

УДК 504.058: 631.432.1: 504.75.06

ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ПОДТОПЛЕНИЯ СЕЛЬСКИХ СЕЛИТЕБНЫХ ТЕРРИТОРИЙ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Е.С. Орлова, А.В. Головин, М.С. Губарев, В.Ф. Резников, И.Д. Рыбкина

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: el.orlova11@yandex.ru

В статье рассмотрены природные и антропогенные факторы, определяющие развитие процессов подтопления сельских селитебных территорий Алтайского края на примере, с. Поспелиха, где с 1990-х годов наблюдается усиление негативных процессов подтопления. Изучены особенности природно-климатических, гидрогеологических условий и выделены основные антропогенные причины, способствующие развитию процессов подтопления. На основе данных полевых исследований проведена инвентаризация имеющихся дренажных систем с. Поспелиха, выделены зоны подтопления, выполнен изотопный анализ дренажных вод с определением генезиса. Проведена укрупненная оценка составляющих водно-балансовых расчетов для территории сельского населенного пункта для разного процента обеспеченности. При среднегодовых значениях осадков наблюдается положительный баланс в холодный период за счет талого стока и отрицательный в теплый период из-за преобладания испарения. Научно-обоснованы направления инженерной защиты для понижения и стабилизации уровней грунтовых вод и осушения локальных зон аккумуляции.

Ключевые слова: природные и антропогенные факторы; зоны подтопления; дренажные системы; инженерная защита территории; грунтовые воды.

DOI: 10.24412/2410-1192-2025-17904

Дата поступления: 5.11.2025. Принята к печати: 27.11.2025

Подтопление территории является Алтайского края [Отчет НИР..., 2022]. комплексным гидрогеологическим и Она обострилась в середине 1990-х гг., что инженерно-геологическим процессом, связано с происходящими изменениями возникающим при изменении водного как природных, так и антропогенных режима и баланса территории. В факторов и условий хозяйствования в результате происходит повышение степной части региона. Современный уровней подземных вод и влажности тренд на усиление негативных грунтов, превышающих критические процессов подтопления территорий значения, что приводит к нарушению характеризуется формированием устойчивых неблагоприятных последствий и эксплуатации объектов [СП 116.13330, экологического и социально-экономического плана. Проведение мероприятий территорий является актуальной для по минимизации негативного воздействия

вод требуются как в городских поселениях (Барнаул, Рубцовск, Славгород, Горняк), так и в сельских населенных пунктах (сс. Пospelиха, Пригородное, Славгородское, Покровка, Семеновка, пп. Бурсоль, Балластный карьер и др.).

Первыми попытками решения проблемы подтопления территорий населенных пунктов стали проектные обоснования 1980–1990-х гг., разработанные институтами «Гипрокоммунстрой» (г. Москва) и «Алтайгипроводхоз» (г. Барнаул) на примере города Рубцовска и села Пospelиха [Технико-экономическое..., 1992; Рубцовск..., 2004]. Московский институт выполнил проект «Схемы инженерной защиты г. Рубцовска от подтопления», который предусматривал мероприятия по организации поверхностного стока на общей площади в 120 га в обводненный карьер-озеро с последующим сбросом водных масс в р. Алей. Позднее, в разные годы происходила актуализация принятых проектных решений: в 1988 г. Ленгипрогором в Генплане г. Рубцовска, в 2001 г. ОАО «Алтайводпроект» в рамках «Предпроектных проработок возможности восстановления или ликвидации существующего оросительного канала Р-1», в 2018 г. ИВЭП СО РАН в проекте «Разработка программы на выполнение научно-исследовательских и изыскательских работ, направленных на минимизацию или ликвидацию негативного воздействия вод – подтопление территории г. Рубцовска» [Отчет НИР..., 2018].

В настоящее время строительство и реконструкция сооружений инженерной защиты таких территорий осуществляется

в недостаточных объемах, что еще более повышает риск возникновения чрезвычайных ситуаций от негативного воздействия вод, в том числе подтопления. Это относится и к территории села Пospelиха, где причины подъема грунтовых вод прослеживаются с 1990-х гг. и связаны с природными и антропогенными факторами.

Целью работы является выявление ключевых природных и антропогенных факторов, определяющих развитие процессов подтопления сельских селитебных территорий Алтайского края, и разработка научно-обоснованных рекомендаций по их минимизации на примере с. Пospelиха.

Задачи исследования последовательно способствовали достижению поставленной цели:

- Определить границы зон подтопления на местности и выполнить инвентаризацию состояния существующих дренажных систем и объектов в зоне подтопления;
- Выделить факторы, способствующие возникновению опасных природных явлений (подтопление) на рассматриваемой территории;
- Выполнить изотопный анализ происхождения дренажных вод и водно-балансовые расчеты для территории с. Пospelиха;
- Предложить основные направления выполнения работ по минимизации и/или ликвидации негативного воздействия вод.

Материалы и методы

Исследование опиралось на обобщение теоретико-методических подходов к

изучению проблем подтопления освоенных селитебных территорий, отраженных в литературных и фондовых источниках информации [Мелиоративные..., 1989; Елизаров и др., 2020; отчеты ИВЭП СО РАН (2024, 2022, 2018 гг.) и др.], а также на рекомендации по защите населенных пунктов от подтопления, содержащиеся в сводах строительных норм и правил, и утвержденные органами государственного управления [СП 42.13330, СП 104.13330, СП 116.13330].

Для определения зон подтопления, уточнения глубин залегания грунтовых вод и инвентаризации состояния существующей дренажной сети в августе 2024 и мае 2025 гг. на территории с. Пospелиха были проведены полевые работы, в том числе с использованием БПЛА и наземной верификации данных полученной видеосъемки. Картографирование зон подтопления выполнялось с использованием программного продукта Google Earth Pro и геоинформационной системы QGIS.

Помимо этого, в рамках полевых исследований был проведен ретроспективный анализ проявления подтопления территории села на основе опроса местных жителей и изучения архивных материалов администрации сельского поселения.

Для анализа влияния природных факторов использовались многолетние данные ближайшей метеостанции (МС) г. Рубцовск за период 1976–2023 гг. для выявления климатических особенностей и наблюдаемых трендов климатических изменений [ВНИИГМИ-МЦД, 2024]. С использованием метода наименьших

квадратов были построены линейные тренды и уравнения линейной регрессии, определялись направление и скорость метеопараметров. Достоверность коэффициентов детерминации полученных уравнений оценивалась по критерию Фишера ($\alpha = 5\%$). Гидрогеологическая характеристика изучаемой территории проводилась по литературным данным, сведениям мониторинговых наблюдений [Государственный доклад..., 2025], учетным карточкам буровых скважин [Электронный каталог..., 2024], отчетам оценки запасов подземных вод на территории Пospелихинского комбината хлебопродуктов и ЗАО «ПМК» [Отчет..., 2011; Отчет..., 2012], а также соответствии с описанием Государственной геологической карты РФ (лист М-44-IV Рубцовск) [2019].

В августе 2024 г. были отобраны пробы воды для проведения изотопного анализа с целью выявления исходного источника поступления воды, заполнившей дренажные системы в селе Пospелиха. Отбор производился на разных участках открытых каналов дренажной системы, водопроводных колодцев и в подполе частного дома на пересечении ул. Первомайская и пер. Алейский. В химико-аналитическом центре Института водных и экологических проблем СО РАН (ХАЦ ИВЭП СО РАН) с помощью метода лазерной абсорбционной ИК-спектроскопии на приборе PICARROL 2130-i определен изотопный состав отобранных вод. Результаты анализа сравнивались с литературными данными об изотопном составе атмосферных осадков, выпа-

дающих на территории юга Западной Сибири в теплый и холодный сезоны года, а также с результатами ранее выполненных исследований в ХАЦ ИВЭП СО РАН.

Для идентификации исходного источника водных масс в дренажных системах села Поспелиха был оценен раздельный вклад зимних и летних атмосферных осадков в формирование изотопного состава воды в дренажных системах с помощью уравнения, предложенного в работе [Papina et al., 2023]:

$$a \cdot X + b \cdot (1 - X) = c,$$

где X – доля вклада зимних атмосферных осадков в изотопный состав воды в объекте системы; $(1 - X)$ – доля вклада летних атмосферных осадков в изотопный состав воды в объекте системы; a , b – средневзвешенное значение изотопа $\delta^{18}\text{O}$ в атмосферных осадках соответственно холодного и теплого периодов года ‰; c – значение изотопа $\delta^{18}\text{O}$ в воде изучаемого водного объекта, ‰.

Соотношение элементов водного баланса рассчитано по площадям водосборных областей, без учета грунтового стока. Прогнозные значения представлены в соответствии с расчетными значениями суточного слоя осадков для лет 5% и 99% обеспеченности.

Дождевой и талый сток (в том числе прогнозные значения) определен как равномерный средний суточный слой осадков для теплого периода и периода снеготаяния согласно «Рекомендациям...» [2015]. Исходными данными послужили значения средних многолетних осадков и среднемесячные значения испарения по данным МС г. Рубцовск [Атлас..., 1963; ВНИИГМИ-МЦД, 2024].

Потери при транспортировке в системах водоснабжения села, пополняющие верхние горизонты подземных вод и способствующие развитию проблемы подтопления, рассчитывались по данным АИС ГМВО [Автоматизированная..., 2024] как доля от среднегодового значения используемых вод за период 2009–2023 гг. в зависимости от общей длины водонесущих коммуникаций [Схема водоснабжения..., 2023; Схема теплоснабжения котельных № 1..., 2024; Схема теплоснабжения котельных №3..., 2024]. Расчет водопотребления на полив приусадебных участков производился на основе ВНТП-Н-97 [1995] и методике оценки фактического водопотребления населения сельских поселений [Орлова, Рыбкина, 2025]. За основу приняты годовые нормы для полива в соответствии с ВНТП-Н-97 [1995]: овощи – 4691 л/га, сады – 5131 л/га. Количество приусадебных участков и их площади определялись по космоснимкам в QGIS.

Фильтрационные свойства грунтов, от которых также зависит скорость пополнения верхних горизонтов подземных вод, рассчитывались на основе методики фильтрации с поверхности земли сточных вод, сбрасываемых с постоянным расходом на определенную площадь [Гольдберг, 1987]. Оценено время фильтрации равномерного суточного слоя стока через покровные отложения, без учета прочих факторов (испарение, поверхностный сток и др.). Методика адаптирована для целей настоящего исследования, в частности понятие и расчет объема сточных вод заменены на слой стока атмосферных осадков теплого периода и талый сток.

Результаты и обсуждение

Село Поспелиха расположено в исторически освоенной юго-западной части Алтайского края. Численность населения на 01.01.2025 г. составляет 10 317 человек, что позволяет считать его одним из крупных сел региона. По Стратегии пространственного развития РФ на период до 2030 г. [2024] относится к опорным населенным пунктам Алтайского края.

Первые инженерные изыскания по определению комплекса защитных мероприятий от подтопления в с. Поспелиха были проведены в 1991–1992 г. Институтом «Алтайгипроводхоз» было подготовлено технико-экономическое обоснование проектирования защитных мероприятий двух очередей строительства [Технико-экономическое..., 1992]. Первая очередь проекта была осуществлена в 1992–1993 годах: построен проводящий канал-коллектор и сбросный канал для отвода паводковых и дождевых вод. Реализованные меры позволили решить вопрос подтопления талыми и дождевыми водами центральной части села, однако западная и юго-западная части села Поспелиха остались подвержены подтоплению грунтовыми водами. Второй этап работ, направленный на строительство проводящего канала-коллектора для отвода паводковых и дождевых вод в западной части, не был осуществлён. В 1996 году проектным институтом «Алтайводпроект» была разработана рабочая документация на строительство защитных сооружений от подтопления, но данный проект так же не реализован.

В настоящее время имеющаяся дренажная сеть не выполняет свои функции. Инвентаризация основных водоотводящих каналов позволила выявить ряд характерных проблем, связанных с нарушением эксплуатационных характеристик существующих элементов дренажной сети села (рис. 1). Русла каналов и откосы размывы, берегоукрепление отсутствует. Местами русла каналов теряются, в результате чего подтапливается вся прилегающая территория. Отмечено зарастание русел и откосов каналов растительностью и замусоренность. Водопрпускные сооружения через улично-дорожную сеть, железнодорожное полотно, подъезды к частным домовладениям располагаются практически повсеместно выше дна каналов, замусоренные, заиленные и заросшие растительностью.

По категории опасности процесса подтопления с. Поспелиха относится к опасным – подтопление зданий и сооружений в той или иной мере происходит почти ежегодно и проведение специальных мероприятий по инженерной защите необходимо для 70% площади села [Отчет НИР..., 2022]. Отсутствие на большей части территории села системы организованного поверхностного стока, продолжительное время формирующиеся антропогенные факторы еще больше обострили ситуацию. По состоянию на май 2025 года свыше 330 земельных участков общей площадью 108 тыс. м² в той или иной степени подвержены негативному воздействию вод (подтоплению) (рис. 2). Общая площадь участков подтопления составила 881 тыс. м².



Рис. 1. Состояние некоторых элементов существующей дренажной сети (фото авторов)

Fig. 1. Condition of some elements of the existing drainage systems



Рис. 2. Зоны подтопления и существующая дренажная сеть

Fig. 2. Flooding zones and existing drainage systems

Причины подтопления носят как естественный, так и антропогенный характер. В сложившихся условиях ведения хозяйственной деятельности они только усиливают развитие негативных процессов (подтопления).

Территория села в целом характеризуется плоским рельефом, слабой степенью дренированности и низкими коэффициентами фильтрации вод, что способствует аккумуляция поверхностного стока в понижениях рельефа.

В физико-географическом отношении исследуемая территория приурочена к юго-западной части Западно-Сибирской равнины. Село расположено на левобережье р. Алей, юго-западнее протекает р. Пospelиха. Основная застройка населенного пункта приурочена к первой надпойменной террасе р. Алей. Рельеф плоский, слаборасчлененный с уклоном территории – с северо-востока на юго-запад. Максимальный перепад высот не превышает 10 м.

Геологический разрез представлен мезозойскими и кайнозойскими отложениями чехла, залегающими на складчатом палеозойском фундаменте. Покровные образования первой надпойменной террасы относятся к горизонту верхненеоплейстоценоголоценового возраста, который сложен современными непроницаемыми и слабопроницаемыми суглинистыми и глинистыми отложениями. Мощность поверхностных отложений в среднем составляет 6–8 м. В ряде случаев данные отложения являются водовмещающими [Отчет..., 2011; Государственная..., 2019; Электронный каталог..., 2024].

Грунтовые воды приурочены к четвертичным отложениям. На первой надпойменной террасе р. Алей первым от поверхности вскрывается верхненеоплейстоценовый аллювиальный горизонт. Водовмещающими породами являются мелко- и тонкозернистые пески с прослоями и линзами суглинков и супесей. Мощность изменяется от 4 до 7 м, реже до 10 м [Отчет..., 2011; Государственная..., 2019].

В границах территории с. Пospelиха горизонт грунтовых вод вскрывается от 1 м и глубже в зависимости от рельефа местности [Государственная..., 2019; Электронный каталог..., 2024]. В целом наблюдается уменьшение глубины грунтовых вод от северо-восточной окраины села в юго-западном направлении к долине р. Пospelиха. Так в восточной части села глубина залегания грунтовых вод составляет 6 м, в центральной – 4 м [Отчет..., 2011; Отчет..., 2012].

По мониторинговой скважине за период 1974–2023 гг. наблюдается тренд на увеличение уровня грунтовых вод (рис. 3). Пик приходится на 1991 г. – начало разработки первых инженерных решений по защите села от подтопления. В настоящее время уровень близок к максимальному [Государственный доклад..., 2025].

Согласно мониторинговым данным [Отчет..., 2015] режим грунтовых вод на данной территории – гидрологический (приречный): колебания уровней грунтовых вод следуют за колебаниями уровней рек с незначительным по времени отставанием. В годовом цикле характерен четко выраженный весенний подъем,

совпадающий с паводком рек Алей и Пospелиха, и более плавный осенний, имеющий значительно меньшую амплитуду и обусловленный дополнительным питанием горизонта за счет инфильтрации осенних дождевых осадков (рис. 4).

Изотопный анализ показал, что воды открытых каналов, неглубоких колодцев и подполий частных домов

имеют преимущественно (на 85–99%) атмосферно-дождевое происхождение. В то время как в воде из глубоких колодцев, оснащенных насосами и качающих воду с водоносных горизонтов на глубине от 85–100 см до 250 см, вклад зимних (снеговых) атмосферных осадков повышается и достигает в изотопном составе вод 30% и более.

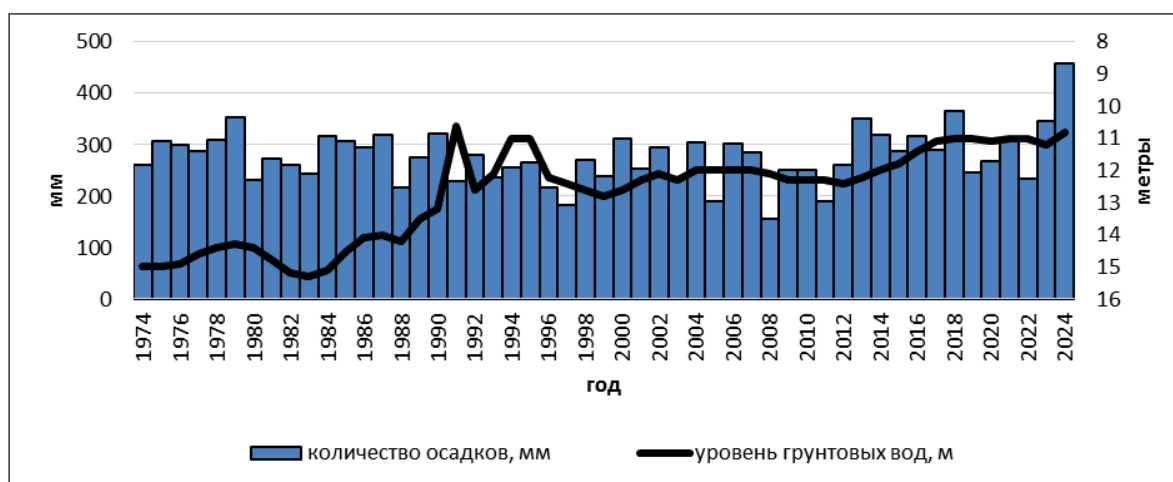


Рис. 3. График колебания среднего многолетнего уровня грунтовых вод [Государственный доклад..., 2025]

Fig. 3. Fluctuation chart of the average long-term groundwater level [Gosudarstvennyi doklad..., 2025]

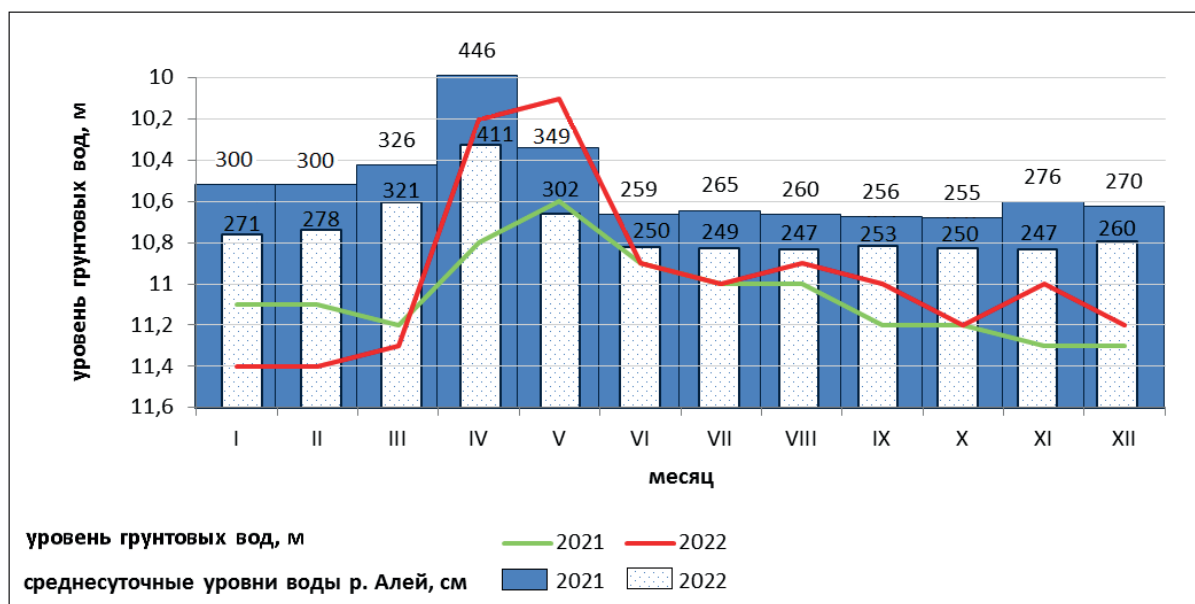


Рис. 4. График колебания годового уровня грунтовых вод по мониторинговой скважине и уровня воды в р. Алей (пост г. Рубцовск) [Автоматизированная..., 2024; Государственный доклад..., 2025]

Fig. 4. Fluctuation chart of the annual groundwater level from the monitoring well and the water level in the Aley River (Rubtsovsk city station) [Avtomatizirovannaya..., 2024; Gosudarstvennyi doklad..., 2025]

Региональные особенности климата и климатические изменения способствуют развитию процессов подтопления исследуемой территории. Среди климатических факторов, усиливающих негативное влияние природных вод, можно выделить: неравномерное распределение осадков и тренд на увеличение их количества (в том числе рост значений влагозапасов в снежном покрове), промерзание почвы, снижение скоростей ветра.

Среднее многолетнее количество осадков составляет 273 мм, основное количество выпадает в теплый период (67% от всей суммы осадков) в жидком, иногда смешанном и твердом виде. Размах годовой суммы осадков за период 1976–2023 гг. составляет 210 мм (от 155 до 365 мм), т.е. на территории наблюдаются как засушливые, так и относительно влажные годы. За последнее десятилетие отмечается выпадение осадков выше среднего многолетнего на 105–133% (2013–2018, 2021, 2023 гг.). Кроме того, статистически подтверждено, что R^2 (коэффициент детерминации) линейных трендов достоверен по критерию Фишера при уровне значимости $\alpha = 5\%$ для рядов за март (тренд 1976–2023) и холодный период (тренд 1996–2023 (рис. 5)). Скорости изменения осадков составляют +2.2 мм и +17.9 мм за 10-летие соответственно.

Выпадение первого снега и образование временного снежного покрова возможно с первых чисел октября. Устойчивый снежный покров, как правило, формируется в первой половине ноября и к концу первой декады февраля достигает максимума, а к концу первой декады апреля полностью сходит. Средняя многолетняя высота снежного покрова

составляет 16.8 см. Размах значений 26 см (от 10 до 36 см). Мощный снежный покров лучше предохраняет почву от глубокого промерзания, однако содержит в себе большие объемы водных масс. Запас воды в снеге сильно изменяется от года к году и на первую декаду марта может составлять от 0 мм (1983, 1984) до 97 мм (2006).

Параллельно с ростом количества осадков увеличивается высота снежного покрова и влагозапасы. R^2 линейных трендов (1976–2023) высот достоверен для рядов данных за ноябрь (+1.1 см/10 лет), декабрь (+1.3 см/10 лет), январь (+1.2 см /10 лет), март (+1.5 см/10 лет) и холодный период (+1.3 см/10 лет); R^2 линейных трендов (1976–2023) влагозапасов статистически значим для ряда за ноябрь (+1.1 мм/10 лет); однако коэффициенты детерминации достоверны при анализе периода 1978–2023 г. для рядов за ноябрь – март и холодный период (рис. 5).

С наступлением холодного периода и выпадением первого снега, как правило, начинается промерзание почвы. Среднее многолетнее промерзание почвенного покрова составляет в ноябре 0–20 см, в декабре 40–80 см, январе 80–120 см, феврале и марте – 120–160 см.

Анализ минимальных и максимальных температур почв показал, что в отдельные годы возможны значительные сдвиги замерзания и оттаивания почвенного покрова. Наиболее ранняя дата замерзания – вторая декада октября (1976, 2002), поздняя – вторая декада ноября (1995, 1999, 2001, 2006, 2010, 2011, 2017, 2019, 2020, 2022); наиболее ранняя дата оттаивания – третья декада марта (1983, 2001, 2014, 2016), поздняя – вторая декада мая (1980, 1985).

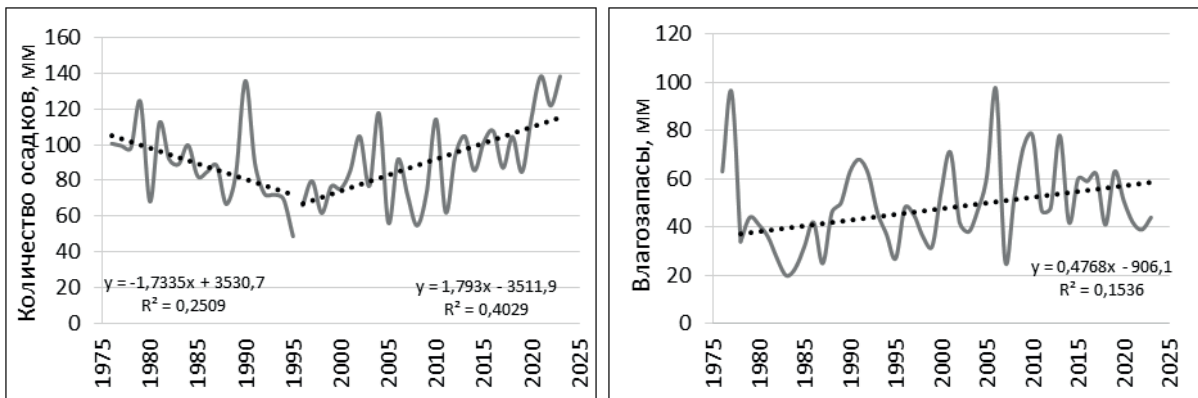


Рис. 5. Графики количества осадков, влагозапасов в снежном покрове и линейные тренды за холодный период по данным МС Рубцовск

Fig. 5. Charts of precipitation amount, moisture reserves in the snow cover, and linear trends for the cold period based on data from the Rubtsovsk meteorological station

При особых условиях (отрицательные температуры воздуха при незначительном снежном покрове или его отсутствии) почва может промерзнуть до глубины 160–240 см, как это было в 1977, 1980, 1982, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1998, 2005, 2008, 2011, 2018 годах (Табл. 1).

Промерзание почвы создает свои коррективы в распределении поверхностного стока в период снеготаяния. Часть талой воды просачивается в верхний слой почвы, часть скатывается по промёрзшей поверхности в западины и понижения, где

скапливается, затапливая прилегающие территории.

Открытые степные пространства исследуемой и ближайших территорий создают условия для возникновения ветров от слабых до ураганных. Ветер способствует усилению испарения с территории, что благоприятно при условии скопление водных масс. Средняя многолетняя скорость ветра составляет 3.2–5.0 м/с, с максимумом в холодным периоде (4.6–5.0 м/с). Преобладающее направление в теплый (21.2%) и холодный (39.2%) периоды южное.

Таблица 1

Абсолютная минимальная температура почвы (°C) на глубинах по МС Рубцовск

Table 1

Absolute minimum soil temperature (°C) at depths according to data from the Rubtsovsk meteorological station

Месяц	Глубина						
	20 см	40 см	80 см	120 см	160 см	240 см	320 см
X	-2.3	0.8	4.6	6.3	7.5	8.2	7.9
XI	-17.1	-10.4	0.2	3.0	4.5	6.0	6.9
XII	-15.0	-10.6	-5.4	-1.9	1.1	4.3	5.7
I	-18.6	-14.2	-6.6	-3.4	-0.8	1.9	0.5
II	-17.0	-12.5	-6.6	-3.4	-1.1	1.4	3.0
III	-12.2	-9.7	-6.4	-4.1	-1.4	0.9	2.6
IV	-2.4	-2.1	-2.1	-1.8	-0.9	0.5	1.4
V	4.3	3.2	0.9	-0.2	-0.3	0.7	1.8

Примечание: цветом выделены отрицательные температуры почвы

Абсолютные максимальные скорости ветра наблюдались в апреле 1978 (до 44 м/с), марте 1977 (до 40 м/с), июне 2007 (до 40 м/с). R^2 линейных трендов (1976–2023) средних скоростей ветра достоверен для рядов данных за все месяцы (-0.1...-0.5 м/с / 10 лет), кроме марта.

Естественно-сложившиеся неблагоприятные природно-климатические и гидрогеологические условия территории с. Пospelixa усиливаются влиянием хозяйственной деятельности человека. Существенным влиянием характеризуются созданные в процессе освоения территории искусственные препятствия и насыпи, которые задерживают поверхностный сток и нарушают ее естественное дренирование. Транспортные магистрали, включая железнодорожные и автомобильные дороги, инженерные объекты (в том числе подземных сооружений), а также плотная частная застройка с использованием подземного пространства на территории села изменяют направление и интенсивность как поверхностного, так и подземного стока, снижают инфильтрационные способности покровных отложений. Стоит также отметить, что для с. Пospelixa не была своевременно выполнена вертикальная планировка территории, которая могла бы минимизировать негативное воздействие вод. На значительной части существующей застройки отсутствует система организованного водоотведения поверхностного стока, что способствует накоплению атмосферных осадков в понижениях рельефа и формированию локальных очагов переувлажнения.

За счет полива приусадебных

участков, утечек из водонесущих инженерных и временных коммуникаций и инфильтрации производственных сбросов наблюдается искусственное (техногенное) подпитывание грунтов. Ретроспективный анализ показывает, что первый значимый подъем грунтовой воды начался после ввода в эксплуатацию централизованного водоснабжения в 1983 г. Население в это время отказалось от использования индивидуальных колодцев, в результате чего резко снизился забор воды из первых водоносных горизонтов.

Таким образом, к ключевым факторам антропогенного происхождения, влияющим на подтопление, относятся изменение естественного стока поверхностных вод и процесса фильтрации грунтовых вод на хозяйственно освоенных и подвергнутых трансформациям водосборных участках населенного пункта. В результате процессы подтопления получили дополнительный фактор развития, который в настоящее время является определяющим.

Вследствие этого на территории села образовались четыре зарегулированные области (зоны подтопления), в которых произошло нарушение естественного водного баланса при формировании поверхностного и грунтового стока (рис. 6). Выделение участков осуществлялось с учетом рельефа местности, инфраструктурного обустройства и выполненной инвентаризации территории.

Основные потоки формируются на северо-западе села, на сельскохозяйственных землях (участки №№ 1, 2) и направляются на юг, где частично аккумулируются в понижениях рельефа, а частично отводятся через водопропускные сооружения.

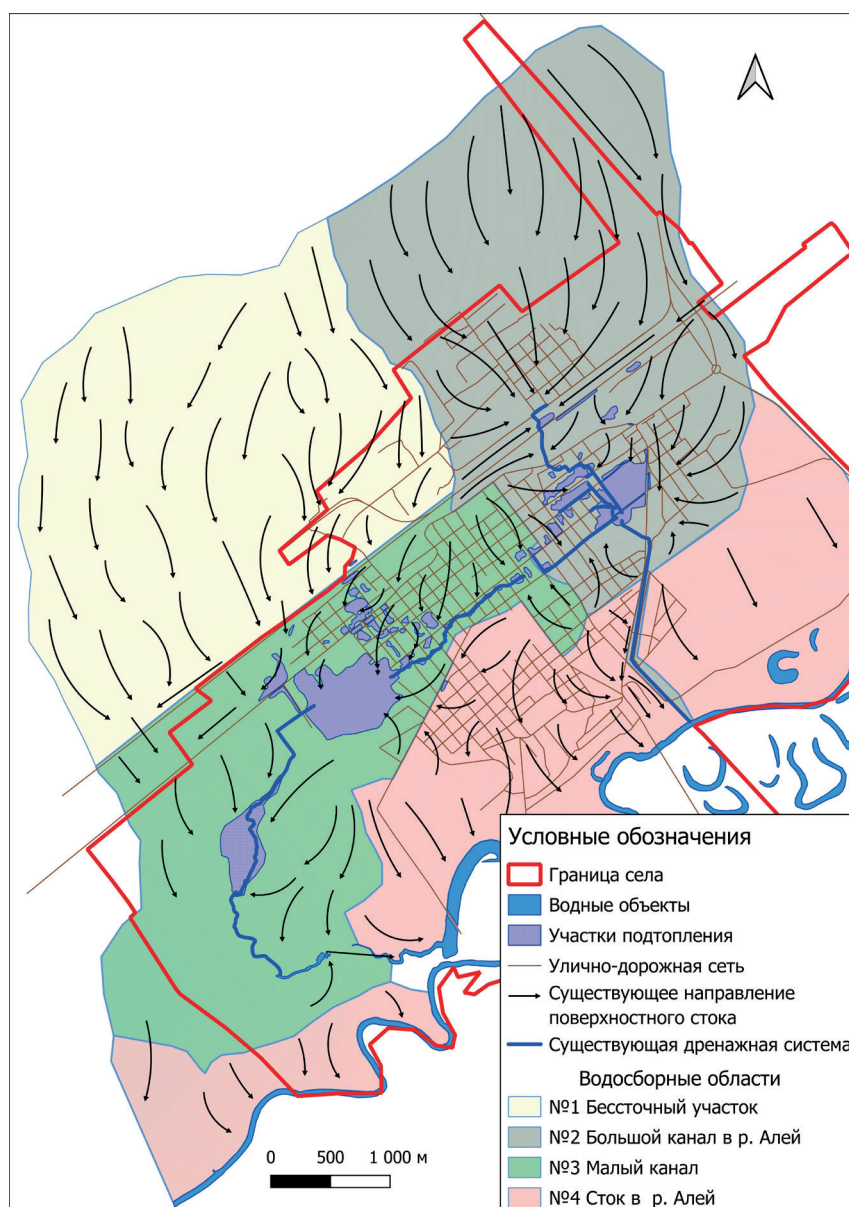


Рис. 6. Схема водосборных областей и существующих участков подтопления на территории с. Пospelikha (с учетом антропогенного фактора) на май 2025 г.

Fig. 6. Scheme of catchment areas and flooding sections in the territory of Pospelikha village (considering the anthropogenic factor) as of May 2025

Значительная часть стока перехватывается системой каналов – Большим и Малым (участки №№ 2, 3), обеспечивающих дренирование территории и последующее поступление воды в реку Алей. Южные и юго-восточные участки села (участок № 4) характеризуются сравнительно большим уклоном поверхности, способствующим непосредственному стеканию воды в русло р. Алей без аккумуляции в понижениях.

Для каждого участка и территории с. Пospelikha в целом рассчитаны элементы водного баланса, при условии равномерного распределения суточного слоя осадков.

Приходная часть водного баланса территории включает в себя атмосферные осадки (дождевой и талый сток), потери при транспортировке из водонесущих коммуникаций, полив приусадебных участков.

За счет поступления дождевых (слой осадков за теплый период года = 183 мм) и талых (запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния = 49.1 мм) вод, среднегодовой объем поверхностных вод, образующихся в границах водосборных областей составляет 9 010 тыс. м³, а на селитебных территориях с. Пospelikhа – 3 217 тыс. м³. Сток отводится по рельефу, существующим каналам и частично скапливается в локальных понижениях. Средний суточный слой осадков для теплого периода и периода снеготаяния различной обеспеченности представлены в таблице 2.

В настоящее время на территории с. Пospelikhа имеются централизованные системы холодного водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения. Износ сетей значительный до 80%, особенно канализационных, что способствует увеличению потерь воды при транспортировке и, соответственно, пополнению грунтовых вод [Схема..., 2023; Схема теплоснабжения котельных № 1..., 2024; Схема теплоснабжения котельных №3..., 2024]. Среднегодовое значение потерь, согласно данным статистической отчетности [Автоматизированная..., 2024], составляет 9.52 тыс. м³/год. За последние пять лет данный показатель увеличился в 11 раз.

Полив приусадебных участков осуществляется, как правило, ручным методом. В с. Пospelikhа преобладает усадебная застройка с участками для ведения личного подсобного хозяйства. Количество участков и их размер определены по космоснимку Google по состоянию на июнь 2022 г. в программе QGIS: 2 569 участков с средней площадью 0.07 га (из которых около 0.05 га, приходится на посадки плодово-ягодных и овощных культур). Поливочный сезон длится 123 дня с мая по сентябрь, из которых в среднем 54 дня с дождем. Расход воды на полив неравномерен в течение сезона: уменьшается ближе к концу и в целом зависит от погодных условий. Для расчета водного баланса число дней с поливом принято – 69. Таким образом, для полива всех приусадебных участков необходимо 42 тыс. м³ воды за поливочный сезон.

Расходная часть баланса представлена испарением и фильтрацией.

Среднее многолетнее испарение с поверхности суши для территории с. Пospelikhа лимитируется количеством осадков и составляет около 300 мм. Испарение зимой незначительно, летом наибольшее в июле – 54 мм. Со всей селитебной территории в среднем за год испаряется 12 833 тыс. м³.

Таблица 2
Среднесуточный слой осадков различной обеспеченности для с. Пospelikhа
Table 2
Average daily precipitation layer of varying reliability for Pospelikha village

Слой осадков:	Обеспеченность, %								
	5	10	25	39	63	80	86	95	99
за теплый период года, мм	1.54	1.28	0.95	0.79	0.61	0.51	0.46	0.39	0.33
за холодный период года, мм	9.43	7.83	5.81	4.86	3.75	3.10	2.82	2.40	2.03

Фильтрационные свойства определяются литологическим составом покровных отложений, которые практически повсеместно представлены суглинками с коэффициентом фильтрации (Кф) 0.3 м/сут. Локально встречаются участки с глиняными ($K_f \leq 0.001$ м/сут) и супесчаными ($K_f = 0.1$ м/сут) отложениями [Технико-экономическое..., 1992; Отчет..., 2012; Электронный каталог..., 2024]. При среднегодовом суточном слое дождевого стока (соответствует 39% обеспеченности) на суглинистых грунтах в сутки фильтруется только 163 м³ поступившей воды, остальной объем стекает по рельефу в понижения. Среднегодовой объем фильтрации суточного слоя составляет 0.7% (66 тыс. м³) от объема поступивших осадков.

Годовое соотношение приведенных элементов водного баланса территории с. Пospelиха для среднегодовых значений отрицательное. Новразрезе сезонов года для холодного периода и периода снеготаяния баланс положительный и составляет 1064 тыс. м³/г. Для теплого периода – отрицательный и равен -3 702 тыс. м³/г., а положительного значения достигает только при 10% обеспеченности.

В условиях аккумуляции стока в понижениях время и объемы фильтрации увеличиваются, а испарение уменьшается. Так для суглинистых грунтов с. Пospelиха столб воды размером в один кубический метр профильтруется на глубину один метр в течении четырех дней. Доля талого стока, скатывающегося по рельефу, может составлять 80–90% от общего объема в зависимости от степени обеспеченности. В среднем на конец периода снеготаяния

данный объем составляет 174 тыс. м³. Атмосферные осадки теплого периода при среднегодовых значениях испаряются в течении суток, но при 5–10% обеспеченности, при ливневых осадках доля аккумулирующихся вод составляет 14–16% (в среднем 9 тыс. м³/сут).

Климатические изменения вносят существенный вклад в водный баланс территории. При условии увеличения увлажнения прогнозируется рост площадей существующих участков подтопления и появление новых.

Для минимизации негативного воздействия вод необходимо перехватывать и отводить поверхностный сток, поступающий на территорию села. В связи с чем, предлагаются основные мероприятия, направленные на реконструкцию существующей дренажной системы, включающие расчистку русел и откосов каналов от древесно-кустарниковой и травянистой растительности, коммунально-бытовых отходов и строительного мусора, их углубление и берегоукрепление. Сбор стока также предлагается организовать с помощью строительства боковых канав вдоль улично-дорожной сети, с обустройством дорожных водопропускных сооружений через пересекающиеся улицы.

При реализации данных мероприятий величина минимального понижения грунтовых вод должна составить 2–3 м. Данные каналы и канавы должны осушить существующие места аккумуляции воды и сократить объемы требуемой фильтрации.

Для увеличения эффективности основных средств инженерной защиты рекомендуется использовать допол-

нительные меры по фитомелиорации и агролесотехнические мероприятия. На осушаемых территориях актуально устройство биодренажа на основе использования видов растений, активно поглощающих влагу (береза, ива, тополь, вяз, ясень, шелковица и т.д.) [Межерицкий, Лукьянова, 2020].

Заключение

Село Пospелиха на протяжении многих лет подвергается подтоплению. Реализация ряда инженерных решений в 1990-х гг. позволила на некоторое время минимизировать негативное воздействие грунтовых вод, но в последние годы проблема усилилась. Зона подтопления охватывает жилую застройку в восточной, центральной и западной частях села. Причинами усиления негативных процессов являются климатические изменения, плоский рельеф и особенности литологии поверхностных отложений, а также антропогенное влияние на формирование поверхностного стока.

Изотопный анализ подтвердил концепцию преимущественно атмосферно-дождевого происхождения вод в дренажных системах с. Пospелиха, что не противоречит ранее известным по литературным источникам [Ренна, 2016; Feng, 2022; Papina et al., 2023; Папина и др., 2025]

причинам подтопления территории. Анализ соотношения составляющих водного баланса показал, что в среднем за год расходная часть превалирует над приходной – основная доля водных масс в течении теплого периода испаряется. Лишь при 10% обеспеченности и менее водный баланс имеет положительные значения. За счет талого стока весной, ливневых или продолжительных дождей летом, а также слабой фильтрационной способности грунтов поверхностные воды накапливаются в локальных понижениях, способствуя увеличению времени испарения воды с поверхности и объема фильтрации, что приводит к поднятию уровня грунтовых вод. Дополнительным фактором развития проблемы подтопления территорий является искусственное (антропогенное) подпитывание грунтов.

В качестве основного инженерного решения по защите территории с. Пospелиха от подтопления предлагается дренажная система, которая в настоящий момент требует реконструкции и расширения, а также совмещения с сетью дождевой канализации. Реализация указанных мероприятий обеспечит эффективный отвод поверхностного стока с территории населенного пункта и предотвратит формирование локальных зон аккумуляции поверхностных вод.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interests.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН.

Список литературы

Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 02.09.2024).

Атлас теплового баланса Земного шара / Ред. М.И. Будыко. Международный Геофизический комитет при Президенте Академии наук СССР, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 1963.

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 05.07.2024).

Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 248 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации М-44-IV (Рубцовск). Издание второе. ФГБУ «ВСГЕИ», 2019.

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Алтайском крае в 2024». Барнаул, 2025. 180 с.

Елизаров Н.В., Попов В.В., Семендяева Н.В.. Современный гидроморфизм солонцов лесостепной зоны Западной Сибири // Почвоведение. 2020. № 12. С. 1451–1459.

Межеричкий С.И., Лукьянова Т.И. Биодренаж в ландшафтной архитектуре Донбасса: польза + красота // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2020. № 3 (143). С. 26–29.

Мелиоративные и водохозяйственные проблемы Сибири: сб. науч. тр. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 232 с.

Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения ВНТП-Н-97. Утверждены Минсельхозпродом РФ от 14 февраля 1995 г. Протокол НТС №1 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030871> (дата обращения: 14.04.2024).

Орлова Е.С., Рыбкина И.Д. Оценка фактического водопотребления населения сельских поселений Обь-Иртышского междуречья // Географическая среда и живые системы. 2025. № 1. С. 67–86. doi: 10.18384/2712-7621-2025-1-67-86

Отчет НИР по теме: «Разработка отдельных разделов паспорта климатической безопасности Алтайского края» / науч. рук. д.б.н., проф. Пузанов А.В., отв. исполнитель Резников В.Ф. Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2022. 269 с.

Отчет НИР ИВЭП СО РАН по теме «Разработка программы на выполнение научно-исследовательских и изыскательских работ, направленных на минимизацию или ликвидацию негативного воздействия вод – подтопление территории села Пospelиха Пospelихинского района Алтайского края» / науч. рук. д.б.н. Пузанов А.В., д.г.н. Рыбкина И.Д., отв. исп. Резников В.Ф. Барнаул, 2024. 79 с.

Отчет НИР ИВЭП СО РАН по теме «Разработка программы на выполнение научно-исследовательских и изыскательских работ, направленных на минимизацию или ликвидацию негативного воздействия вод – подтопление территории г. Рубцовска» / отв. исп. Резников В.Ф. Барнаул, 2018. 46 с.

Отчет о результатах оценки запасов подземных вод действующего водозабора ЗАО «ПМК» на Пospelихинском участке в селе Пospelиха Пospelихинского района Алтайского края. Лицензия БАР 01017 ВЭ. Отчет по договору с ЗАО «ПМК» от 15.02.2012 г. № 99. Барнаул, 2012. 45 с.

Отчет о результатах работ по объекту «Государственный мониторинг состояния недр территории Сибирского федерального округа (Алтайский край) в 2014–2015 гг.». Отчет по договору №5/2013 от 01.10.2013 г. Боровиха, 2015.

Отчет по гидрогеологическому доизучению и мониторингу водозабора открытого акционерного общества «Пospelихинский комбинат хлебопродуктов» в селе Пospelиха с целью оценки запасов подземных вод за 2008 –2010 годы. Барнаул, 2011.

Папина Т.С., Эйрих А.Н., Орлова Е.С., Рыбкина И.Д. Изотопный состав подземных вод территории бессточной области Обь-Иртышского междуречья // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2025. Т. 336, № 4. С. 212–224. doi: 10.18799/24131830/2025/4/4684

Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. Методическое пособие / Ред. Ю.А. Меншутин, Л.М. Верещагина, А.С. Керин, Е.В. Фомичёва, А.Ю. Логунова. НИИ ВОДГЕО. Москва, 2015. 146 с.

Рубцовск. Генеральный план города. Пояснительная записка [Текст] / ФГУП Российский государственный научно-исследовательский и проектный институт урбанистики. СПб, 2004.

СП 42.13330 «Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*»: утв. Приказом Минстроя России от 30.12.2016 №1034/пр // СПС КонсультантПлюс.

СП 104.13330. «Инженерная защита территории от затопления и подтопления». Актуализированная редакция СНиП 2.06.15-85: утв. Приказом Минстроя России от 16.12.2016 №964/пр (ред. от 23.12.2020) // СПС КонсультантПлюс.

СП 116.13330 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов»: утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 г. № 274 (ред. от 30.12.2020) // СПС КонсультантПлюс.

Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2024 г. № 4146-р [Электронный ресурс]. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/strategicheskoe_planirovanie_prostranstvennogo_razvitiya/strategiya_prostranstvennogo_razvitiya_rossii_do_2030_goda_s_prognozm_do_2036_goda/ (дата обращения: 04.08.2025).

Схема водоснабжения и водоотведения Муниципального образования Пospelихинский Центральный сельсовет Пospelихинского района Алтайского края на период до 2026 года. Постановление Администрации Пospelихинского района № 218 от 10.05.2023 г.

Схема теплоснабжения котельных № 1, № 6, № 7, № 9, № 10 муниципального образования Поспелихинский Центральный сельсовет Поспелихинского района Алтайского края на период до 2035 года. 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://pospelixa-adminoffical.gosuslugi.ru/spravochnik/teplosnabzhenie/> (дата обращения: 29.05.2025).

Схема теплоснабжения котельных №3 РОВД, Модульная ПМК, котельная № 75 муниципального образования Поспелихинский Центральный сельсовет Поспелихинского района Алтайского края на период до 2026 года. 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://pospelixa-adminoffical.gosuslugi.ru/spravochnik/teplosnabzhenie/> (дата обращения: 29.05.2025).

Технико-экономическое обоснование на проектирование защитных мероприятий от подтопления р.п. Поспелиха Поспелихинского района Алтайского края. АлтайГипроводхоз, 1992.

Электронный каталог учетных карточек буровых на воду скважин // ФГБУ «РОСГЕОЛФОНД». [Электронный ресурс]. URL: <https://rfgf.ru/bur/> (дата обращения: 24.07.2025).

Feng M., Zhang W., Zhang S., Sun Z., Li Y., Huan Y., Wang W., Qi P., Zou Y., Jiang M. The role of snowmelt discharge to runoff of an alpine watershed: Evidence from water stable isotopes // Journal of Hydrology. 2022. Vol. 604. P. 127209. doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.127209

Papina T., Eirikh A., Kotovshchikov A., Noskova T. Impact of Snowmelt Conditions on the Isotopic Composition of the Surface Waters of the Upper Ob River during the Flood Period // Water. 2023. Vol. 15, Is. 11. P. 2096. doi: 10.3390/w15112096

Penna D., Meerveld H.J., Zuecco G., Fontana G.D., Borga M. Hydrological response of an Alpine catchment to rainfall and snowmelt events // Journal of Hydrology. 2016. Vol. 537. P. 382–397. doi: 10.1016/j.jhydrol.2016.03.040

References

Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh ob'ektov (AIS GMVO) [The automated information data system of the state monitoring of the water bodies]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (accessed: 02.09.2024). (in Russian).

Atlas teplovogo balansa Zemnogo shara [Atlas of the Thermal Balance of the Earth] / Ed. M.I. Budyko. Mezhdunarodnyi Geofizicheskii komitet pri Prezidente Akademii nauk SSSR, Glavnaya geofizicheskaya observatoriya im. A.I. Voeikova, 1963. (in Russian).

Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut gidrometeorologicheskoi informatsii – Mirovoi tsentr dannykh (VNIIGMI-MTSD) [All-Russian Scientific Research Institute of Hydrometeorological Information - World Data Center]. URL: <http://meteo.ru/> (accessed: 05.07.2024). (in Russian).

Gol'dberg V.M. Vzaimosvyaz' zagryazneniyapodzemnykhvodiprirodnoisredy [Interrelation of groundwater pollution and the natural environment]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 248 p. (in Russian).

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii M-44-IV (Rubtsovsk) [State Geological Map of the Russian Federation M-44-IV (Rubtsovsk)]. Izdanie vtoroje. FGBU «VSGEI», 2019. (in Russian).

Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy v Altaiskom krae v 2024 g.» [State Report «On the Condition and Protection of the Environment in the Altai Krai in 2024»]. Barnaul, 2025. 180 p. (in Russian).

Elizarov N.V., Popov V.V., Semendyaeva N.V. Sovremennyyi gidromorfizm solontsov lesostepnoi zony Zapadnoi Sibiri [Modern hydromorphism of solonetz soils in the forest-steppe zone of Western Siberia] // Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]. 2020. № 12. P. 1451–1459. (in Russian).

Mezheritskii S.I., Luk'yanova T.I. Biodrenazh v landshaftnoi arkhitekture Donbassa: pol'za + krasota [Biadrainage in the landscape architecture of Donbass: benefits + beauty] // Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury [Bulletin of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2020. № 3 (143). P. 26–29. (in Russian).

Meliorativnye i vodokhozyaistvennye problemy Sibiri: sb. nauch. tr. [Reclamation and water management problems of Siberia]. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1989. 232 p. (in Russian).

Normy raskhodov vody potrebitelei sistem sel'skokhozyaistvennogo vodosnabzheniya VNTP-N-97 [Norms of water consumption for users of agricultural water supply systems]. Utverzhdeny Minsel'khozprodrom RF ot 14 fevralya 1995 g. Protokol NTS №1 [Elektronnyi resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030871> (accessed: 14.04.2024). (in Russian).

Orlova E.S., Rybkina I.D. Otsenka fakticheskogo vodopotrebleniya naseleniya sel'skikh poselenii Ob'-Irtyskogo mezhdurech'ya [Assessment of actual water consumption by the population of rural settlements in the Ob-Irtys interfluvium] // Geograficheskaya sreda i zhivye sistemy [Geographical Environment and Living Systems]. 2025. № 1. P. 67–86. (in Russian). doi: 10.18384/2712-7621-2025-1-67-86

Otchet NIR po teme: «Razrabotka otdel'nykh razdelov pasporta klimaticheskoi bezopasnosti Altaiskogo kraya» [Research report on the topic: «Development of specific sections of the climate safety passport for Altai Krai»] / nauch. ruk. d.b.n., prof. Puzanov A.V., otv. ispolnitel' Reznikov V.F. Barnaul: IVEHP SO RAN, 2022. 269 p. (in Russian).

Otchet NIR IVEP SO RAN po teme «Razrabotka programmy na vypolnenie nauchno-issledovatel'skikh i izyskatel'skikh rabot, napravlennykh na minimizatsiyu ili likvidatsiyu negativnogo vozdeystviya vod – podtoplenie territorii sela Pospelikha Pospelikhinskogo raiona Altaiskogo kraya» [Research report of the Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences on the topic «Development of a program for conducting scientific research and exploratory work aimed at minimizing or eliminating the negative impact of water – flooding of the village Pospelikha in Pospelikhinsky District of Altai Krai»] / nauch. ruk. d.b.n. Puzanov A.V., d.g.n. Rybkina I.D., otv. isp. Reznikov V.F. Barnaul, 2024. 79 p. (in Russian).

Otchet NIR IVEP SO RAN po teme «Razrabotka programmy na vypolnenie nauchno-issledovatel'skikh i izyskatel'skikh rabot, napravlennykh na minimizatsiyu ili likvidatsiyu negativnogo vozdetsviya vod – podtoplenie territorii g. Rubtsovsk» [Research report of the Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences on the topic «Development of a program for conducting scientific research and exploratory work aimed at minimizing or eliminating the negative impact of water – flooding of the territory of Rubtsovsk city»] / otv. isp. Reznikov V.F. Barnaul, 2018. 46 p. (in Russian).

Otchet o rezul'tatakh otsenki zapasov podzemnykh vod deistvuyushchego vodozabara ZAO «PMK» na Pospelikhinskom uchastke v sele Pospelikha Pospelikhinskogo raiona Altaiskogo kraia [Report on the results of the assessment of groundwater reserves of the active water intake of JSC «PMK» at the Pospelikha site in the village of Pospelikha, Pospelikhinsky District, Altai Krai]. Litsenziya BAR 01017 VEH. Otchet po dogovoru s ZAO «PMK» ot 15.02.2012 g. № 99. Barnaul, 2012. 45 p. (in Russian).

Otchet o rezul'tatakh rabot po ob'ektu «Gosudarstvennyi monitoring sostoyaniya nedr territorii Sibirskogo federal'nogo okruga (Altaiskii krai) v 2014–2015 gg.» [Report on the results of work on the object «State monitoring of the condition of subsoil in the territory of the Siberian Federal District (Altai Krai) in 2014–2015»]. Otchet po dogovoru №5/2013 ot 01.10.2013 g. Borovikha, 2015. (in Russian).

Otchet po gidrogeologicheskomu doizucheniyu i monitoringu vodozabara otkrytogo aktsionernogo obshchestva «Pospelikhinskii kombinat khleboproduktov» v sele Pospelikha s tsel'yu otsenki zapasov podzemnykh vod za 2008–2010 gody [Report on hydrogeological additional study and monitoring of the water intake of the open joint-stock company “Pospelikhinsky Bread Products Plant” in the village of Pospelikha for the purpose of assessing groundwater reserves for 2008–2010]. Barnaul, 2011. (in Russian).

Papina T.S., Ehirikh A.N., Orlova E.S., Rybkina I.D. Izotopnyi sostav podzemnykh vod territorii besstochnoi oblasti Ob'-Irtyskogo mezhdurech'ya [Isotopic composition of groundwater in the territory of the endorheic basin of the Ob-Irtys interfluve] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Geo Resources Engineering]. 2025. Vol. 336, no. 4. P. 212–224. (in Russian). doi: 10.18799/24131830/2025/4/4684

Rekomendatsii po raschetu sistem sbora, otvedeniya i ochistki poverkhnostnogo stoka selitebnykh territorii, ploshchadok predpriyatii i opredeleniyu uslovii vypuska ego v vodnye ob'ekty [Recommendations for the calculation of systems for collection, diversion, and treatment of surface runoff from residential areas, industrial sites, and determination of conditions for its discharge into water bodies]. Metodicheskoe posobie / Eds. Yu.A. Menshutina, L.M. Vereshchagina, A.S. Kerin, E.V. Fomicheva, A.Yu. Logunova. Moskva, 2015. 146 p. (in Russian).

Rubtsovsk. General'nyi plan goroda. Poyasnitel'naya zapiska [Rubtsovsk. General city plan. Explanatory note] / FGUP Rossiiskii gosudarstvennyi nauchno-issledovatel'skii i proektnyi institut urbanistiki. SPb, 2004. (in Russian).

SP 42.13330 «Svod pravil. Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroika gorodskikh i sel'skikh poselenii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIP 2.07.01-89» [SP 42.13330 «Code of Practice. Urban Planning. Planning and Development of Urban and Rural Settlements. Updated edition of SNIP 2.07.01-89»]: utv. Prikazom Ministroya Rossii ot 30.12.2016 №1034/pr // SPS Konsul'tantPlyus. (in Russian).

SP 104.13330. «Inzhenernaya zashchita territorii ot zatopleniya i podtopleniya» [SP 104.13330 «Engineering protection of territories from flooding and waterlogging»]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIP 2.06.15-85: utv. Prikazom Ministroya Rossii ot 16.12.2016 №964/pr (red. ot 23.12.2020) // SPS Konsul'tantPlyus. (in Russian).

SP 116.13330 «Inzhenernaya zashchita territorii, zdanii i sooruzhenii ot opasnykh geologicheskikh protsessov» [SP 116.13330 «Engineering protection of territories, buildings, and structures from hazardous geological processes»]: utv. Prikazom Minregiona Rossii ot 30.06.2012 g. № 274 (red. ot 30.12.2020) // SPS Konsul'tantPlyus. (in Russian).

Strategiya prostranstvennogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii na period do 2030 goda s prognozom do 2036 goda [Spatial Development Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 with a forecast up to 2036]. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 28 dekabrya 2024 g. № 4146-r. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/strategicheskoe_planirovanie_prostranstvennogo_razvitiya/strategiya_prostranstvennogo_razvitiya_rossii_do_2030_goda_c_prognozom_do_2036_goda/ (accessed: 04.08.2025). (in Russian).

Skhema vodosnabzheniya i vodootvedeniya Munitsipal'nogo obrazovaniya Pospelikhinskii Tsentral'nyi sel'sovet Pospelikhinskogo raiona Altaiskogo kraia na period do 2026 goda [Water supply and sanitation scheme of the municipal formation Pospelikhinsky Central rural council of Pospelikhinsky District, Altai Krai for the period up to 2026]. Postanovlenie Administratsii Pospelikhinskogo raiona № 218 ot 10.05.2023 g. (in Russian).

Skhema teplosnabzheniya kotel'nykh № 1, № 6, № 7, № 9, № 10 munitsipal'nogo obrazovaniya Pospelikhinskii Tsentral'nyi sel'sovet Pospelikhinskogo raiona Altaiskogo kraia na period do 2035 goda [Heating supply scheme for boiler houses No. 1, No. 6, No. 7, No. 9, No. 10 of the municipal formation Pospelikhinsky Central rural council, Pospelikhinsky District, Altai Krai for the period up to 2035]. 2024. URL: <https://pospelixa-adminoffical.gosuslugi.ru/spravochnik/teplosnabzhenie/> (accessed: 29.05.2025). (in Russian).

Skhema teplosnabzheniya kotel'nykh №3 ROVD, Modul'naya PMK, kotel'naya № 75 munitsipal'nogo obrazovaniya Pospelikhinskii Tsentral'nyi sel'sovet Pospelikhinskogo raiona Altaiskogo kraia na period do 2026 goda [Heating supply scheme for boiler house No. 3 of the Department of Internal Affairs, Modular PMK, and boiler house No. 75 of the municipal formation Pospelikhinsky Central rural council, Pospelikhinsky District, Altai Krai for the period up to 2026]. 2024. URL: <https://pospelixa-adminoffical.gosuslugi.ru/spravochnik/teplosnabzhenie/> (accessed: 29.05.2025). (in Russian).

Tekhniko-ehkonomicheskoe obosnovanie na proektirovanie zashchitnykh meropriyatii ot

podtopleniya r.p. Pospelikha Pospelikhinskogo raiona Altaiskogo kraia [Feasibility study for the design of protective measures against flooding in the urban-type settlement Pospelikha, Pospelikhinsky District, Altai Krai]. AltaIGiprovodkhoz, 1992. (in Russian).

Ehlektronnyi katalog uchetnykh kartochek burovykh na vodu skvazhin [Electronic catalog of inventory cards for water boreholes] // FGBU «ROSGEOLFOND». URL: <https://rfgf.ru/bur/> (accessed: 24.07.2024). (in Russian).

Feng M., Zhang W., Zhang S., Sun Z., Li Y., Huan Y., Wang W., Qi P., Zou Y., Jiang M. The role of snowmelt discharge to runoff of an alpine watershed: Evidence from water stable isotopes // Journal of Hydrology. 2022. Vol. 604. P. 127209. doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.127209

Papina T., Eirikh A., Kotovshchikov A., Noskova T. Impact of Snowmelt Conditions on the Isotopic Composition of the Surface Waters of the Upper Ob River during the Flood Period // Water. 2023. Vol. 15, Is. 11. P. 2096. doi: 10.3390/w15112096

Penna D., Meerveld H.J., Zuecco G., Fontana G.D., Borga M. Hydrological response of an Alpine catchment to rainfall and snowmelt events // Journal of Hydrology. 2016. Vol. 537. P. 382–397. doi: 10.1016/j.jhydrol.2016.03.040

NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS IN THE DEVELOPMENT OF FLOODING PROCESSES IN RURAL RESIDENTIAL AREAS OF THE ALTAI TERRITORY

E.S. Orlova, A.V. Golovin, M.S. Gubarev, V.F. Reznikov, I.D. Rybkina

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: el.orlova11@yandex.ru

The article examines natural and anthropogenic factors determining the development of flooding processes in rural populated areas of Altai Krai, using Pospelikha village as a case study, where since the 1990s, the intensification of negative flooding processes has been observed. It studies the features of natural, climatic, and hydrogeological conditions and highlights the main anthropogenic causes contributing to the development of flooding processes. Based on field research data, an inventory of existing drainage systems in Pospelikha has been conducted, flooding zones identified, and isotopic analysis of drainage waters performed to determine their genesis. A generalized assessment of the components of water balance calculations for the rural settlement area has been carried out for different reliability levels. During the average annual precipitation, a positive water balance is observed in the cold period due to snowmelt runoff, while a negative balance occurs in the warm period due to predominant evaporation. Scientific directions for engineering protection aimed at lowering and stabilizing groundwater levels and draining local accumulation zones have been substantiated.

Keywords: natural and anthropogenic factors; flood zones; drainage systems; engineering protection of the territory; groundwater.

Received November 5, 2025. Accepted: November 27, 2025

Сведения об авторах

Орлова Елена Сергеевна – младший научный сотрудник лаборатории водных ресурсов и водопользования Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0009-0004-0650-4055. E-mail: el.orlova11@yandex.ru.

Головин Антон Владимирович – младший научный сотрудник лаборатории водных ресурсов и водопользования Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-0946-9393. E-mail: golovin.anton.vl@gmail.com.

Губарев Михаил Сергеевич – ведущий инженер Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-0693-6371. E-mail: maik1980@bk.ru.

Резников Виктор Федорович – ведущий инженер Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0009-0003-3681-6802. E-mail: rvf@iwep.ru.

Рыбкина Ирина Дмитриевна – доктор географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией водных ресурсов и водопользования Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-0081-9652. E-mail: irina.rybkina@mail.ru.

Information about the authors

Orlova Elena Sergeevna – Junior researcher at the Laboratory of Water Resources and Water Management of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0009-0004-0650-4055. E-mail: el.orlova11@yandex.ru.

Golovin Anton Vladimirovich – Junior researcher at the Laboratory of Water Resources and Water Management of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-0946-9393. E-mail: golovin.anton.vl@gmail.com.

Gubarev Mikhail Sergeevich – Leading engineer of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-0693-6371. E-mail: maik1980@bk.ru.

Reznikov Viktor Fedorovich – Leading engineer of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0009-0003-3681-6802. E-mail: rvf@iwep.ru.

Rybkina Irina Dmitrievna – Dr Sc. in Geography, Associate Professor, leading researcher, Head of the Department Laboratory of Water Resources and Water Use of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-0081-9652. E-mail: irina.rybkina@mail.ru.