ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2025;(12-1):157-169
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 553.8: 550.8.08 DOI: 10.25018/0236_1493_2025_121_0_157

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕРМОМЕТРИИ ПРИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

Е.С. Зырянова[1,2], А.А. Киндлер[2], С.Н. Елохина[2], В.А. Елохин[1]

[1] Уральский государственный горный университет,
Екатеринбург, Россия, e-mail: katrin.zyrian@mail.ru
[2] Уральский региональный центр ГМСН – филиал ФГБУ «Гидроспецгеология»,
Екатеринбург, Россия

Аннотация: Рассмотрены методические аспекты измерения температурного поля на водотоках при картировании листа О-41-XXV (Екатеринбург). Комплекс проведенных термометрических и гидрометрических наблюдений был направлен на выявление зон субаквальной разгрузки подземных вод на участке в нижнем течении р. Мочаловки, в районе слияния рек Мурзинки и Мочаловки и в среднем течении р. Мурзинки. По результатам анализа собранных материалов наиболее контрастно отрицательные аномалии температуры грунтовых вод прослеживаются на глубине 0,5 м. Эти аномалии связываются с субаквальной разгрузкой в реку подземного потока с температурой 6–7 °С, отличающейся от фоновой в 1,8 раз. По результатам исследований выявлены три участка с аномально низкими температурами в диапазоне 6,1–7,2 °С. Экспериментально и с помощью моделирования показано, что места разгрузки более холодных подземных вод формируют локальные устойчивые температурные аномалии пониженных значений. Пространственный анализ показал, что на участках снижения температур аномалия связана с оперяющими основную зону разломов трещинами, которые контролируются в рельефе субширотным логом, что доказывает связь температурных аномалий с активными гидрогеологическими процессами и их влияние на динамику подземного стока.

Ключевые слова: термометрия, разгрузка подземных вод, гидрогеологическая съемка, геофизика на акваториях, профиль температур, водоток, тектонические нарушения, Урал, моделирование.

Для цитирования: *Зырянова Е. С., Киндлер А. А., Елохина С. Н., Елохин В. А.* Опыт применения поверхностной термометрии при гидрогеологической съемке // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 12-1. – С. 157–169. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_121_0_157.

Experience of application surface thermometry in hydrogeological survey

E.S. Zyryanova[1,2], A.A. Kindler[2], S.N. Elokhina[1,2], V.A. Elokhin[1]

[1] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia
[2] Hydrospetsgeology «Urals Regional Center GMSN», Ekaterinburg, Russia

© Е.С. Зырянова, А.А. Киндлер, С.Н. Елохина, В.А. Елохин. 2025.

Abstract: The paper examines in detail the methodological aspects of measuring the temperature field on watercourses when mapping sheet O-41-XXV (Ekaterinburg). A series of thermometric and hydrometric observations was conducted to identify areas of subaquatic discharge of groundwater in the lower reaches of the Mochalovka River, in the area where the Murzinka and Mochalovka rivers converge, and in the middle reaches of the Murzinka River. According to the results of the analysis of the collected data, the most contrasting negative anomalies in groundwater temperature are observed at a depth of 0.5 m. These anomalies are associated with subaquatic discharge into the river of an underground stream with a temperature of 6–7 °C, which differs from the background temperature by a factor of 1.8. The results of the studies revealed three areas with abnormally low temperatures in the range of 6.1–7.2 °C. Experiments and modeling have shown that the discharge points of colder groundwater form local stable temperature anomalies with lower values. Spatial analysis showed that in areas of temperature reduction, the anomaly is associated with cracks surrounding the main fault zone, which are controlled in the relief by a sublatitudinal log, proving the connection between temperature anomalies and active hydrogeological processes and their influence on the dynamics of underground flow.

Key words: thermometry, groundwater discharge, hydrogeological survey, geophysics on water areas, temperature profile, water flow, tectonic disturbances, Ural, modeling.

For citation: Zyryanova E. S., Kindler A. A., Elokhina S. N., Elokhin V. A. Experience of application surface thermometry in hydrogeological survey. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(12-1):157-169. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_121_0_157.

Введение

В рамках проведения гидрогеологических съемочных работ на территории площади листа O-41-XXV (Екатеринбург) осуществляются всесторонние гидрогеологические и геофизические исследования. Работы направлены на получение полной и достоверной информации о подземных водных ресурсах, а также об их состоянии и динамике.

Согласно проекту, прошедшему экспертизу, рекогносцировочные маршруты включают визуальную привязку объектов наблюдения с их фотографированием, описание участков разгрузки подземных вод (родники, мочажины), водопунктов (колодцы, обустроенные выходы родников), водозаборов подземных вод, потенциальных источников загрязнения и др. Основным принципом выбора участков проведения рекогносцировочных маршрутов является их принадлежность к геолого-структурным и тектоническим особенностям района. Выбор направления маршрута происходит вкрест простирания основных нестратифицируемых гидрогеологических подразделений; он приурочен к прямолинейным участкам рек и водотоков и резкой смене направления их течения из-за тектонических особенностей района. По результатам рекогносцировочного маршрутного обследования намечаются гидрогеологические маршруты.

Закартированная площадь располагается в пределах бассейнов грунтового стока горноскладчатого Урала. Подземные воды, приуроченные к сложно дислоцированному комплексу эффузивно-осадочных, осадочных, метаморфических и интрузивных пород палеозойского и протерозойского возраста, отнесены к

типу трещинных безнапорных. Особое значение отводилось локализации подземного стока в зонах повышенной трещиноватости тектонических нарушений. Этим зонам, являющимся подземными дренами, отводилась аккумулирующая роль подземного потока с обширных водосборных площадей, занятых менее трещиноватыми породами. По этим зонам осуществляется разгрузка подземных вод в поверхностные водные объекты. Выявленные закономерности сформировали методические подходы к постановке гидрогеологических работ с целью выявления водообильных зон с высокой проницаемостью и водоотдачей, обеспечивающих промышленные дебиты скважин.

Гидрогеологические маршруты проводятся для оценки текущего состояния водоносных систем и их динамики по качественным и количественным показателям. Основные задачи при маршрутных исследованиях — это выявление различных гидрогеологических объектов и их проявлений, изучение степени и характера водоносности горных пород, определение условий залегания, питания, распространения и разгрузки подземных вод, взаимосвязи подземных и поверхностных вод; оценка физических свойств, химического состава и качества подземных и поверхностных вод. Проведение гидрогеологических маршрутов предусматривается на участках с наименьшей гидрогеологической изученностью, отличающихся наиболее сложными, в том числе и техногенно-нарушенными, условиями.

Объектами наблюдений являются естественные водопроявления (родники, водотоки и водоемы) и каптажи подземных вод (колодцы). Гидрогеологические маршруты позволяют замерить дебиты родников, уровни и температуру воды, произвести отбор проб подземных и поверхностных вод для лабораторных исследований с целью уточнения химического состава и определения качества подземных вод.

Одним из самых простых и относительно недорогих методов, применяемых для поиска зон субаквальной разгрузки, является измерение температур. Использование метода обусловлено различием температур грунтовых и поверхностных вод.

В научной литературе рассматриваются различные аспекты распространения и изменения теплового поля на водотоках.

Согласно исследованиям С.З. Козака, использование акваториальной геофизики на начальном этапе полевых исследований является обоснованным [1].

Проведение термомониторинга подземных вод осуществляется для безопасной эксплуатации техногенных объектов: так в статье [2] в рамках эксплуатации АЭС данный метод позволяет получить информацию об изменениях гидрогеодинамического поля перед тектоническими событиями. В работе [3] на основе данного метода проводится контроль теплового загрязнения подземных вод на полигоне захоронения промышленных отходов и др. [4, 5]. Помимо этого, температурный мониторинг применяется для контроля и предотвращения таяния горных пород как вокруг нефтегазовых скважин с целью своевременного обнаружения опасных зон, где может произойти потеря устойчивости крепи скважины, так и с целью контроля состояния мерзлых пород вне промышленных объектов [6—9]. Так, например, группой авторов была разработана и испытана система автоматизированного мониторинга температуры грунта под зданием на свайном фундаменте в г. Салехард. Выполнено моделирование температурного поля (декабрь 2019 г. — январь 2020 г.). Выявлена зональная стабильность грунта, но зафик-

сированы тепловые аномалии в скважине Т1 на глубине 12 — 14 м. Авторы приходят к выводу, что сочетание мониторинга и математического моделирования позволяет оценить безопасность фундаментов зданий в мерзлотной зоне и определить необходимость тепловой стабилизации грунта [10]. Также системы долговременного температурного мониторинга мерзлых грунтов зарекомендовали себя под фундаментами зданий и сооружений [11]; при наблюдениях за температурным режимом сезонно-талого слоя в природных условиях [12], за процессом оттаивания искусственно замороженной стены в рамках исследований шахты калийного рудника [13]; при анализе взаимодействия транспортной инфраструктуры с мерзлотной средой [14], устойчивости мерзлоты под насыпями из дробленого камня вдоль Тибетской железной дороги [15]; при изучении влияния инфильтрации надмерзлотных вод на температурное поле насыпи [16]. Использование тепловой фотограмметрии для мониторинга активного слоя на поверхности мерзлой скалы позволяет отслеживать температурное распределение с воздуха и получать пространственно-временные данные [17], при изучении криолитозоны термометрия является одним из основных методов [18]. Термометрия может использоваться как источник данных о техногенном воздействии на подземное тепловое поле города [19].

Теория о том, что применение термометрии на акваториях для изучения интервалов субаквальной разгрузки наиболее эффективно в летнее время из-за максимального различия температуры поверхностных и подземных вод, также получила обоснование [20].

На основе данного метода М.Р. Жураев проводил выявление перспективных площадей распространения сероводородных вод [21, 22].

В работах С.О. Гриневского и В.В. Прокофьева отмечается, что годовой цикл изменения температуры воздуха и речной воды через процессы конвективного теплообмена оказывает значительное воздействие на формирование температурного режима в донных отложениях [23].

Применение поверхностной термометрии на водоемах актуально при решении гидрогеологических и геоэкологических задач, таких как определение условий взаимодействия подземных и поверхностных вод, а также при поисках участков разгрузки подземных вод в русло реки и поглощения поверхностного стока в русловые отложения. Термометрия русловых отложений используется на практике для изучения локальных участков подземного стока в трещинном коллекторе скальных пород на участках, пересекаемых водотоками.

В статье рассматриваются результаты обработки термометрических данных, полученных при проведении съемочных работ на участке, который расположен в 3,6 км к северо-востоку от пос. Старопышминск Березовского ГО, в месте слияния рек Мурзинки и Мочаловки.

Методика наблюдений

Основным методом исследований при поиске зон разгрузки (поглощения) подземных вод на территории листа О-41-XXV являются температурные измерения на водотоках. Выбор местоположения участков для проведения термометрических исследований был сделан на основе комплексных гидрогеологических изысканий, проводившихся в 1967 — 1969 гг. с целью картирования данной территории [24].

Перед началом непосредственных измерений температуры проводятся рекогносцировочные полевые работы. Они включают маршрутное обследование изучаемого района, привязку опорных

реперов и марок с использованием современного геодезического оборудования высокой точности, такого как, например, GNSS-приемники.

Для замеров температуры подземных и поверхностных вод применяются высокоточные термометры, прошедшие обязательную первичную поверку и калибровку в аккредитованных метрологических центрах, в соответствии с действующими стандартами. В данном случае термометрические работы были выполнены с помощью контактного термометра ТК-5.06С с погружным усиленным зондом ЗПГУ.1000 компании «Техноас» (г. Коломна).

Измерения проводятся в скважинах, родниках и водотоках, охватывая как подземные воды первого от поверхности водоносного горизонта, так и поверхностные воды по ключевым точкам.

Места разгрузки более холодных подземных вод формируют локальные температурные аномалии пониженных значений, в то время как участки притока относительно теплых подземных вод проявляются аномалиями повышенных температур [25].

Для точной привязки точек наблюдения к местности при маршрутных измерениях используются портативные GPS-навигаторы геодезического класса. Плотность замеров температуры варьируется: на участках с одинаковыми температурными условиями точки располагаются через каждые 100 м, а на участках с выявленными температурными аномалиями производится детализация, и замеры проводятся каждые 5–20 м.

В большинстве случаев разгрузка подземных вод в русловую часть водотоков проявляется главным образом в изменении температуры донных отложений речного аллювия, который и становится основным объектом наблюдений при термометрии. Тем не менее, на малых реках и ручьях целесообразно дополнительно фиксировать температуру самой водной толщи, поскольку интенсивная локальная разгрузка подземных вод может вызвать значительные колебания температуры воды в водотоке [25].

Измерения температуры донных отложений осуществляются путем погружения датчика термометра в грунт на глубину от 0,5 до 1,0 м. Параллельно замеряется и температура воды в водном объекте.

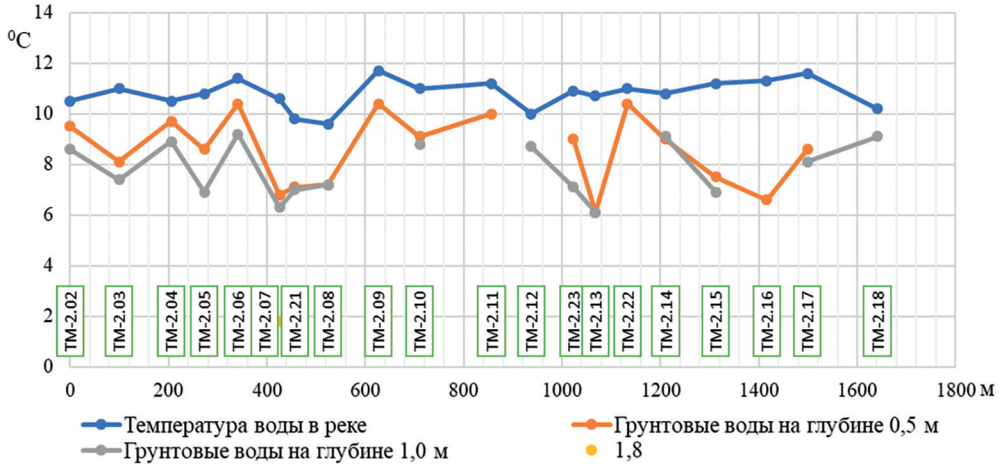

Рис. 1. Термограмма исследуемого участка рек Мурзинка–Мочаловка
Fig. 1. Thermogram of the studied section of the Murzinka–Mochalovka rivers

Для количественной оценки интенсивности разгрузки подземных вод или же поглощения части руслового стока водотока проводятся гидрометрические наблюдения по специальным створам, размещенным, на основании данных русловой геофизики, выше и ниже предполагаемой области разгрузки (поглощения).

Исходные данные, полученные в ходе термометрии, были первоначально обработаны с использованием программного обеспечения Ms. Excel Microsoft (США). С помощью полученных комплексных графиков температур были выявлены отрицательные температурные аномалии, приуроченные к зонам разгрузки подземных вод. На основе этих графиков была проведена количественная оценка температурного градиента в реках (см. рис. 1).

Для визуализации распределения температуры грунтовых вод, их координатной увязки была задействована геоинформационная система Surfer Golden Software (США). Расчет проводился методом Кригинга, температурные изолинии строились с шагом в 1 °С. Всего получено 13 цветовых градаций от 4,5 до 15,5 °С (рис. 2).

Последующая обработка и оформление материалов Surfer проводились в программном комплексе ArcGis (ESRI, США). Это позволило точно наложить результаты на геологическую основу (см. рис. 3).

Простота и доступность этого метода позволяет выполнять большой объем замеров для изучения влияния пространственной температуры воды в водотоке. К недостаткам метода можно отнести требования по минимальным временным интервалам между наблюдениями и наличие триггерных факторов, например, изменение погодных условий влияет на качество интерпретации полученной информации.

После обработки и анализа данных термометрии строятся температурные карты и профили, на которых хорошо видны участки с температурными аномалиями. Эти аномальные зоны свидетельствуют о возможных местах разгрузки или поглощения подземных вод. Полученные результаты в совокупности с геологическими, гидрогеологическими и другими данными позволяют уточнить картину подземного стока и разгрузки подземных вод на исследуемой территории.

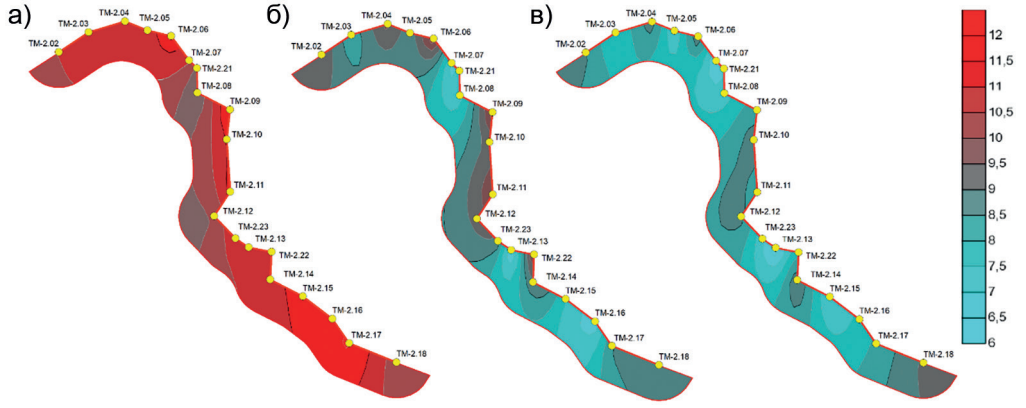

Рис. 2. Распределение температуры в грунтовых водах: температура воды в реке (а); грунтовые воды на глубине 0,5 м (б); грунтовые воды на глубине 1,0 м (в)

Fig. 2. Temperature distribution in groundwater: river water temperature (a); groundwater at a depth of 0.5 m (b); groundwater at a depth of 1.0 m (v)

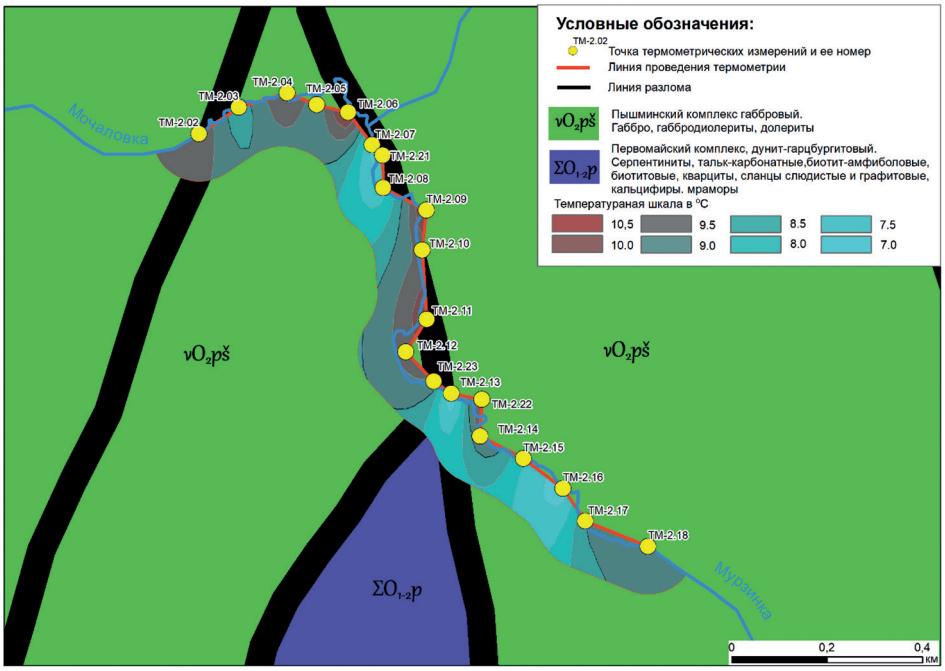

Рис. 3. Термометрический профиль грунтовых вод, глубина 0,5 м, на фрагменте государственной геологической карты Российской Федерации, лист O-41-XXV (Екатеринбург)

Fig. 3. Groundwater thermometric profile, 0.5 m depth, on a fragment of the State Geological Map of the Russian Federation, sheet O-41-XXV (Ekaterinburg)

Предлагаемая методика доказала свою эффективность при исследовании и поисках участков разгрузки подземных вод в русло реки и поглощения поверхностного стока в донные отложения русла.

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках работы приведены гидрометрические наблюдения в нижнем течении (устьевой части) р. Мочаловки, на участке слияния рек Мурзинки и Мочаловки и в среднем течении р. Мурзинки, которая здесь имеет субмеридиональное направление. Район работ расположен в 3,6 км к северо-востоку от пос. Старопышминск Березовского ГО.

Река Мурзинка берет начало в котловине болота Кругляш, принимает правые притоки — реки Ивановка и Мочаловка, протяженность реки с осушительными каналами торфоразработок — 14,2 км. На северо-востоке ее русло пересекают оперяющие разрывные нарушения в зоне Мурзинского разлома. В среднем течении река выходит на линию оси разлома и на протяжении 0,7 км протекает вдоль него. Река Мочаловка пересекает зону дизъюнктивных нарушений в субширотном направлении.

В тектоническом отношении русла рек Мурзинки и Мочаловки приурочены к Медведе-Арамильской зоне и протекают в пределах Пышминско-Березовского габброидного массива.

Для р. Мурзинки отложения представлены глинами темно-бурого, буро-коричневого, буровато-серого, зеленовато-серого до темно-серого, почти черного цвета в верхней части разреза. Нижняя часть разреза сложена песками, песчано-галечными отложениями полимиктового состава. Придолинные и пой-

менные участки водотоков покрыты кустарником и лугами. Разработка торфяных залежей прекращена полностью. На этих площадях сохранились каналы осушительных систем и насыпи для узкоколейного транспорта. Питание рек района в периоды устойчивой летне-осенней и зимней межени осуществляется за счет подземных вод, дренируемых их руслами. Долина реки до устья изменена дренажными работами, в результате которых в долине образовалось большое количество проток и замкнутых водоемов сложной зигзагообразной формы. Аллювиальные отложения р. Мочаловки представлены глинами, суглинками коричнево-серого до серого цвета, песками полимиктовыми с галькой и гравием, они перекрыты болотными отложениями, подстилаются мезозойскими корами выветривания и коренными породами [26].

Авторские термометрические измерения на участке слияния рек Мурзинки и Мочаловки выполнены 23 июня 2023 г. для определения участков сохранившейся разгрузки подземных вод в русло реки и установления зон поглощения поверхностных вод.

Протяженность профиля ТМ-1 составила 1,65 км (2 км по руслу рек), общее количество точек измерения — 20, из них 3 точки — детализационные. Расстояние между точками варьировало в пределах 70—100 м, в зависимости от состояния русел и особенностей ландшафта.

Сложности при проведении работ оказывали бобровые плотины, каменистое или непроходимое русло рек. Измерения температур выполнены в русле рек Мурзинка и Мочаловка и в прибрежной зоне в аллювиальном слое на глубинах 0,5 и 1,0 м.

Фоновые значения температур составили: вода в 0,1 м от поверхности реки — 10,2—11,7 °С, на глубине 0,5 м — 6,1—10,4 °С, грунтовые воды на глубине 1,0 м — 6,1—9,1 °С.

Выявлены три точки с аномально низкими температурами в диапазоне 6,1—7,2 °С, рядом с которыми были выполнены дополнительные детализационные измерения.

В диапазонах точек ТМ-2.05—ТМ-2.08 с детализационной ТМ-2.21, ТМ-2.13—ТМ-2.23 (детализационная) и ТМ-2.14—ТМ-2.17 прослеживается отрицательная аномалия температуры донных отложений: в точках ТМ-2.06—ТМ-2.09 разница температур с поверхностными водами составляет 4,3 °С; в точках ТМ-2.23—ТМ-2.22 — 4,6 °С, ТМ-2.15—ТМ-2.17 — 4,7 °С.

На основании проведенных геофизических исследований были построены термограммы субаквальной разгрузки на исследуемой территории для поверхностных вод и грунтовых вод на глубинах 0,5 и 1,0 м (см. рис. 1).

На рис. 2 приведены модели, иллюстрирующие распределение температур поверхностных вод рек Мочалова, Мурзинка и грунтовых вод в их прибрежной зоне. Наиболее контрастно отрицательные аномалии температуры грунтовых вод прослеживаются на глубине 0,5 м, что связано с субаквальной разгрузкой в реку подземного потока с температурой 6—7 °С, отличающейся от фоновой в 1,8 раз. На глубине 1,0 м общий температурный фон более ровный, однако на нем все так же различимы зоны отрицательных аномалий температур грунтовых вод.

Выполненные исследования показывают, что интенсивное поступление грунтовых вод на пикетах ТМ-2.06—ТМ-2.09 (интервал около 300 м) приводит к снижению температуры речной воды на данном участке с 11,4 до 9,6 °С. На других участках снижение температур выражено слабо, аномалия связана с оперяющими основную зону разломов

трещинами, которые контролируются в рельефе субширотным логом.

Применение метода термометрии русловых отложений при проведении съемочных работ помогает точнее определить гидрогеологическую значимость тектонических нарушений и выявить водоносные зоны разломов на картируемой территории.

Заключение

Проведенные гидрометрические и термометрические исследования на участке слияния рек Мурзинки и Мочаловки, а также в среднем течении р. Мурзинки позволили подтвердить информативность метода термометрии для выявления зон разгрузки подземных вод. Полученный опыт применения термометрии при гидрогеологических съемочных работах предполагает ее дальнейшее использование в других гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. В будущем планируется улучшение описанной технологии, поскольку современные методы ГНСС RTK могут увеличить точность получаемых координат в 5 раз. Полученная информация об аномальных участках позволяет определить местоположение зон разгрузки и качественно оценить их интенсивность.

Анализ температурных профилей на глубинах 0,5 и 1,0 м выявил три локальные зоны с пониженной температурой, что указывает на активный водообмен между подземными и поверхностными водами. Установлено, что наиболее контрастные аномалии приурочены к участкам, где русла рек пересекают зоны дизъюнктивных нарушений.

Одним из основных преимуществ использования термометрии для изучения русловых отложений является возможность оперативного получения необходимых данных об исследуемом объекте. Кроме того, эта методика отличается простотой в работе, доступностью и относительно низкой стоимостью. К недостаткам можно отнести влияние триггерных факторов во время замеров на качество интерпретации.

На территории листа О-41-XXV применение термометрии показало хорошие результаты в районе слияния рек Мурзинки и Мочаловки, где зоны разгрузки подземных вод коррелируются с тектоническими нарушениями. Планируется дальнейшее применение данной методики на других водотоках при съемочных работах. Комбинирование термометрии с наземными геофизическими методами, такими как электроразведка, расширяет возможности интерпретации данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Козак С. З.* Выделение таликов при разведке на воду с применением геофизических методов ЗАО «ГИДЭК» // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 5. — С. 55—57.

2. *Ульянов В. Ю.* Особенности методики проведения термомониторинга подземных вод на площадке АЭС Бушер-1 в исламской республике Иран // Глобальная ядерная безопасность. — 2021. — № 1(38). — С. 26—37.

3. *Турецкая И. В.*, *Потатуркина-Нестерова Н. И.* Изучение температурного режима подземных вод на полигоне захоронения промышленных отходов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2013. — № 11-2. — С. 73.

4. *Борисов А. В.*, *Виноградов В. Б.* Электродинамическая модель плотины пруда-накопителя // Известия вузов. Горный журнал. — 2019. — № 8. — С. 58—67. [In Eng]. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-58-67.

5. *Zhao J., Liu W., Shen J., Xu M., Sasmito A. P.* A real-time monitoring temperature-dependent risk index for predicting mine water inrush from collapse columns through a coupled thermal-hydraulic-mechanical model // Journal of Hydrology. 2022, vol. 607. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.127565.

6. *Еремин Н. А.*, *Столяров В. Е.*, *Черников А. Д.*, *Сафарова Е. А.*, *Филиппова Д. С.* Применение волоконно-оптических технологий при цифровизации нефтегазовых скважин / Актуальные вопросы исследования нефтегазовых пластовых систем (SPRS-2020): тезисы докладов III Международной научно-практической конференции. — М., 2020. — С. 27.

7. *Ипатов А. И.*, *Кременецкий М. И.*, *Каешков И. С.*, *Колесников М. В.*, *Ридель А. А.*, *Милокумов В. В.*, *Гилемзянов Р. М.*, *Гуляев Д. Н.* Мониторинг выработки коллектора в горизонтальных стволах по результатам нестационарной термометрии распределенными оптоволоконными датчиками // PROНЕФТЬ. Профессионально о нефти. — 2021. — Т. 6. — № 4. — С. 81—91. DOI: 10.51890/2587-7399-2021-6-4-81-91.

8. *Ипатов А. И.*, *Кременецкий М. И.*, *Каешков И. С.*, *Буянов А. В.* Стационарный мониторинг геофизических параметров при контроле разработки месторождений. Возможности, проблемы и перспективы использования // Актуальные проблемы нефти и газа. — 2018. — № 2(21). DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2018-21.art12.

9. *Тулапин А. В.*, *Рокос С. И.*, *Длугач А. Г.*, *Куликов С. Н.*, *Белов М. В.*, *Жуков К. С.*, *Петров Е. О.*, *Прищепенко Д. В.* Гидрогеологический фактор и его возможное влияние на температурные измерения в скважинах (опыт термометрических исследований в акватории Восточно-Сибирского моря) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. — 2022. — № 9. — С. 272—278. DOI: 10.24412/2687-1092-2022-9-272-278.

10. *Kamnev Y. K.*, *Filimonov M. Yu.*, *Shein A. N.*, *Vaganova N. A.* Automated monitoring the temperature under buildings with pile foundations In Salekhard (preliminary results) // Geography Environment Sustainability. 2021, vol. 14. DOI: 10.24057/2071-9388-2021-021.

11. *Шеин А. Н.*, *Филимонов М. Ю.*, *Ваганова Н. А.*, *Камнев Я. К.* Развитие автоматизированной системы температурного мониторинга мерзлых грунтов в основании капитальных объектов в г. Салехард // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2022. — Т. 2. — № 1. — С. 328—333. DOI: 10.33764/2618-981X-2022-2-1-328-333.

12. *Федотов Д. А.*, *Дубровин В. А.*, *Лисицына О. М.* Динамика температурного режима пород в слое годовых теплооборотов на стационаре Марре-Сале за период 2008—2021 гг. / Мониторинг в криолитозоне: Сборник докладов Шестой конференции геокриологов России с участием российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов. — М., 2022. — С. 347—352.

13. *Levin L., Golovatyi I., Zaitse A., Pugin A., Semin M.* Thermal monitoring of frozen wall thawing after artificial ground freezing: Case study of Petrikov Potash Mine // Tunnelling and Underground Space Technology. 2021, vol. 107. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103685.

14. *Jiang G., Zhao H., Liu Y., Wu Q., Gao S.* Discrepancies of permafrost variations under thermal impacts from highway and railway on the Qinghai-Tibet Plateau // Cold Regions Science and Technology. 2023, vol. 208. DOI: 10.1016/j.coldregions.2023.103784.

15. *Xu Kun-Ming, Jiang Guan-Li, Chen J., Wu Qing-Bai* Thermal stability of permafrost under U-shaped crushed rock embankment of the Qinghai-Tibet Railway // Advances in Climate Change Research. 2024, vol. 15, no. 1, pp. 158—169. DOI: 10.1016/j.accre.2023.12.005.

16. *Chai M., Luo Y., Gao Y., Ma W., Mu Y.* Seepage influence of supra-permafrost groundwater on thermal field of embankment on Qinghai-Tibet Plateau, China // Research in Cold and Arid Regions. 2023, vol. 15, no. 3, pp. 132—140. DOI: 10.1016/j.rcar.2023.06.004.

17. *Ponti S., Girola I., Guglielmin M.* Thermal photogrammetry on a permafrost rock wall for the active layer monitoring // Science of the Total Environment. 2024, vol. 917. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170391.

18. *Грохотов Е. И.*, *Баева Е. К.*, *Довгань И. А.* Проблемы, методы исследования и перспективы изучения криолитозоны / II Лаверовские чтения «Арктика: актуальные проблемы и вызовы». — 2023. — С. 189—194.

19. *Горностаева А. А.*, *Демежко Д. Ю.*, *Хацкевич Б. Д.*, *Вдовин А. Г.*, *Факаева Н. Р.* Скважинные термограммы как источник данных о техногенном воздействии на подземное тепловое поле города (на примере Екатеринбурга) / Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Двенадцатые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. — Екатеринбург, 2023. — С. 43—46.

20. *Козак С. З.* Методические рекомендации по применению акваториальных геофизических исследований при решении гидрогеоэкологических задач. — М.: МПР РФ, ГИДЭК, 2002. — 57 с.

21. *Жураев М. Р.* Методические рекомендации по выявлению перспективных площадей распространения сероводородных вод // Региональная геология и металлогения. — 2020. — № 82. — С. 91—102.

22. *Жураев М. Р.*, *Турсунметов Р. А.*, *Куличкина М. А.* Роль геотермического фактора в формировании сероводородсодержащего водонефтяного комплекса палеогена южного борта Ферганской впадины // Вестник Брянского госуниверситета. — 2015. — № 3. — С. 362—365.

23. *Гриневский С. О.*, *Прокофьев В. В.* К методике проведения и интерпретации термометрических измерений для выявления зон субаквальной разгрузки подземных вод // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. — 2005. — № 3. — С. 55—61.

24. *Гидрогеология* СССР. Т. XIV. Урал. — М.: Недра, 1972. — 648 с.

25. *Богословский В. А.*, *Гордеева Г. И.*, *Гриневский С. О.*, *Королев В. А.* Полевые методы гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, инженерно-геофизических и эколого-геологических исследований. — М., 2000. — 352 с.

26. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Издание второе. Серия Среднеуральская. Лист O-41-XXV. Объяснительная записка. — М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2017. — 156 с. ГИАБ

REFERENCES

1. Kozak S. Z. Allocation of taliks during exploration for water using geophysical methods of CJSC «GIDEK». *Prospect & protection of mineral resources*. 2014, no. 5, pp. 55—57. [In Russ].

2. Ulyanov V. Y. Features of the methodology of thermomonitoring of groundwater at the site of NPP Bushehr-1 in the Islamic Republic of Iran. *Global nuclear safety*. 2021, no. 1(38), pp. 26—37. [In Russ].

3. Turetskaya I. V., Potaturkina-Nesterova N. I. Study of the temperature regime of groundwater at the industrial waste disposal site. *International journal of applied and fundamental research*. 2013, no. 11-2, pp. 73. [In Russ].

4. Borisov A. V., Vinogradov V. B. Electrodynamic model of the dam of the storage pond. *Minerals and Mining Engineering*. 2019, no. 8, pp. 58—67. [In Eng]. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-58-67.

5. Zhao J., Liu W., Shen J., Xu M., Sasmito A. P. A real-time monitoring temperature-dependent risk index for predicting mine water inrush from collapse columns through a coupled thermal-hydraulic-mechanical model. *Journal of Hydrology*. 2022, vol. 607. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.127565.

6. Eremin N. A., Stolyarov V. E., Chernikov A. D., Safarova E. A., Filippova D. S. Application of fiber-optic technologies in digitalization of oil and gas wells. *Aktual'nye voprosy issledovaniya neftegazovykh plastovykh sistem (SPRS-2020): tezisy dokladov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current issues of oil and gas Reservoir Systems Research (SPRS-2020): Abstracts of the III International Scientific and Practical Conference], Moscow, 2020, pp. 27. [In Russ].

7. Ipatov A.I., Kremenetsky M.I., Kaeshkov I.S., Kolesnikov M.V., Rydel A.A., Milokumov V.V., Gilemzyanov R.M., Guliaev D.N. Horizontal wellbore production profile evaluation by distributed fiber-optic temperature surveillance. *PRONEFT. Professionally about oil*. 2021, vol. 6, no. 4, pp. 81—91.. DOI: 10.51890/2587-7399-2021-6-4-81-91.

8. Ipatov A. I., Kremenetsky M. I., Kaeshkov I. S., Buyanov A. V. Stationary monitoring of geophysical parameters in the control of field development. Opportunities, problems and prospects for use. *Actual Problems of Oil and Gas*. 2018, no. 2(21). [In Russ]. DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2018-21.art12.

9. Tulapin A. V., Rokos S. I., Dlugach A. G., Kulikov S. N., Belov M. V., Zhukov K. S., Petrov E. O., Prischepenko D. V. Hydrogeological factor and its possible influence on temperature measurements in wells (experience of thermometric studies in the water area of the East Siberian Sea). *Relief and Quaternary formations of the Arctic, Subarctic and North-West Russia*. 2022, no. 9, pp. 272—278. [In Russ]. DOI: 10.24412/2687-1092-2022-9-272-278.

10. Kamnev Y. K., Filimonov M. Yu., Shein A. N., Vaganova N. A. Automated monitoring the temperature under buildings with pile foundations In Salekhard (preliminary results). *Geography Environment Sustainability*. 2021, vol. 14. DOI: 10.24057/2071-9388-2021-021.

11. Shein A. N., Filimonov M. Yu., Vaganova N. A., Kamnev Y. K. Development of the automated system of temperature monitoring of frozen ground in the base of capital facilities in Salekhard. *Inter-*

expo Geo-Siberia. 2022, vol. 2, no. 1, pp. 328—333. [In Russ]. DOI: 10.33764/2618-981X-2022-2-1-328-333.

12. Fedotov D. A., Dubrovin V. A., Lisitsyna O. M. Dynamics of the temperature regime of rocks in the layer of annual heat circulation at the Marre-Sale station for the period 2008–2021. *Monitoring v kriolitozone: Sbornik dokladov Shestoy konferentsii geokriologov Rossii s uchastiem rossiyskikh i zarubezhnykh uchenykh, inzhenerov i spetsialistov* [Monitoring in cryolithozone: Collection of reports of the Sixth Conference of Geocryologists of Russia with participation of Russian and foreign scientists, engineers and specialists], Moscow, 2022, pp. 347—352. [In Russ].

13. Levin L., Golovatyi I., Zaitse A., Pugin A., Semin M. Thermal monitoring of frozen wall thawing after artificial ground freezing: Case study of Petrikov Potash Mine. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2021, vol. 107. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103685.

14. Jiang G., Zhao H., Liu Y., Wu Q., Gao S. Discrepancies of permafrost variations under thermal impacts from highway and railway on the Qinghai-Tibet Plateau. *Cold Regions Science and Technology*. 2023, vol. 208. DOI: 10.1016/j.coldregions.2023.103784.

15. Xu Kun-Ming, Jiang Guan-Li, Chen J., Wu Qing-Bai Thermal stability of permafrost under U-shaped crushed rock embankment of the Qinghai-Tibet Railway. *Advances in Climate Change Research*. 2024, vol. 15, no. 1, pp. 158—169. DOI: 10.1016/j.accre.2023.12.005.

16. Chai M., Luo Y., Gao Y., Ma W., Mu Y. Seepage influence of supra-permafrost groundwater on thermal field of embankment on Qinghai-Tibet Plateau, China. *Research in Cold and Arid Regions*. 2023, vol. 15, no. 3, pp. 132—140. DOI: 10.1016/j.rcar.2023.06.004.

17. Ponti S., Girola I., Guglielmin M. Thermal photogrammetry on a permafrost rock wall for the active layer monitoring. *Science of the Total Environment*. 2024, vol. 917. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170391.

18. Grokhotov E. I., Baeva E. K., Dovgan I. A. Problems, methods of research and prospects of studying cryolithozone. *II Laverovskie chteniya «Arktika: aktual'nye problemy i vyzovy»* [II Lavoerov Readings Arctic: Actual Problems and Challenges], 2023, pp. 189—194. [In Russ].

19. Gornostaeva A. A., Demezhko D. Yu., Khatskevich B. D., Vdovin A. G., Fakaeva N. R. Well thermograms as a source of data on anthropogenic impact on the underground thermal field of the city (on the example of Yekaterinburg). *Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh poley. Dvenadtsatye nauchnye chteniya pamyati Yu.P. Bulashevicha. Materialy konferentsii* [Deep structure, geodynamics, thermal field of the Earth, interpretation of geophysical fields. Twelfth Scientific Readings in Memory of Y.P. Bulashevich. Conference materials], Ekaterinburg, 2023, pp. 43—46. [In Russ].

20. Kozak S. Z. *Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu akvatorial'nykh geofizicheskikh issledovaniy pri reshenii gidrogeoekologicheskikh zadach* [Methodical recommendations on application of aquatorial geophysical research in solving hydrogeoecological problems], Moscow, 2002, 57 p.

21. Zhuraev M. R. Methodical recommendations for identification of promising areas of hydrogen sulfide water distribution. *Regional Geology and Metallogeny*. 2020, no. 82, pp. 91—102. [In Russ].

22. Zhuraev M. R., Tursunmetov R. A., Kulichkina M. A. Role of geothermal factor in the formation of hydrogen sulfide-containing water-oil complex of the Paleogene of the southern side of the Fergana depression. *The Bryansk state university herald*. 2015, no. 3, pp. 362—365. [In Russ].

23. Grinevskiy S. O., Prokofiev V. V. To the technique of carrying out and interpretation of thermometric measurements for revealing the zones of subaqual groundwater unloading. *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*. 2005, no. 3, pp. 55—61. [In Russ].

24. *Gidrogeologiya SSSR, vol. XIV. Ural* [Hydrogeology of the USSR. Vol. XIV. Ural], Moscow, Nedra, 1972, 648 p.

25. Bogoslovskiy V. A., Gordeeva G. I., Grinevskiy S. O., Korolev V. A. *Polevye metody gidrogeologicheskikh, inzhenerno-geologicheskikh, geokriologicheskikh, inzhenerno-geofizicheskikh i ekologo-geologicheskikh issledovaniy* [Field methods of hydrogeological, engineering-geological, geocryological, engineering-geophysical and ecological-geological studies], Moscow, 2000, 352 p.

26. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:200 000. Izdanie vtoroe. Seriya Sredneural'skaya. List O-41-XXV. Ob"yasnitel'naya zapiska* [State Geologic Map of the Russian Federation. Scale 1:200 000. 2nd edition. Sredneuralskaya series. Sheet O-41-XXV. Explanatory note], Moscow, 2017, 156 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зырянова Екатерина Сергеевна[1,2] — аспирант;
ведущий специалист, e-mail: katrin.zyrian@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3394-078X,
Киндлер Алексей Александрович[2] — ведущий специалист,
e-mail: kindler@gmsn-ural.ru,
ORCID ID: 0000-0003-1082-5164,
Елохина Светлана Николаевна[1,2] — д-р геол.-минерал. наук,
директор, e-mail: elohina.s@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8641-5439,
Елохин Владимир Аскольдович[1] — д-р геол.-минерал. наук,
профессор, зав. кафедрой, e-mail: elokhin.v.a@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-4355-5156,
[1] Уральский государственный горный университет,
[2] Уральский региональный центр ГМСН — филиал ФГБУ «Гидроспецгеология».
Для контактов: Зырянова Е.С., e-mail: katrin.zyrian@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.S. Zyryanova[1,2], Graduate Student;
Leading Specialist, e-mail: katrin.zyrian@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3394-078X,
A.A. Kindler[2], Leading Specialist,
e-mail: kindler@gmsn-ural.ru,
ORCID ID: 0000-0003-1082-5164,
S.N. Elokhina[1,2], Dr. Sci. (Geol. Mineral.);
Director, e-mail: elohina.s@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8641-5439,
V.A. Elokhin[1], Dr. Sci. (Geol. Mineral.), Professor,
Head of Chair, e-mail: elokhin.v.a@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-4355-5156,
[1] Ural State Mining University, 620144, Ekaterinburg, Russia,
[2] Hydrospetsgeology «Urals Regional Center GMSN»,
620014, Ekaterinburg, Russia.
Corresponding author: E.S. Zyryanova, e-mail: katrin.zyrian@mail.ru.

Получена редакцией 24.07.2025; получена после рецензии 09.10.2025; принята к печати 10.11.2025.
Received by the editors 24.07.2025; received after the review 09.10.2025; accepted for printing 10.11.2025.