования, содержащие подземные воды. В связи с малой мощностью и сравнительно невысокой водообильностью подземные воды четвертичных аллювиальных отложений не могут самостоятельно использоваться как источник централизованного водоснабжения, но они являются надёжным резервом восполнения эксплуатационных запасов нижележащих палеозойских образований [27]. Исследуемая пойма реки Жабай относится к типу II – «сезонное, преимущественно весеннее и осеннее питание грунтовых вод» и к подтипу В – «скудное питание» (скудное увлажнение с коэффициентом увлажнения 0,2-0,4). Почвогрунт является слабодренированным [28].

На схематической гидрогеологической карте мониторингового поста 26А Атбасар представлено пространственное распределение первого от поверхности земли водоносного горизонта (рисунок 5).

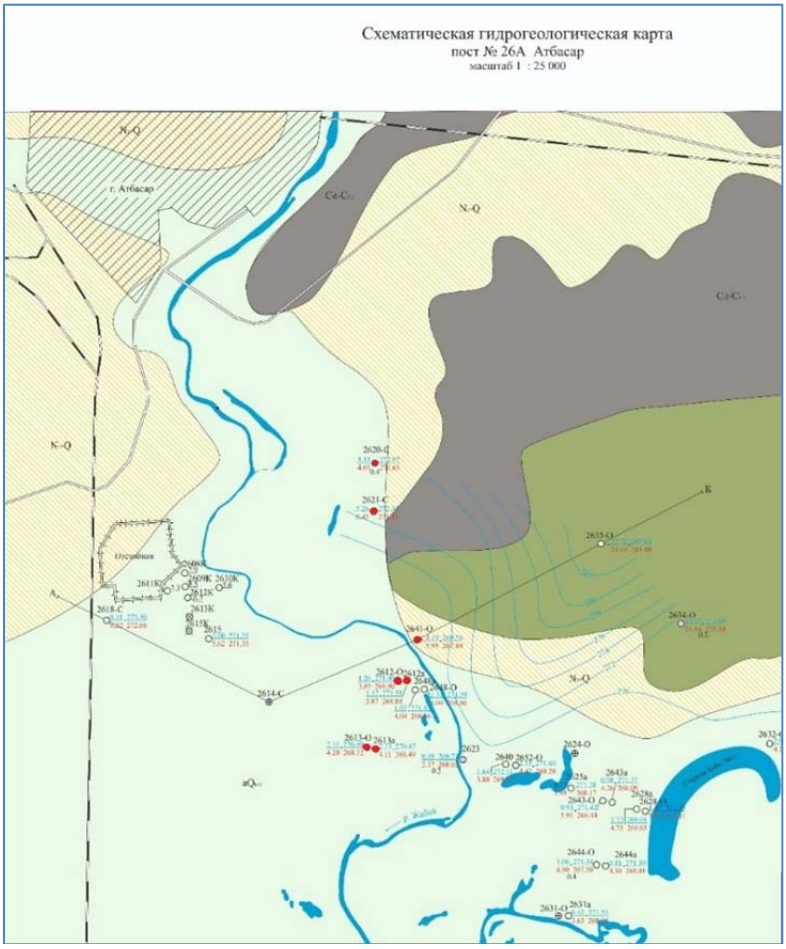


Рисунок 5 – Вырезка из схематической гидрогеологической карты мониторингового поста 26А Атбасар [28]

Figure 5 – Excerpt from the schematic hydrogeological map of the monitoring post 26A Atbasar [28]

На рисунке 6 представлена схема гидрогеологического разреза по линии А-Б, обозначенного на рисунке 5, проходящей вблизи исследуемых нами скважин 2641, 2612 и 2612а.

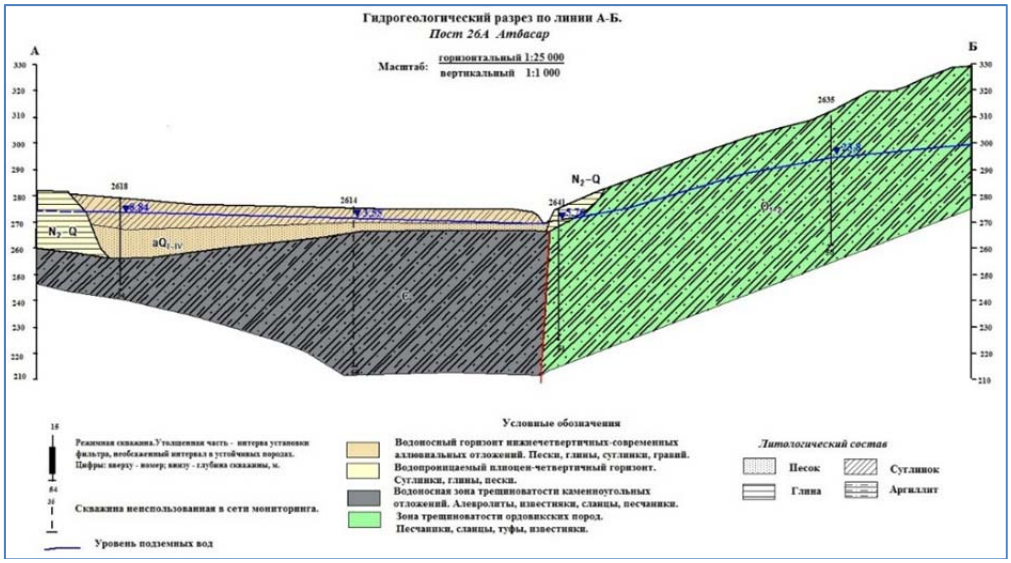


Рисунок 6 – Схема гидрогеологического разреза по линии А-Б мониторингового поста 26А Атбасар [28]

Figure 6 – Diagram of the hydrogeological section along the A-B line of the Atbasar monitoring post 26A [28]

Левый, более возвышенный берег реки Жабай до глубины около 10 м является водопроницаемым плиоцен-четвертичным горизонтом (N_2-Q), состоящим из суглинка, глины и песка. Ниже идет зона трещиноватости ордовикских пород (O_{1-2}), представленная песчаником, сланцем, туфом и известняком (см. рисунки 5 и 6). Здесь режим питания грунтовых вод – склоновый мелкосопочный [27, 28]. Правый пологий берег реки Жабай до глубины около 15 м является водоносным горизонтом нижнечетвертичных-современных аллювиальных отложений (aQ_{I-IV}), состоящим из песка, глины, суглинка и гравия. Ниже идет водоносная зона трещиноватости каменноугольных отложений (С), включающая алевролит, известняк, сланец и песчаник (см. рисунки 5 и 6). Радиус влияния этой водоносной зоны составляет более 1000 м. Здесь режим питания грунтовых вод гидрогеологический речной [23]. Соответственно такая водоносная зона может рассматриваться как перспективная для магазинирования поводковых вод. Для более точного определения подземных хранилищ необходимы более детальные специализированные гидрогеологические исследования поймы реки Жабай.

Обсуждение. В работе [14] рассмотрены основные статистические характеристики стока весеннего половодья рек Есильского водохозяйственного бассейна, включая реку Жабай. 1974-2014 г. среднемноголетний максимальный расход воды составлял 310 м^3/с при средней дате прохождения пика половодья 17 апреля. Полученные нами данные (см. таблицу 1, осреднение за 2014-2026 г.) свидетельствуют о существенном увеличении среднего максимального расхода воды – до 1040 м^3/с, а также о смещении пика половодья на более ранние сроки (11 апреля). Эти изменения закономерно обусловлены региональным потеплением климата и, вероятно, вступлением гидрологического режима в многоводную фазу. Сопоставление метеорологических показателей (см. таблицы 2 и 3) подтверждает выраженные климатические изменения. В частности, средняя температура воздуха в апреле по бассейну реки Жабай (осредненные данные МС Балкашино и МС Атбасар) 1991–2025 г. составила 4,8 °С, тогда как за 2014–2026 г. она достигла 5,8 °С, а устойчивый переход температуры через отметку 10 °С сместился на 8 сут раньше (соответственно с 4 мая на 26 апреля). Наряду с этим отмечается рост осадков: средняя сумма осадков холодного периода увеличилась со 123 мм (1991–2025 г.) до 139 мм (2014–2026 г.), а за апрель – с 22 до 27 мм (см. таблицы 2 и 3).

В качестве ключевых факторов, определяющих интенсивность весеннего половодья и риски наводнений, нами выделены четыре основных показателя: сумма осадков за ноябрь-март, глубина промерзания почвы, продолжительность периода прогрева воздуха до 10 ^{o}С и показатель интенсивности снеготаяния (P/N). В дальнейших исследованиях целесообразно детально изучить режим максимальных дневных температур воздуха, а также условия весеннего ледохода и процессов образования ледяных заторов.

При анализе связи уровня грунтовых вод в скважинах с гидрологическим режимом реки Жабай установлено, что изменения речного стока отражаются на динамике грунтовых вод с временным запаздыванием в 8–12 сут. В связи с этим в дальнейшем необходимо детальное изучение процессов подрусловой и береговой инфильтрации воды.

На основе регрессионного анализа получены статистически значимые уравнения связи уровней грунтовых вод в семи скважинах с расходом воды на ГП р. Жабай – г. Атбасар. Умеренные значения коэффициента детерминации указывают на влияние неучтенных факторов. В связи с этим дальнейшие исследования будут направлены на учёт суммарного испарения, водно-физических свойств грунтов зоны аэрации, интенсивности инфильтрации и фильтрационных параметров водоносного горизонта.

Заключение. Проанализирован гидрологический режим реки Жабай в период прохождения пиков весеннего половодья за 2014-2026 г., выявлены ключевые метеорологические факторы риска наводнений, изучены гидрометеорологические условия формирования экстремального половодья 2024 года, количественно оценено влияние речного стока на динамику уровня грунтовых вод, а также рассмотрена возможность магазинирования паводковых вод.

За последние 13 лет (2014-2026 г.) на реке Жабай превышение опасного уровня воды с формированием наводнений фиксировалось в 2017 и 2024 годах, когда как наводнение 2014 года было обусловлено весенним ледоходом. В пике весеннего половодья среднемноголетний максимальный уровень воды в створе с. Балкашино составляет 408 см, в створе г. Атбасар – 726 см при средних максимальных расходах воды 115 и 702 м^3/с соответственно. Ряд максимальных уровней воды

характеризуется относительной однородностью и умеренной изменчивостью, тогда как ряд максимальных расходов воды неоднороден и отличается высокой вариативностью. Прохождение пика весеннего половодья в среднем приходится на 11 апреля.

Формированию угрозы наводнений в пойме реки Жабай в период весеннего половодья способствуют четыре ключевых метеорологических фактора: выпадение более 140 мм осадков с ноября по март, глубина промерзания почвы к концу зимы свыше 90 см, продолжительность периода весеннего прогрева воздуха до 10 °С менее 30 сут, а также интенсивность снеготаяния, превышающая 5 мм/сут. Наряду с этим риски затоплений могут возрастать под влиянием заторных явлений при весеннем ледоходе. Заблаговременный мониторинг и расчет указанных метеорологических параметров по фактическим и прогностическим данным о температуре воздуха и осадках позволяют оперативно оценивать риски наводнений.

Наиболее масштабное наводнение на реке Жабай за весь период наблюдений произошло в 2024 году. За зимний сезон (ноябрь–март) в бассейне реки выпало 206 мм осадков, что превысило критический порог на 66 мм. Глубина промерзания почвы к концу зимы достигла 93 см, также оказавшись выше критического значения. Продолжительность периода весеннего прогрева воздуха до 10 °С составила всего 23 сут (с 25 марта по 17 апреля), свидетельствуя о резком повышении температуры. При этом показатель интенсивности снеготаяния достиг 9 мм/сут. Совокупность сложившихся гидрометеорологических факторов весной 2024 года вызвала интенсивное снеготаяние, приведшее к резкому увеличению расхода воды от 4 до 2330 м³/с, экстремальному подъему уровня реки до 952 см и затоплению пойменных территорий, включая восточную часть города Атбасара.

Высокие коэффициенты взаимной корреляции (r = 0,84-0,98) между рядами наблюдений по семи исследуемым скважинам указывают на их тесную гидравлическую взаимосвязь и подтверждают наличие единого источника инфильтрационного питания.

Гидрологический режим реки Жабай в период весеннего половодья оказывает существенное влияние на грунтовые воды. Корреляционный анализ выявил обратную зависимость глубины залегания грунтовых вод в наблюдательных скважинах от расхода воды в реке (r от -0,63 до -0,78). Методом линейного регрессионного анализа получены уравнения связи уровня грунтовых вод в семи скважинах с расходом воды на ГП р. Жабай – г. Атбасар. При этом изменения речного стока отражаются на уровне грунтовых вод с запаздыванием на 10 сут. Дальнейшие исследования будут направлены на учёт дополнительных факторов формирования режима подземных вод: суммарного испарения, водно-физических свойств грунтов зоны аэрации, интенсивности инфильтрации и фильтрационных параметров водоносного горизонта.

Участок поймы правого берега реки Жабай на глубине более 15 м от поверхности, являющийся водоносной зоной трещиноватости каменноугольных отложений и состоящий из алевролита, известняка, сланца и песчаника, является наиболее перспективным для магазинирования паводковых вод. Для более точного определения мест размещения подземных хранилищ необходимы детальные геологические исследования поймы реки Жабай. Результаты исследования будут полезны при оценке риска наводнений и разработке мер по борьбе с паводками в районе г. Атбасара, а также при определении подземных хранилищ для магазинирования паводковых вод.

ЛИТЕРАТУРА

[1] TENGRI NEWS. 10.04.2014. 120 Houses Flooded in Atbasar. [Electronic resource]. – URL: https://tengrinews.kz/events/120-domov-podtopleno-v-atbasare-253388/ (accessed: 08.09.2026).

[2] Alagudzhaeva M. A., Sadvakasova S. R., Elbasieva B. B., Aimbetov A. A. Hydrological Digital Forecast Modelling of Flooded Areas in Northern Kazakhstan Based on a High-Resolution Digital Elevation Model // Hydrometeorology and Ecology. – 2023. – No. 4. – P. 74-84. https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-111-4-74-84

[3] SPUTNIK Kazakhstan. 15.11.2017. Flood in Atbasar. [Electronic resource]. – URL: https://ru.sputnik.kz/20171115/navodnenie-v-atbasare-deshevle-pereselit-lyudej-chem-stroit-dambu-3776302.html (accessed: 08.09.2026).

[4] Akmolinskaya Pravda. 15.04.2024. Atbasar: Six Days of Flooding. [Electronic resource]. – URL: https://apgazeta.kz/2024/04/15/atbasar-shest-dnej-pavodka/ (accessed: 08.09.2026).

[5] Toleubekova Zh., Kurmangalieva Z., Kurmangaliev T. Comprehensive Approach to Flood Monitoring // Hydrometeorology and Ecology. – 2026. – No. 1(121). – P. 176-191. https://doi.org/10.54668/2789-6323-2026-121-1-176-191

[6] Mikhailov V. N., Dobrovolsky A. D., Dobrolyubov S. A. Hydrology: University Textbook. 2nd ed. – Moscow: Vysshaya Shkola, 2007. – 463 p.

[7] Nurbatsina A., Salavatova Z., Tursunova A., Didovets I., Huthoff F., Rodrigo-Clavero M.-E., Rodrigo-Ilarri J. Flood Modelling of the Zhabay River Basin Under Climate Change Conditions // Hydrology. – 2025. – Vol. 12. – No. 2. – Article 35. https://doi.org/10.3390/hydrology12020035

[8] Zhabay / Ruwiki. [Electronic resource]. – URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/%D0%96%D0%B0%D0%B1%D0%B0%D0%B9 (accessed: 08.09.2026).

[9] Interstate Codes of Practice for Design and Construction. 3.04-101-2005. Determination of Main Design Hydrological Characteristics. – Astana, 2006. – 58 p.

[10] Kritsky S. N., Menkel M. F. Hydrological Foundations of River Runoff Management. – Moscow: Nauka, 1981. – 254 p.

[11] Variance, Standard Deviation, Coefficient of Variation. Statanalis.info. [Electronic resource]. – URL: https://statanaliz.info/statistica/opisanie-dannyx/dispersiya-standartnoe-otklonenie-koeffitsient-variatsii/ (accessed: 08.09.2026).

[12] T-test (Student's t-test). [Electronic resource]. – URL: https://thecode.media/chto-takoe-t-test/#id-0 (accessed: 08.09.2026).

[13] Nurbatsina A. A., Tursunova A. A., Salavatova Zh. T. Intra-annual Runoff Distribution of Typical Rivers of Kazakhstan (Case Study of the Bukhtyrma, Yesil and Zhaiyk Rivers) // Hydrometeorology and Ecology. – 2025. – No. 1(116). – P. 24-37. https://journal.kazhydromet.kz/index.php/kazgidro/article/view/2349

[14] Moldakhmetov M. M., Makhmudova L. K., Kurgangazy E. Statistical Parameters of Time Series of Spring Flood Runoff of the Rivers of the Yesil Water Management Basin // Bulletin of KazNU. Geography Series. – 2020. – No. 1(56). – P. 39-49. https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/ru/article/view/889

[15] State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan. Section 1 “Surface Waters”. Annual Data on the Regime and Resources of Inland Surface Waters. 2014. Issue 2. Yesil River Basin. – Astana: RSE “Kazhydromet”, 2016. – 180 p. https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/basseyn-reki-esil-2002-2024

[16] State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan. Section 1 “Surface Waters”. Annual Data on the Regime and Resources of Inland Surface Waters. 2017. Issue 2. Yesil River Basin. – Nur-Sultan: RSE “Kazhydromet”, 2019. – 205 p. https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/basseyn-reki-esil-2002-2024

[17] State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan. Section 1 “Surface Waters”. Annual Data on the Regime and Resources of Inland Surface Waters. 2024. Issue 2. Yesil River Basin. – Astana: RSE “Kazhydromet”, 2026. – 276 p. https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/basseyn-reki-esil-2002-2024

[18] Terekhov A. G., Sairov S. B., Abaev N. N., Sagatdinova G. N., Amirgaliyev E. N. On Possible Causes of Extremely Large Spring Floods in Kazakhstan in 2024 // Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space. – 2024. – Vol. 21. – No. 3. – P. 331–338. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-331-338

[19] Terekhov A. G., Abaev N. N., Tillyakarim T. A., Serikbay N. T. On the Relationship Between Snow Amount and Spring Flood Volume in Northern Kazakhstan // Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space. – 2023. – Vol. 20. – No. 1. – P. 323-328. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-1-323-328

[20] Gomboš M., Pavelková D., Kandra B., Tall A. Impact of Soil Texture and Position of Groundwater Level on Evaporation from the Soil Root Zone. In: Negm A., Zeleňáková M. (eds) Water Resources in Slovakia: Part I. The Handbook of Environmental Chemistry. – Vol. 69. – Cham: Springer, 2019. – P. 167-181. https://doi.org/10.1007/698_2017_181

[21] Nolan B., Healy R., Taber P., Perkins K., Hitt K., Wolock D. Factors Influencing Groundwater Recharge in the Eastern United States // Journal of Hydrology. – 2006. – Vol. 332. – P. 187–205. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.029

[22] Baisholanov S. S., Kleshchenko A. D., Musataeva G. B., Gabbasova M. S., Zhakieva A. R., Mukanov E. N., Akshalov K. A., Chernov D. A. Agroclimatic Resources of Akmola Region: Scientific and Applied Reference Book. – Astana, 2017. – 133 p. https://kazneb.kz/kk/catalogue/view/1596528

[23] Nolan B. T., Healy R. W., Taber P. E., Perkins K., Hitt K. J., Wolock D. M. Factors Influencing Groundwater Recharge in the Eastern United States // Journal of Hydrology. – 2007. – Vol. 332. – Issues 1-2. – P. 187–205. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.029

[24] Ward P. J., Ruiter M. C., Mård J., Schroter K., Van Loon A., Veldkamp T., von Uexkull N., Wanders N., AghaKouchak A., Arnbjerg-Nielsen K., Capewell L., Llasat M. C., Day R., Dewals B., Di Baldassarre G., Huning L. S., Kreibich H., Mazzoleni M., Savelli E., Teutschbein C., van den Berg H., van der Heijden A., Vincken J. M. R., Waterloo M. J., Wen M. The Need to Integrate Flood and Drought Disaster Risk Reduction Strategies // Water Security. – 2020. – Vol. 11. – Article 100070. https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100070

[25] Mustafayev Zh. S., Kozykeyeva A. T., Kalmasheva A. N. Features of Formation of the Hydrological Regime of the Yesil River Basin in the Context of Climate Change. CAWater-Info. [Electronic resource]. – URL: https://www.cawater-info.net/bk/water_land_resources_use/russian_ver/pdf/mustafaev5-et-al.pdf (accessed: 08.09.2026).

[26] Teleubay Z., Yermekov F., Tokbergenov I., Toleubekova Z., Assylkhanova A., Balgabayev N., Kovács Z. Identification of Potential Farm Pond Sites for Spring Surface Runoff Harvesting Using an Integrated Analytical Hierarchy Process in a GIS Environment in Northern Kazakhstan // Water. – 2023. – Vol. 15. – No. 12. – Article 2258. https://doi.org/10.3390/w15122258

[27] Water Resources of Kazakhstan (Surface and Groundwater, Current State). Smolyar V. A., Burov B. V. et al. Reference Book. – Almaty: Research Center “Gylym”, 2002. – 596 p.

[28] Report on the Work “Optimization of the Regime Observation Network for State Groundwater Monitoring”. Programme 089 “Ensuring Rational and Integrated Use of Subsoil and Improving Geological Knowledge of the Territory of the Republic of Kazakhstan”. Subprogramme 103 “Monitoring of Mineral and Raw Material Base and Subsoil Use, Groundwater and Hazardous Geological Processes”. Book 2. – Almaty: U. M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology, 2024. – 195 p.

REFERENCES

[1] TENGRI NEWS. 04.10.2014. 120 houses were flooded in Atbasar [Electronic resource]. – URL: https://tengrinews.kz/events/120-domov-podtopleno-v-atbasare-253388/ (in Russ.).

[2] [Alagudzhayeva M. A., Sadvakasova S. R., Elbasieva B. B., Aimbetov A. A. Hydrological digital predictive modeling of flood zones in the territory of Northern Kazakhstan based on a highly detailed digital relief model. Hydrometeorology and Ecology. 2023. № 4. P. 74-84. https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-111-4-74-84

[3] SPUTNIK Kazakhstan. 15.11.2017. Flooding in Atbasar [Electronic resource]. – URL: https://ru.sputnik.kz/20171115/navodnenie-v-atbasare-deshevle-pereselit-lyudej-chem-stroit-dambu-3776302.html (in Russ.).

[4] Akmolinskaya pravda. 15.04.2024. Atbasar: six days of high water [Electronic resource]. – URL: https://apgazeta.kz/2024/04/15/atbasar-shest-dnej-pavodka/ (in Russ.).

[5] Toleubekova Zh., Kurmangalieva Z., Kurmangaliev T. An integrated approach to flood monitoring. Hydrometeorology and Ecology. 2026. No. 1(121). P. 176-191. https://doi.org/10.54668/2789-6323-2026-121-1-176-191

[6] Mikhailov V. N., Dobrovolsky A. D., Dobrolyubov S. A. Hydrology: A textbook for universities. 2nd ed. Moscow: Higher School, 2007. 463 p. (in Russ.).

[7] Nurbatsina A., Salavatova Z., Tursunova A., Didovets I., Huthoff F., Rodrigo-Clavero M.-E., Rodrigo-Ilarri J. Flood Modelling of the Zhabay River Basin Under Climate Change Conditions. Hydrology. 2025. Vol. 12, №2. Art. 35. https://www.mdpi.com/2306-5338/12/2/35

[8] Zhabai / Ruwiki [Electronic resource]. – URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/%D0%96%D0%B0%D0%B1%D0%B0%D0%B9 (in Russ.).

[9] Interstate codes of rules for design and construction. 3.04-101-2005. Determination of the main calculated hydrological characteristics. – Astana, 2006. 58 p. (in Russ.).

[10] Kritsky S. N., Menkel M. F. Hydrological foundations of river flow management. Moscow: Nauka, 1981. 254 p. (in Russ.).

[11] Variance, standard deviation, coefficient of variation [Electronic resource]. Statanaliz.info. – URL: https://statanaliz.info/statistica/opisanie-dannyx/dispersiya-standartnoe-otklonenie-koeffitsient-variatsii/ (in Russ.).

[12] T-test (Student's t-test) [Electronic resource]. – URL: https://thecode.media/chto-takoe-t-test/#id-0 (in Russ.).

[13] Nurbatsina A. A., Tursunova A. A., Salavatova Zh. T. Intraannual distribution of runoff of typical rivers of Kazakhstan (on the example of the Buktyrma, Yesil, and Zhaiyk rivers). Hydrometeorology and Ecology. 2025. No. 1(116). P. 24-37. https://journal.kazhydromet.kz/index.php/kazgidro/article/view/2349

[14] Moldakhmetov M. M., Makhmudova L. K., Kurmangazy E. Statistical parameters of the time series of the spring flood runoff of the rivers of the Esil water basin. KazNU Bulletin. Geographical Series. 2020. No. 1 (56). P. 39-49. https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/ru/article/view/889

[15] The State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan. Section 1 "Surface waters". Annual data on the regime and resources of land surface waters. 2014. Issue 2. The basin of the Yesil River. – Astana: RSE "Kazhydromet", 2016. 180 p. URL: https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/basseyn-reki-esil-2002-2024 (in Russ.).

[16] The State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan. Section 1 "Surface waters". Annual data on the regime and resources of land surface waters. 2017. Issue 2. The basin of the Yesil River. Nur-Sultan: RSE "Kazhydromet", 2019. 205 p. URL: https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/basseyn-reki-esil-2002-2024 (in Russ.).

[17] The State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan. Section 1 "Surface waters". Annual data on the regime and resources of land surface waters. 2024. Issue 2. The basin of the Yesil River. Astana: RSE "Kazhydromet", 2026. 276 p. URL: https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/basseyn-reki-esil-2002-2024 (in Russ.).

[18] Terekhov A. G., Sairov S. B., Abaev N. N., Sagatdinova G. N., Amirgaliev E. N. Possible causes of abnormal spring flooding in Kazakhstan in 2024. Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2024. Vol. 21, No. 3. P. 331-338. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-331-338 (in Russ.).

[19] Terekhov A. G., Abaev N. N., Tillyakarim T. A., Serikbai N. T. Interrelation between snow cover depth and spring flooding in Northern Kazakhstan. Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2023. Vol. 20, No. 1. P. 323-328. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-1-323-328 (in Russ.).

[20] Gomboš M., Pavelková D., Kandra B., Tall A. Impact of Soil Texture and Position of Groundwater Level on Evaporation from the Soil Root Zone. In: Negm A., Zeleňáková M. (eds) Water Resources in Slovakia: Part I. The Handbook of Environmental Chemistry, vol. 69. Springer, Cham, 2019. P. 167-181. https://doi.org/10.1007/698_2017_181

[21] Nolan B., Healy R., Taber P., Perkins K., Hitt K., Wolock D. Factors Influencing Groundwater Recharge in the Eastern United States. Journal of Hydrology. 2006. Vol. 332. P. 187-205. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.029

[22] Baisholanov S. S., Kleshchenko A. D., Musatayeva G. B., Gabbasova M. S., Zhakieva A. R., Mukanov E. N., Akshalov K. A., Chernov D. A. Agro-climatic resources of the Akmola region: scientific and applied reference book. Astana, 2017. 133 p. URL: https://kazneb.kz/kk/catalogue/view/1596528 (in Russ.).

[23] Nolan B. T., Healy R. W., Taber P. E., Perkins K., Hitt K. J., Wolock D. M. Factors influencing ground-water recharge in the eastern United States. Journal of Hydrology. 2007. Vol. 332, issues 1-2. P. 187-205. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.029

[24] Ward P. J., Ruiter M. C., Mård J., Schröter K., Van Loon A., Veldkamp T., von Uexkull N., Wanders N., AghaKouchak A., Arnbjerg-Nielsen K., Capewell L., Llasat M. C., Day R., Dewals B., Di Baldassarre G., Huning L. S., Kreibich H., Mazzoleni M., Savelli E., Teutschbein C., van den Berg H., van der Heijden A., Vincken J. M. R., Waterloo M. J., Wens M. The need to

integrate flood and drought disaster risk reduction strategies. Water Security. 2020. Vol. 11. Art. 100070. https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100070

[25] Mustafaev Zh. S., Kozykeeva A. T., Kalmasheva A. N. Features of the formation of the hydrological regime of the catchment area of the Yesil River basin in the context of climate change [Electronic resource]. CAWater-Info. – URL: https://www.cawater-info.net/bk/water_land_resources_use/russian_ver/pdf/mustafaev5-et-al.pdf (in Russ.).

[26] Teleubay Z., Yermekov F., Tokbergenov I., Toleubekova Z., Assylkhanova A., Balgabayev N., Kovács Z. Identification of Potential Farm Pond Sites for Spring Surface Runoff Harvesting Using an Integrated Analytical Hierarchy Process in a GIS Environment in Northern Kazakhstan. Water. 2023. Vol. 15, No. 12. Art. 2258. https://doi.org/10.3390/w15122258

[27] Smolyar V. A., Burov B. V. et al. Water resources of Kazakhstan (surface and groundwater, current state): Handbook. Almaty: SIC "Gylym", 2002. 596 p. (in Russ.).

[28] Report on the work on the facility: "Optimization of the regime monitoring network of the state monitoring of groundwater". Program 089 "Ensuring the rational and integrated use of subsurface resources and increasing the geological survey of the territory of the Republic of Kazakhstan". Subprogram 103 "Monitoring of the mineral resource base and subsurface use, groundwater and hazardous geological processes". Book 2. U. M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology LLP, 2024. 195 p. (in Russ.).

Б. К. Бекнияз[1], С. С. Байшоланов[*2], Г. Н. Камзин[3], Н. Б. Зинабдин[4], Д. Д. Дуйсембин[5], Г. К. Дуйсенбиева[6]

[1] Г. ғ. к., Басқарма Төрағасы («Қазгидрогеология КЕАҚ» Ұлттық гидрогеологиялық қызметі, Астана, Қазақстан; *bbolat@mail.ru*)

[2 *] Г. ғ. к., Ғылым және қолданбалы зерттеулер департаментінің директоры («Қазгидрогеология КЕАҚ» Ұлттық гидрогеологиялық қызметі, Астана, Қазақстан; ***saken_baisholan@mail.ru***)

[3] Жер асты сулары және қауіпті геологиялық процестер мониторингі департаментінің директоры («Қазгидрогеология КЕАҚ» Ұлттық гидрогеологиялық қызметі, Астана, Қазақстан; *kamzin_galymgazy-pavl@mail.ru*)

[4] Ph.D., аға оқытушысы (Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; *zinabdin.n@gmail.com*)

[5] Гидрогеологиялық зерттеулер департаментінің бас маманы («Қазгидрогеология КЕАҚ» Ұлттық гидрогеологиялық қызметі, Астана, Қазақстан; *dauil58@mail.ru*)

[6] Гидрогеологиялық зерттеулер департаментінің бас маманы («Қазгидрогеология КЕАҚ» Ұлттық гидрогеологиялық қызметі, Астана, Қазақстан; *gulnara_duisenbiyeva@mail.ru*)

КӨКТЕМГІ СУ ТАСҚЫНЫ КЕЗЕҢІНДЕ ЖАБАЙ ӨЗЕНІ АТЫРАУЫНДАҒЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ГИДРОГЕОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАР

Аннотация. Ақмола облысындағы су тасқыны қаупі бар өзендердің бірі Жабай өзені. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде 2014-2026 жылдардағы көктемгі су тасқыны шыңдарынан өту кезеңіндегі Жабай өзенінің гидрологиялық режимі талданды, су тасқыны қаупінің негізгі метеорологиялық факторлары анықталды, 2024 жылғы экстремалды су тасқынының қалыптасуының гидрометеорологиялық жағдайлары зерттелді, өзен ағынының жер асты сулары деңгейінің динамикасына әсері сандық бағаланды, сондай-ақ тасқын суларды жер астында сақтау мүмкіндігі қарастырылды. Су тасқыны қаупі қарашадан наурызға дейін 140 мм-ден астам жауын-шашын түскенде, топырақтың қату тереңдігі 90 см-ден асқанда, ауаны 10^{o}С-қа дейін жылыту кезеңінің ұзақтығы 30 тәуліктен аз болғанда, қардың еру қарқындылығы көрсеткішінің мәні тәулігіне 5 мм-ден асқанда орын алады. 2024 жылдың көктемінде қалыптасқан метеорологиялық жағдайлар қардың қарқынды еруіне ықпал етті, бұл су ағынының 4 тен 2330 м^3/с-қа дейін күрт өсуіне, су деңгейінің 952 см-ге дейін көтерілуіне және Атбасар қаласының шығыс бөлігін қоса алғанда, өзеннің жайылмасын су басуына әкелді. Сондай-ақ, көктемгі су тасқыны кезінде Жабай өзенінің гидрологиялық режимі жер асты суларының деңгейіне айтарлықтай әсер ететіні анықталды. Корреляциялық талдау ұңғымалардағы жер асты сулары деңгейінің Жабай өзеніндегі су ағынына жоғары кері байланысын көрсетті. Регрессиялық талдау 7 ұңғымадағы жер асты сулары деңгейінің Жабай өзені – қ. Атбасар ГБ су ағынына тәуелділік теңдеулерін анықтауға мүмкіндік берді. Жабай өзенінің оң жағалауы жайылма учаскесінде 15 метрден астам тереңдікте алевролиттен, әктастан, тақтатастан және құмтастан тұратын таскөмір шөгінділерінің жарықшақты сулы аймағы тасқын суларды жинап сақтауға перспективті болып табылады. Зерттеу нәтижелері су тасқыны қаупін бағалауда және су тасқынына қарсы шараларды әзірлеуде, сондай-ақ тасқын суды сақтау үшін жер асты қоймаларын анықтауда пайдалы болады.

Түйін сөздер: су көтерілу, су басу, ауа температурасы, жауын-шашын, су деңгейі, су ағындысы, жер асты сулары, гидрогеологиялық бекет, су ұңғымасы.

B. K. Bekniyaz[1], S. S. Baisholanov[*2], G. N. Kamzin[3], N. B. Zinabdin[4], D. D. Duisembin[5], G. K. Duisenbieva[6]

[1] Candidate of Geographical Sciences, Chairman of the Management Board (National Hydrogeological Service «NPJS Kazhydrogeology», Astana, Kazakhstan; *bbolat@mail.ru*)
[2*] Candidate of Geographical Sciences, Director of the Department of Science and Applied Research (National Hydrogeological Service «NPJS Kazhydrogeology», Astana, Kazakhstan; ***saken_baisholan@mail.ru***)
[3] Director of the Department of Groundwater Monitoring and Hazardous Geological Processes (National Hydrogeological Service «NPJS Kazhydrogeology», Astana, Kazakhstan; *Kamzin_galymgazy-pavl@mail.ru*)
[4] Ph.D., Senior Lecturer (L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; *zinabdin.n@gmail.com*)
[5] Chief Specialist at the Department of Hydrogeological Research (National Hydrogeological Service «NPJS Kazhydrogeology», Astana, Kazakhstan; *dauil58@mail.ru*)
[6] Chief Specialist at the Department of Hydrogeological Research (National Hydrogeological Service «NPJS Kazhydrogeology», Astana, Kazakhstan; *gulnara_duisenbiyeva@mail.ru*)

HYDROMETEOROLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN THE ZHABAI RIVER FLOODPLAIN THE DURING SPRING FLOOD

Abstract. The Zhabai river is one of the most flood-prone rivers in the Akmola region. This study analyzed the hydrological regime of the Zhabay River during peak spring floods over the 2014–2026 period, identified key meteorological drivers of flood risk, investigated the hydrometeorological drivers behind the extreme 2024 flood event, quantified the impact of river discharge on groundwater level dynamics, and assessed the possibility of storing flood waters. The threat of flooding occurs when more than 140 mm of precipitation falls from November to March, the depth of soil freezing is more than 90 cm, the duration of the air warming period to 10 °C is less than 30 days, and the value of an indirect indicator of the intensity of snowmelt is more than 5 mm/day. The meteorological conditions prevailing in the spring of 2024 contributed to intense snowmelt, which led to a sharp increase in water consumption from 4 to 2330 m^3/s, an increase in water levels to 952 cm and flooding of the river floodplain, including the eastern part of Atbasar. It has also been established that the hydrological regime of the Zhabai River during the spring flood has a significant impact on the groundwater level. Correlation analysis revealed a strong dependence of the groundwater level at the wells on the flow of water on the Zhabai River. Regression analysis was used to establish the relationship between the groundwater level at 7 wells and the water flow rate at the Zhabai-Atbasar hydrological post. The floodplain area of the right bank of the Zhabai River at a depth of more than 15 meters from the surface, which is an aquifer zone of fracturing of carboniferous deposits and consists of siltstone, limestone, shale and sandstone, is the most promising for storing flood waters. The findings of this study will inform flood risk assessment, mitigation strategies, and the identification of potential subsurface reservoirs for floodwater banking.

Keywords: high water, flood, air temperature, precipitation, water level, water consumption, groundwater, hydrogeological station, well.