

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 556.34/3.06:504.5

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОГНОЗ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТОВАЛА ЧИТИНСКОЙ ТЭЦ-1 (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© 2023 г. И. А. Федоров^{1,*}, Л. И. Усманова^{1,**}

¹Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН,
ул. Недорезова, 16а, Чита, 672014 Россия

*E-mail: fedorowia@gmail.com

**E-mail: larisaum@mail.ru

Поступила в редакцию 20.03.2023 г.

После доработки 11.07.2023 г.

Принята к публикации 11.08.2023 г.

На основе анализа результатов мониторинга геологической среды за 2008–2022 гг. на территории размещения золотвала Читинской ТЭЦ-1, включавшего гидродинамические и гидрогеохимические наблюдения, дана оценка современного состояния подземных вод и показана динамика их трансформации. Проведенный корреляционный анализ гидродинамических данных указывает на взаимосвязь уровней в скважинах, значительно удаленных от золотвала, с уровнем воды в скважине, находящейся в непосредственной близости с ним. Данное обстоятельство совместно с результатами предшествующих исследований фильтрационных свойств грунтов, залегающих в основании чаши золотвала, и появлением восходящего родника подтверждают расширение зоны влияния техногенного объекта в юго-западном направлении. В воде скважин на юго-востоке от золотвала, вскрывающих водоносный горизонт на пути движения фильтрационного потока, концентрации сульфатов, бора, общая минерализация, общая жесткость превышают нормативные значения для питьевых вод на площади около 12 км². Химический состав воды из скважин, находящихся в юго-западном направлении от золотвала, в настоящее время близок к фоновым значениям показателей качества воды Читино-Ингодинского межгорного артезианского бассейна, однако состав вод родника, расположенного в 1 км юго-западнее третьей секции отвала, свидетельствует об его ухудшении. Проведенное исследование показало, что эксплуатация третьей секции золотвала Читинской ТЭЦ-1 создаст условия для распространения фронта загрязнения подземных вод в новом направлении и подтопления ранее не затронутых участков местности.

Ключевые слова: золотвал, подземные воды, наблюдательные скважины, уровень воды, гидродинамический режим, гидрохимические показатели, загрязнение, подтопление

DOI: 10.31857/S0869780923050041, **EDN:** FQCAOK

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на развитие альтернативных способов получения энергии и использование природных источников (солнечная энергия, сила ветра, тепловая энергия недр Земли и т.д.), тепловые электрические станции все еще остаются лидерами (70%) по производству электричества и тепла [16]. Загрязнение подземных вод в районах размещения золотвалов – накопителей отходов теплоэлектростанций, использующих в качестве топлива твердые горючие полезные ископаемые, большей частью обусловлено отсутствием надежных противофильтрационных конструкций (экранов, завес и т.д.), вследствие чего осветленные воды прудовотстойников через горизонт первичных зол рас-

пространяются в нижележащие слои [6, 18]. Значительный объем фильтрующейся воды вызывает подъем уровня подземных вод и подтопление прилегающей территории [6], на которой могут быть расположены жилые застройки, сельскохозяйственные угодья и социально значимые объекты инфраструктуры.

Читинская теплоэлектроцентраль № 1 (Читинская ТЭЦ-1) – крупнейший производитель энергетических ресурсов в Забайкальском крае, является источником тепловой энергии для г. Чита, действующий с 1965 г, которому в настоящее время нет альтернативы [13]. Начиная с 1973 г. [20], складирование твердых отходов производства осуществляется в трехсекционный золотвал



Рис. 1. Обзорная карта участка исследований (с ресурса Google Earth Pro).

общей площадью 1,7 км², расположенный на расстоянии 3 км к северо-западу от ТЭЦ-1 (рис. 1). Секция № 1 ввиду ее заполнения была выведена из эксплуатации в 2009 г. и впоследствии рекультивирована с применением природных грунтов с высадкой хвойных деревьев [10]. В настоящий момент действующей является секция № 2, состоящая из двух чаш: одна для приема золопulpы и осветления воды, вторая — для сброса осветленной воды из первой по самотечному трубопроводу. Отсутствие противofильтрационного экрана в секциях 1 и 2 золоотвала повлекло фильтрационные утечки техногенных вод, объем которых по различным оценкам составляет 550–800 м³/ч [1, 9], что естественным образом проявилось в виде загрязнения поверхностных и подземных вод [8], подтопления и заболачивания территории с образованием наледей и нарастанием процессов морозного пучения в зимнее время года [21]. Причины и непосредственные факторы возникновения неблагоприятных явлений выявлялись по результатам проведения многочисленных изыскательских и научно-исследовательских работ, итоги которых кратко обобщаются в материалах [7]. В обозримом будущем планируется ввод в эксплуатацию секции № 3 [9].

Цель настоящей работы — эколого-гидрогеологическая оценка современного состояния подземных вод территории в районе размещения золоотвала Читинской ТЭЦ-1, выявление возможных новых направлений негативного воздействия на геологическую среду и направленности изменения геологической ситуации.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования является водоносный комплекс нижнемеловых отложений доронинской свиты, широко распространенный на участке исследования в Черновском районе г. Чита, условно ограниченном с севера золоотвалом Читинской ТЭЦ-1, с востока — западным берегом оз. Кенон, с запада — восточной окраиной пос. Рудник Кадала, и с юга — летным полем Читинского аэропорта (см. рис. 1).

Исследования проведены на основе данных об уровненом режиме подземных вод, результатов химико-аналитических работ и дешифрирования космических снимков, полученных в результате мониторинга геологической среды в районе золоотвала ТЭЦ-1 Восточного Забайкалья в 2008–2022 гг. Программа мониторинга включала полевое обследование территории, отбор водных проб, лабораторные работы и измерения статического уровня воды в наблюдательных скважинах (кроме самоизливающейся № 37кд).

Проведение режимных наблюдений за уровнем и химическим составом подземных вод осуществлялось с учетом рекомендаций, изложенных в методических указаниях РД 153-34.1-21.325-98 [14] и рекомендациях П 78-2000 [12]. Замеры уровня подземных вод в наблюдательных скважинах проводились ежемесячно от верха трубы наземной части скважины. Глубина залегания уровня определялась электроконтактным уровнемером и фиксировалась по подаче звукового сигнала при достижении датчиком зеркала воды.

Опробование скважин осуществлялось в соответствии с требованиями ГОСТ 31861 [5] после предварительной прокачки с помощью погруж-

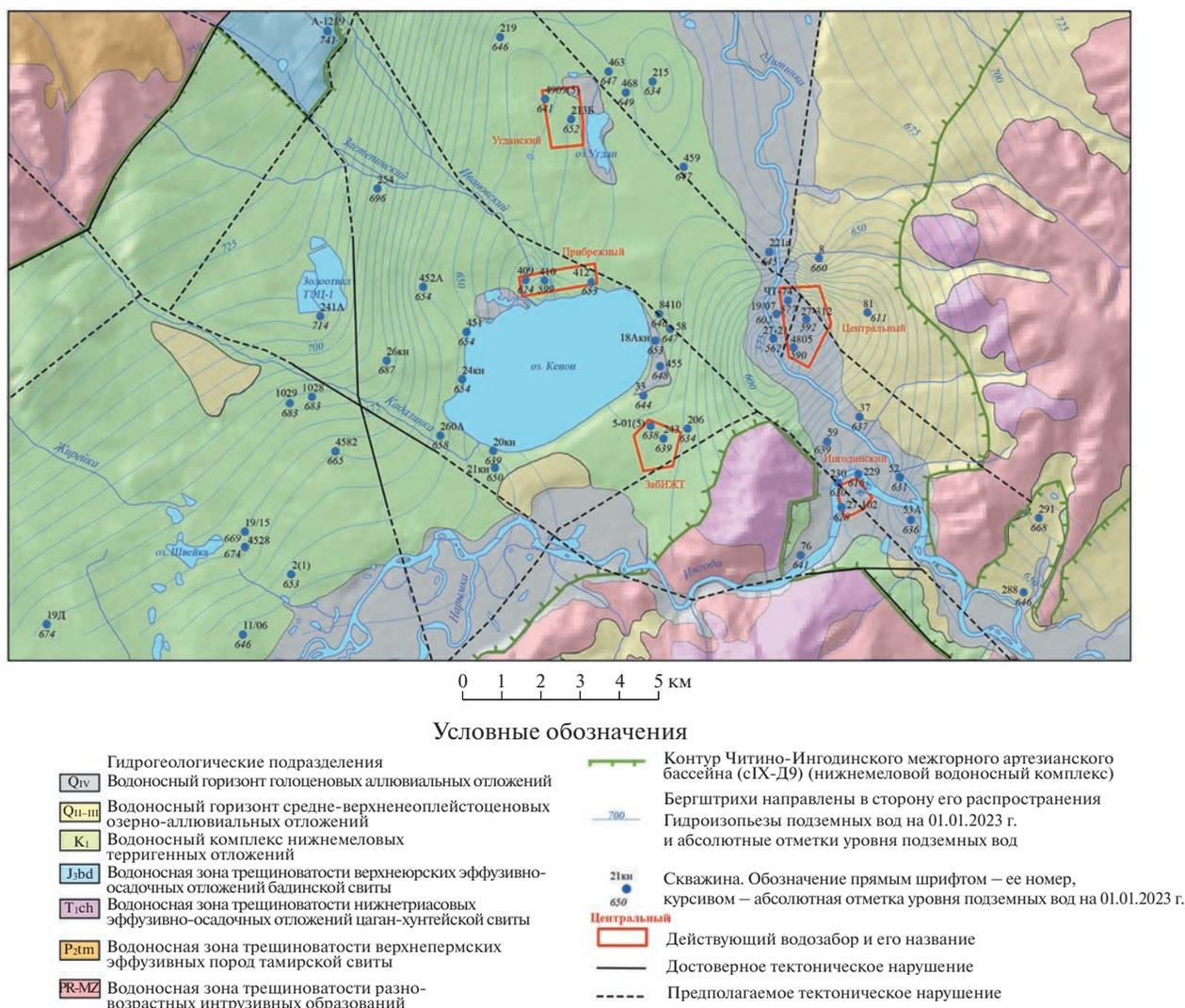


Рис. 2. Гидрогеологическая карта центральной части Читино-Ингодинского межгорного артезианского бассейна в пределах г. Чита (автор В.В. Карпов).

ного центробежного скважинного насоса КВР 3/48 (KITORY) производительность 0,3–0,7 л/с до замены 2–3 объемов столба воды в скважинах. Отобранные пробы подвергались полному химическому анализу на определение концентраций компонентов макросостава вод, 63 микроэлементов и основных физико-химических показателей в аттестованных и аккредитованных испытательных лабораториях (Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита; Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск) современными химическими и инструментальными методами согласно требованиям стандартизованных методик [17]. Погрешности применяемых методик измерений отвечают установленным ГОСТ 27384 нормативам [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Читино-Ингодинский межгорный артезианский бассейн, в центральной части которого расположен участок исследования, относится к Малхано-Становой горно-складчатой области и протягивается в северо-восточном направлении между хребтами Яблонового и Черского [3]. По условиям формирования подземных вод в различных по составу, возрасту и генезису комплексах горных пород в пределах бассейна выделены гидрогеологические подразделения, представленные на рис. 2.

В пределах исследуемого участка распространены:

– *порово-пластовые воды* современных-верхнечетвертичных аллювиальных отложений, представленных песками различной крупности с про-

слоями песчано-гравийного, гравийно-галечного материала;

– *трещинно-пластовые*, большей частью напорные, воды нижнемеловых отложений доронинской свиты, сложенных песчаниками на глинистом, реже карбонатном цементе, чередующимися с водупорными аргиллитами и алевролитами (безугольная толща), и углистыми алевролитами и аргиллитами с пластами бурых углей (угольная толща);

– *трещинно-жилльные воды* зон разломов в районе долины р. Кадалинка [2].

Преимущественное распространение имеют трещинно-пластовые воды нижнемеловых отложений доронинской свиты (безугольной толщи). Воды характеризуются слабым местным напором, гидрокарбонатным кальциевым или магниевым составом; вскрыты на глубинах 16.9–29.0 м. Статические уровни устанавливаются на глубинах 16.9–25.8 м [6]. Удельные дебиты скважин при откачках 0.5–2.0 л/с с отдельными значениями до 3.6–4.05 л/с. Коэффициенты: фильтрации от 2.3 до 17.1 м/сут, водопроницаемости от 48.4 до 675 м²/сут, пьезопроводности – $8.5 \cdot 10^3$ – $3.9 \cdot 10^5$ м²/сут [7].

Трещинно-жилльные воды зон разломов вскрыты скважинами на глубинах 16.7–27.5 м в прибортовой части долины и 5–9 м в ее центральной части. Воды напорные, их статические уровни выше поверхности земли на 0.2–1.4 м. Дебиты скважин варьируют в пределах 8.5–55.5 л/с при понижениях 3.12–8.13 м. Значения коэффициентов водопроницаемости в зонах разломов находятся в пределах 209–430 м²/сут [7].

Поток подземных вод на рассматриваемом участке направлен к юго-востоку от золоотвала в сторону оз. Кенон и Читинского аэропорта, о чем свидетельствуют гидроизопэзы на гидрогеологической карте (см. рис. 2).

На характер распространения и движения вод большое влияние оказывают тектонические и геокриологические условия территории. Гидрогеологические условия на участке исследования во многом определяются наличием субмеридионального разлома (см. рис. 2) шириной от 270 до 320 м, проходящего восточнее золоотвала, по восточной части взлетно-посадочной полосы Читинского аэропорта и далее южнее по седловине, где расположено Кадалинское месторождение кирпичных глин.

До начала эксплуатации объектов ТЭЦ многолетнемерзлые породы (ММП) сливающегося и несливающегося типов занимали 30–35% исследуемой площади. Температура пород на глубине годовых колебаний 10 м изменялась в пределах –0.1°C – –1.0°C, на территории золоотвала ТЭЦ-1 – –0.1°C – –0.3°C [19]. Кровля ММП была вскрыта на глубине 3.0–5.0 м, подошва – на глубине 50–70 м. В результате влияния высокотемпературных

вод золоотвала произошла локальная деградация ММП в его пределах. Субмеридиональный разлом, вероятно, до начала эксплуатации золоотвала ТЭЦ-1 находился в законсервированном виде под влиянием многолетней мерзлоты [20], но в результате деградации ММП приобрел водопроницающую гидрогеологическую роль в районе золоотвала, а южнее, на территории летного поля аэропорта, по нему происходит разгрузка инфильтрационных вод.

В 2016 г. на территории исследования в результате проведения электрического зондирования [11] по двум профилям, расположенным с восточной (профиль 1, длина 1795 м) и южной (профиль 2, длина 1195 м) сторон золоотвала ТЭЦ-1 (рис. 3), было выделено два типа аномалий пониженного удельного электрического сопротивления пород. Первый тип, над опорным высокоомным горизонтом, соответствует надмерзлотному стоку техногенных вод на глубине около 10 м (профиль 1 в интервале 1200–1600 м). Второй тип – низкоомные аномалии, связан с фильтрацией по трещинам и разломам на глубинах 20–40 м (профиль 1 в интервале 1400–1700 м) и 13–20 м (профиль 2 в интервалах 300–500 м и 500–800 м). По данным электротомографии сопротивление обводненных пород составляет 20–30 Ом·м, что соответствует величине минерализации подземных вод 1 г/л [11]. Данные обстоятельства подтверждают местоположение основных зон фильтрации в южной и восточной частях золоотвала.

Согласно данным наблюдений за гидродинамическим режимом в период 2008–2022 гг. происходит повышение среднегодового уровня подземных вод (УПВ), что наглядно демонстрируют соответствующие линии тренда на графиках (рис. 4а, б, в). Количество атмосферных осадков в многолетнем плане также имеет тенденцию к росту ввиду наступления многоводного периода (рис. 4г), однако величина соответствующих годовых сумм осадков, по данным метеостанции г. Чита, имеет слабую взаимосвязь со среднегодовыми уровнями в рассматриваемых скважинах. Максимальный коэффициент линейной корреляции соответствующих пар данных “осадки–уровень подземных вод” не достигает 0.5. Это объясняется тем, что рассматриваемый водоносный комплекс мезозойских отложений располагается под слоем слабопроницаемых горных пород, а потому выпадение атмосферных осадков существенно не сказывается на изменении уровня напорных вод.

Гидродинамический режим наиболее близко расположенной к золоотвалу скв. 241А формируется преимущественно под его влиянием, и наиболее вероятной причиной колебаний уровня воды в ней может быть непостоянный гидравлический напор, вызванный либо повышением положения уреза во-

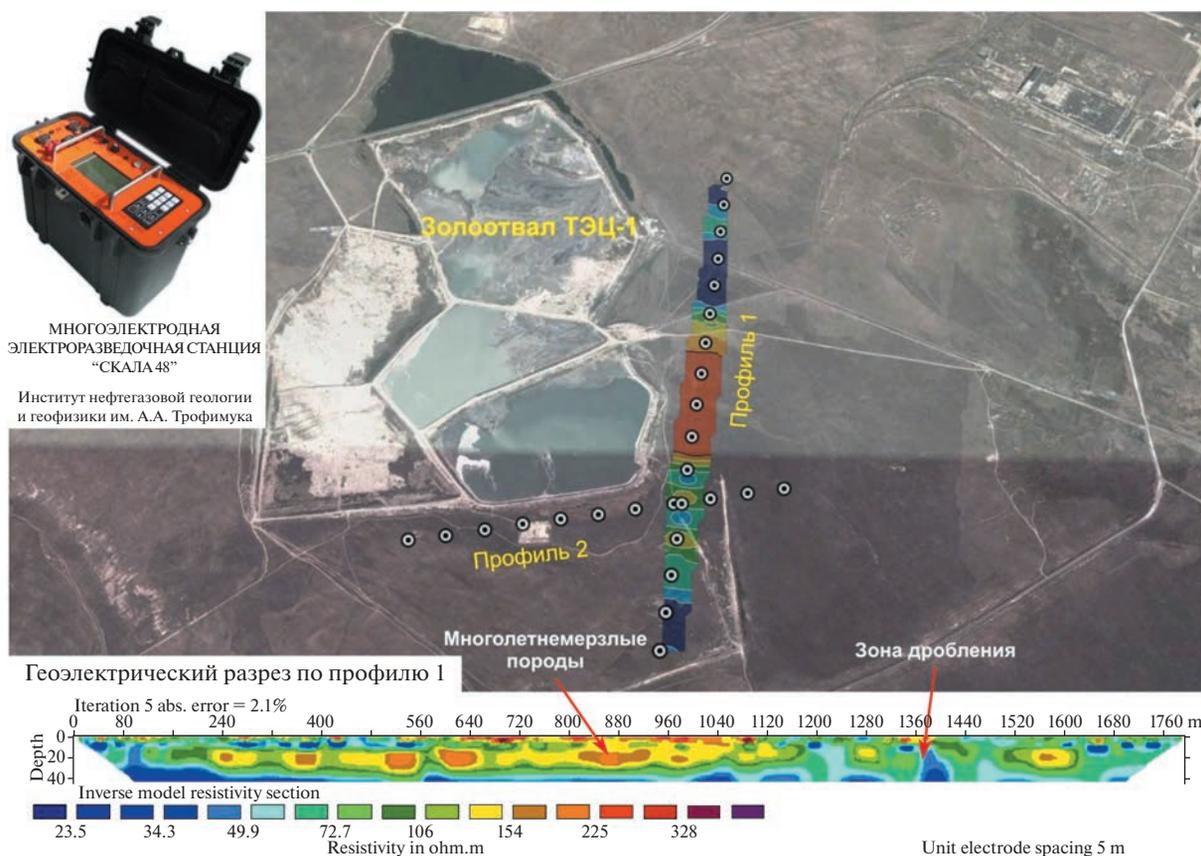


Рис. 3. Схема геофизического исследования территории и геоэлектрический разрез по профилю 1 [11].

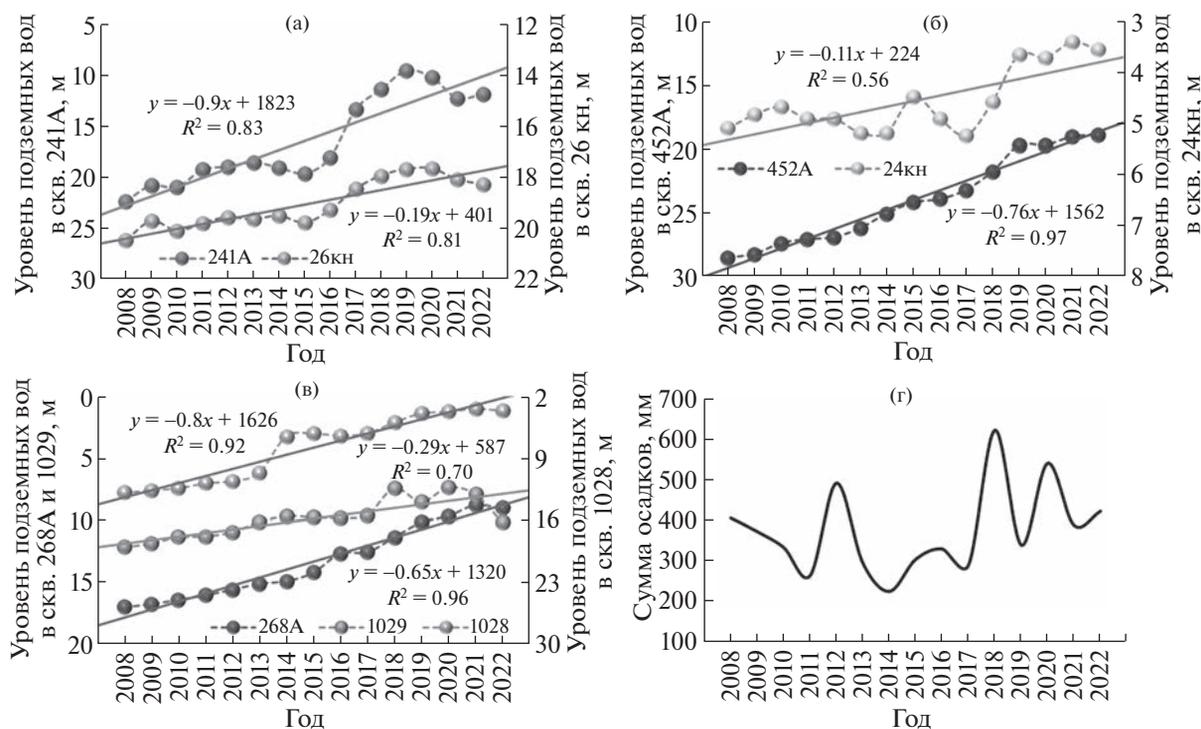


Рис. 4. Динамика среднегодового уровня подземных вод в скважинах на участке золототвала ТЭЦ-1 (а, б, в) и сумма атмосферных осадков по г. Чита (г) за период с 2008 по 2022 г.

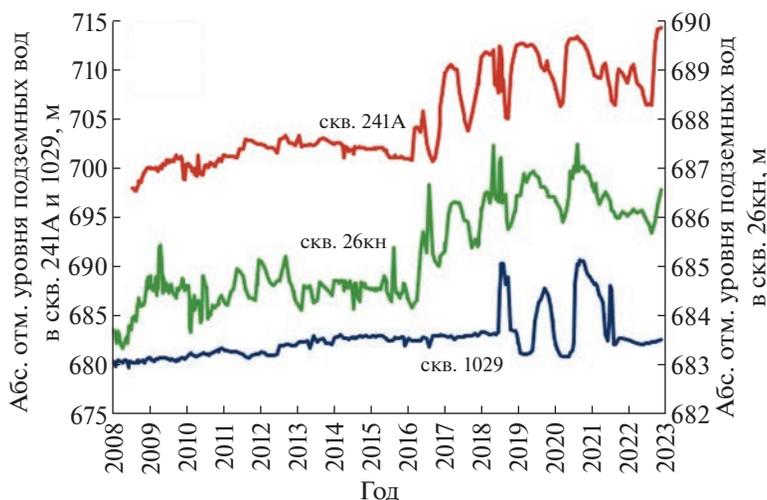


Рис. 5. Графики ежемесячных режимных наблюдений по скважинам 26кн, 241А и 1029 за период с 2008 по 2022 г.

ды в акватории золоотвала, либо изменением ее площади. Значительный подъем уровня в скв. 241А отмечается в 2017 г., а в скв. 26кн, расположенной в 1.6 км юго-восточнее золоотвала, резкого изменения амплитуды не отмечено; среднегодовые кривые подобны, что говорит о взаимосвязи этих скважин с золоотвалом (см. рис. 4а).

В скв. 452А, расположенной между золоотвалом и п. Энергетиков, с 2008 по 2022 г. УПВ поднялся практически на 10 м, в то время как увеличение среднегодового уровня по скв. 24кн происходит медленнее, чем в остальных, о чем свидетельствует довольно низкое значение коэффициента детерминации к аппроксимирующей линии тренда на графике (см. рис. 4б). Возможно, это связано с тем, что эта скважина находится на западном берегу оз. Кенон, положение уреза вод которого значительно не изменяется (абсолютная отметка колеблется около 653 м), поэтому максимальная амплитуда колебаний подземных вод за 14 лет не превышает 2 м.

Повышение УПВ в скважинах, расположенных в северо-западной оконечности летного поля Читинского аэропорта (268А, 1028), более устойчиво (см. рис. 4в), о чем говорят коэффициенты парной линейной корреляции, близкие к единице (0.98 и 0.96 соответственно). Динамика среднегодового уровня воды в скв. 1029 несколько отличается от предыдущих двух скважин — за период 2020–2022 гг. наблюдается его снижение на 2.8 м на фоне общей тенденции роста УПВ на исследуемой территории.

Детальный анализ графиков ежемесячных режимных наблюдений показал, что в скв. 241А и 1029 периодически происходят резкие перепады уровня воды, начавшиеся во второй половине 2010-х годов. (рис. 5). В то же время в скв. 268А и

1028, расположенных рядом со скв. 1029, подобных “скачков” уровня не установлено. По-видимому, это обусловлено тем, что эти три скважины вскрывают разные горизонты нижнемелового водоносного комплекса. Между тем, в динамике уровня по наблюдательной скв. 26кн, находящейся на пути распространения фильтрационного потока от золоотвала, резких перепадов, как в скв. 241А, не наблюдается (см. рис. 5). Вероятно, последнее обстоятельство связано с литологическими особенностями состава мезозойских отложений, слагающих разрезы данных скважин, и разной удаленностью от источника возмущающего воздействия.

Нарушение естественного режима УПВ может быть вызвано их отбором и фильтрационным процессом из искусственных поверхностных водоемов, в которые поступает вода. Два этих случая наглядно выражены гидроизопьезами на гидрогеологической карте — понижение УПВ с образованием депрессионной воронки в центре группового водозабора и его повышение на участке между золоотвалом и оз. Кенон (см. рис. 2). Колебания уровня в зоне влияния фильтрационного потока от золоотвала около определенной величины указывает на его относительную стабилизацию, что наблюдалось до середины 2010-х годов по скв. 26кн (см. рис. 5). Обусловлено это относительно установившимся равновесием между приходной и расходной частями водного баланса, а именно: постоянный гидравлический напор, создаваемый положением уреза воды в отстойнике золоотвала (абсолютная отметка колеблется около 715 м); неизменная площадь его акватории; непрерывная разгрузка фильтрующихся из золоотвала техногенных вод в долину р. Кадалинка в виде родников, а также через вскрытый самоизливающейся скв. 37кд

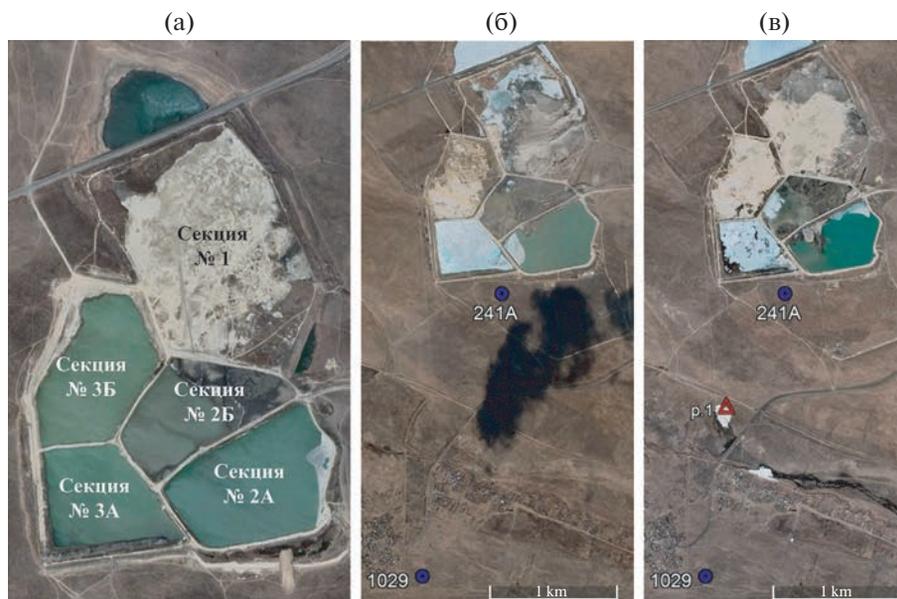


Рис. 6. Космоснимки территории, прилегающей к золоотвалу Читинской ТЭЦ-1 (ресурс Google Earth Pro): а – расположение секций золоотвала; б – 05.04.2016 г.; в – 15.04.2018 г.

водоносный горизонт, расположенной на левом борту реки у подножья склона.

Поскольку гидродинамический режим скв. 241А формируется преимущественно под воздействием золоотвала, то причиной значительных колебаний уровня воды в ней может быть только непостоянный гидравлический напор, вызванный либо повышением положения уреза воды в акватории, либо изменением ее площади. Интерпретация космоснимков с ресурса Google Earth Pro показала, что в период с 2016 по 2020 г. в новую третью секцию золоотвала производились сбросы технологических сточных вод, а также позволила обнаружить появление в 2017 г. восходящего родника в центре между золоотвалом и скв. 1029 (рис. 6).

Для подтверждения предположения о влиянии золоотвала на режим подземных вод в юго-западном направлении был проведен корреляционный анализ гидродинамических данных по скважинам 1029, 26кн и 241А за период с 2008 по 2022 г. Ввиду различной удаленности этих скважин от источника техногенного воздействия на подземные водоносные горизонты, волна, создаваемая гидростатическим давлением столба воды на ложе золоотвала, доходит в разные точки не одновременно, а с некоторым опозданием, поэтому для корректного сопоставления данных анализ проведен с учетом соответствующего временного интервала.

Статистическая обработка результатов наблюдений показала тесноту взаимосвязи гидродинамического режима скв. № 26кн и 1029 с уровнем воды в скв. № 241А в разные периоды времени.

Представленные на рис. 7 графики наглядно демонстрируют силу корреляции при варьировании объема выборки данных.

Для всех выбранных периодов времени и разных объемов данных подтверждается очень тесная взаимосвязь уровней воды в скв. 26кн и № 241А (табл. 1), что также очевидно при сопоставлении графиков ежемесячных режимных наблюдений по этим двум скважинам (см. рис. 5) и химическому составу воды (табл. 2). Результаты корреляционного анализа показывают, что взаимосвязь между скв. 1029 и 241А явно прослеживается в период “дестабилизации” уровня режима в первой и усиливается с уменьшением выборки данных, корреляционные коэффициенты r превышают критические значения для соответствующих объемов выборок с доверительной вероятностью 95% ($\alpha = 0.05$), что свидетельствует о значимости корреляции (см. табл. 1).

Проведенные ранее исследования [1] фильтрационных свойств грунтов, залегающих в основании ложа новой третьей секции, показали, что они обладают довольно высокой проницаемостью с коэффициентами фильтрации 12 м/сут и более. При заданных параметрах мощности противофильтрационного суглинистого экрана менее 1 м, слое обводненной пульпы над ним порядка 10 м и низкого положения УПВ, создавшиеся напорные градиенты $I \leq 10$ могут вызвать в нем суффозионные деформации с образованием фильтрационных каналов, что значительно увеличит коэффициент фильтрации подстилающих грунтов и приведет к повышению объемов утечек техногенных вод [1]. Принимая во внимание эти

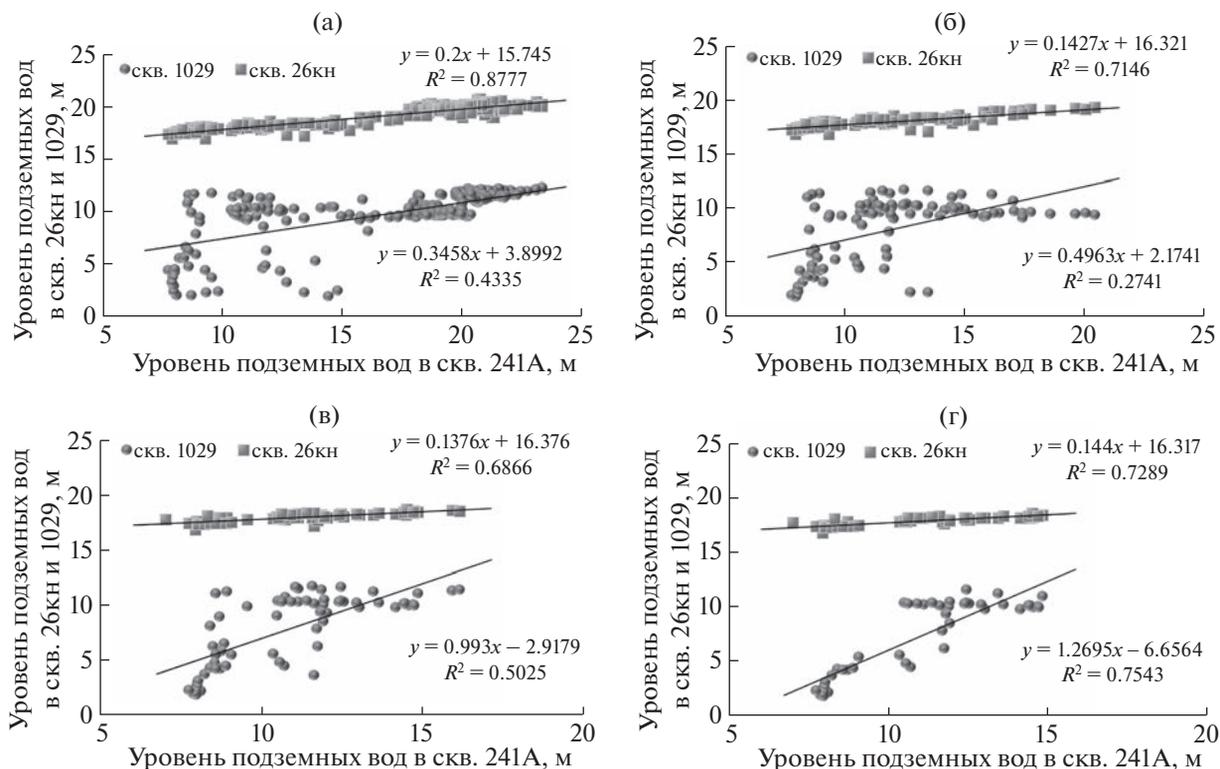


Рис. 7. Взаимосвязь уровней воды в скв. 26кн и 1029 с уровнем воды в скв. 241А за различные интервалы времени: а – 2008–2022 гг.; б – 2016–2022 гг.; в – 2018–2022 гг.; г – 2020–2022 гг.

обстоятельства, появление родниковой разгрузки к юго-западу от золоотвала, резкие колебания статического уровня воды в скв. 1029, согласующиеся со скв. 241А при непостоянных сбросах в новую секцию, указывают на проявляющееся негативное воздействие техногенного объекта в северо-западной части летного поля аэропорта, ко-

торое может усилиться при вводе данной секции в эксплуатацию.

Подземные воды Читино-Ингодинского артезианского бассейна по химическому составу гидрокарбонатные, среди катионов преобладают натрий и кальций. Минерализация изменяется в пределах 100–500 мг/л и редко достигает 1000 мг/л.

Таблица 1. Результаты корреляционного анализа данных уровня воды в скважинах 26кн и 1029 с уровнем воды в скважине 241А в различные периоды времени

Скважина	Период	Объем выборки	Корреляционные показатели		
			Критическое значение коэффициента корреляции при уровне значимости $\alpha = 0.05$	Коэффициент корреляции, r	Сила корреляции
26кн	2008–2022 гг.	271	0.120	0.937	очень высокая
	2016–2022 гг.	97	0.200	0.845	высокая
	2018–2022 гг.	68	0.239	0.829	высокая
	2020–2022 гг.	48	0.285	0.854	высокая
1029	2008–2022 гг.	264	0.122	0.658	средняя
	2016–2022 гг.	95	0.202	0.524	средняя
	2018–2022 гг.	64	0.246	0.709	высокая
	2020–2022 гг.	44	0.297	0.869	высокая

Таблица 2. Некоторые гидрохимические показатели технологических сточных вод золоотвала Читинской ТЭЦ-1 и подземных вод прилегающей территории за период 2008–2022 гг.

Объект опробования	Гидрохимические показатели						
	pH	Жесткость общая, °Ж	Минерализа- ция общая, мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	F ⁻ , мг/л	B, мг/л
ЗО, n = 16	8.33 – 10.00	11.5 – 23.2	768 – 1525	406 – 1010	65.2 – 372	5.87 – 15.2	1.68 – 3.39
	9.03	15.2	1114	619.4	84.7	10.5	2.77
241А, n = 19	7.00 – 7.73	13.8 – 20.5	1200 – 1480	568 – 762	72.7 – 94.8	1.75 – 7.30	1.62 – 3.21
	7.23	16.6	1321	674.5	85.7	5.06	2.52
26кн, n = 19	6.40 – 7.20	14.5 – 18.5	1176 – 1560	601 – 765	40.0 – 81.5	1.25 – 2.82	0.49 – 1.25
	6.90	16.1	1284	652.6	40.0	1.80	0.93
37кд, n = 17	6.80 – 7.76	15.1 – 18.1	1234 – 1405	397 – 723	49.0 – 74.8	1.50 – 3.48	0.80 – 1.56
	7.24	16.0	1280	612.3	60.1	2.53	1.21
24кн, n = 17	7.20 – 7.70	6.35 – 8.77	547 – 849	47.6 – 129.8	22.4 – 69.1	1.28 – 2.00	0.12 – 0.24
	7.05	7.55	735	82.7	49.2	1.52	0.17
452А, n = 5	6.80 – 7.70	17.9 – 25.8	1338 – 1860	221 – 409	11.6 – 25.9	0.12 – 0.25	0.018 – 0.063
	7.33	20.3	1610	302.4	18.3	0.18	0.045
268А, n = 15	6.82 – 7.50	4.69 – 6.80	425 – 640	24.5 – 82.7	2.00 – 9.96	0.20 – 0.42	0.005 – 0.036
	7.17	5.92	505.6	56.0	7.19	0.30	0.021
1028, n = 18	6.86 – 7.40	3.67 – 5.40	350 – 500	43.5 – 99.0	6.00 – 17.6	0.20 – 0.44	0.005 – 0.016
	7.07	4.40	399	62.1	9.41	0.30	0.012
1029, n = 7	7.04 – 7.80	1.85 – 7.00	206 – 564	52.5 – 146.4	10.5 – 36.0	0.10 – 0.83	0.005 – 0.006
	7.39	4.87	441.7	107.9	21.0	0.41	0.005
Родник*, n = 2	6.78 – 6.80	24.7 – 26.7	1953 – 2061	458 – 564	38.6 – 42.5	0.42 – 0.47	0.049 – 0.051
	6.79	25.7	2007	511	40.6	0.45	0.050
ПДК	6.0–9.0	7.0	1 000	500	350	1.5	0.5

Примечание. ЗО – золоотвал; $\frac{\text{минимум} - \text{максимум}}{\text{среднее}}$; n – число определений; * – по результатам опробования в 2021 и 2022 г.

Низкая минерализация 80–200 мг/л характерна для прибортовых частей впадины. Высокая минерализация 500–1000 мг/л и повышенное содержание сульфатов наблюдаются на участках с затрудненным водообменом (рис. 8): Черновская мульда (скв. 19/15), район оз. Угдан (скв. 468), участок золоотвала Читинской ТЭЦ-1. Общая жесткость изменяется в пределах 1–9.4°Ж. На отдельных участках артезианского бассейна встречаются повышенные содержания железа до 20 мг/л и выше, марганца до 5 мг/л, которые не связаны с техногенными источниками загрязнения [3].

В гидрохимическом плане в зоне распространения фильтрационного потока от золоотвала (скв. 241А, 26кн, 37кд) и на его периферии (скв. 24кн, 452А) в подземных водах отмечаются повышенные содержания некоторых компонентов, часто с превышением ПДК [15], которые не характерны для естественного фона Читино-Ингодинского межгорного артезианского бассейна

(см. табл. 2). Наиболее типичными индикаторами загрязнения являются сульфат-, хлорид-, фторид-ионы, бор и некоторые другие компоненты химического состава сточных вод золоотвала. Величина водородного показателя (pH) в подземных водах находится в отведенных границах ПДК, в то время как в золоотвале она достигает 10. Состав воды из восходящего родника, образовавшегося в 2017 г. в 1 км юго-западнее третьей секции гидротехнического сооружения, свидетельствует о разгрузке фильтрующихся вод золоотвала в данной точке (см. табл. 2). В химическом составе воды из скважин, расположенных с северо-западной стороны летного поля Читинского аэропорта (268А, 1028 и 1029), компонентов сточных вод золоотвала в повышенных концентрациях не обнаружено.

В зоне влияния золоотвала распространены воды с преобладанием в анионном составе сульфат-иона. Диаграмма Пайпера наглядно показывает химическую типизацию исследованных вод

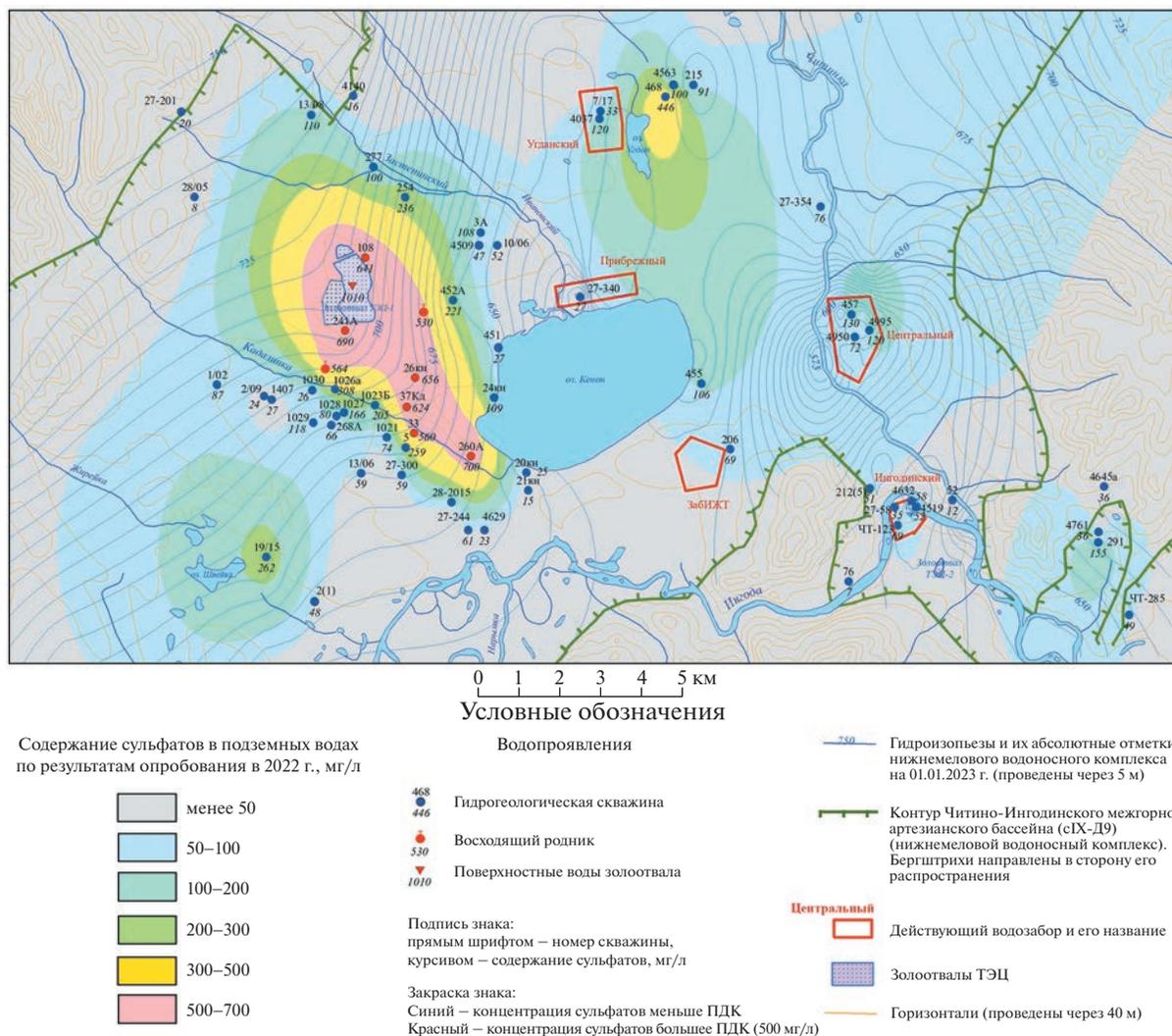


Рис. 8. Карта распространения сульфатов в центральной части Читино-Ингодинского межгорного артезианского бассейна в пределах г. Чита (автор В.В. Карпов).

(рис. 9а). Результаты многолетних наблюдений за химическим составом подземных вод на участке исследований по скв. 37кд позволяют проследить изменение концентрации сульфатов в юго-восточном направлении. Данная динамика отвечает изменениям в содержании сульфатов в золоотвале (см. рис. 9б).

Площадь загрязнения подземных вод в районе золоотвала Читинской ТЭЦ-1 в настоящее время оценивается приблизительно в 12 км² (см. рис. 8). С учетом обстоятельств, связанных с установленными закономерностями изменения гидродинамического режима подземных вод, и принимая во внимание тенденцию распространения фронта загрязнения на юго-восток, можно ожидать расширения границы ореола в юго-западную сторону от золоотвала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов предшествующих работ и фактического материала, полученного в рамках настоящего исследования, позволяет сделать заключение о высокой вероятности расширения зоны влияния золоотвала Читинской ТЭЦ-1 в случае ввода в эксплуатацию третьей секции. Это влияние в первую очередь проявится в повышении уровня подземных вод в юго-западном направлении от золоотвала, что неминуемо приведет к увеличению расхода в точках существующих разгрузок и подтоплению находящихся с ними рядом жилых застроек, а также создаст условия для подтопления ранее не затронутого участка аэропортового комплекса – западной оконечности взлетно-посадочной полосы.

Данные о химическом составе исследованных подземных вод в зоне влияния золоотвала под-

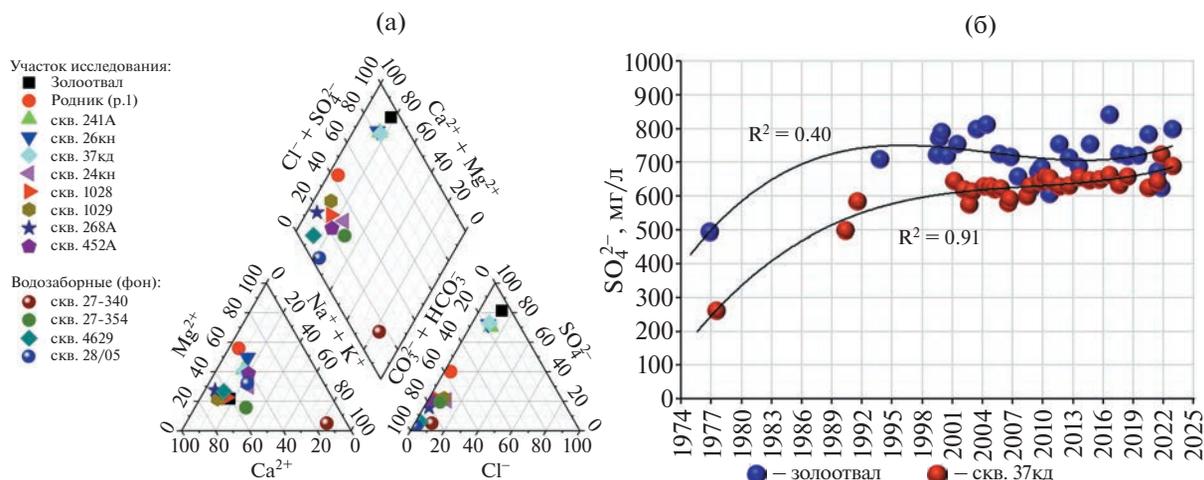


Рис. 9. Диаграмма Пайпера с нанесением данных по химическому составу подземных вод Читино-Ингодинского межгорного артезианского бассейна в 2022 г., % эквивалентов (а) и изменение концентрации сульфатов на участке золоотвала Читинской ТЭЦ-1 за период 1977–2022 гг. (б).

тверждают проведенные ранее гидрохимические исследования. Водоносные горизонты, вскрываемые скважинами, расположенными с северо-западной стороны летного поля аэропорта, в настоящее время не имеют признаков явного загрязнения водами золоотвала, однако концентрации веществ-индикаторов в воде восходящего родника подтверждают происходящую трансформацию химического состава подземных вод. Площадь химического загрязнения нижнемелового водоносного комплекса компонентами золошлаковых отходов в настоящее время сохраняется на прежнем уровне, но через определенный период времени в созданных условиях фронт загрязнения может распространиться и в новом направлении, что грозит ухудшением экологической обстановки в данной местности.

Авторы выражают глубокую признательность за помощь в проведении исследований главному гидрогеологу ГУП «Забайкалгеомониторинг» Виктору Васильевичу Карпову.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ИПРЭК СО РАН (№ госрегистрации 121032200070-2, «Геоэкология водных экосистем Забайкалья в условиях современного климата и техногенеза, основные подходы к рациональному использованию вод и их биологических ресурсов»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабелло В.А., Беляков А.Е. К вопросу о надежности экранирования ложа золоотвалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2005. № 8 (560). С. 93–97.
2. Богомолов Н.С., Орлова Л.М., Гераков Н.Н. и др. Гидрогеология СССР. Читинская область. М.: Недра, 1969. Т. XXI. 444 с.
3. Верхотуров А.Г., Цыганок В.И., Карпов В.В. и др. Гидрогеология Забайкальского края. Чита: ЗабГУ, 2017. 240 с.
4. ГОСТ 27384–2002. Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств. М.: Стандартинформ, 2010. 6 с.
5. ГОСТ 31861–2012. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.
6. Делицын Л.М., Ежова Н.Н., Власов А.С., Сударева С.В. Золоотвалы твердотопливных тепловых электростанций как угроза экологической безопасности // Экология промышленного производства. 2012. № 4. С. 15–26.
7. Замана Л.В., Усманов М.Т., Борзенко С.В. и др. Гидрогеологические условия и источники подтопления летного поля Читинского аэропорта «Кадала» // Подземная гидросфера / Под ред. С.В. Алексева. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2021. С. 466–470.
8. Замана Л.В., Аскарлов Ш.А., Усманова Л.И. и др. Загрязнение подземных и поверхностных вод в зоне влияния фильтрационных утечек гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1 // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов / Ред. Ю.О. Риккер. Чита: ЗабГУ, 2020. С. 78–82.
9. Кондратьев В.Г. Из опыта предпроектных научных проработок вариантов размещения новых площадок при реконструкции золоотвала Читинской ТЭЦ-1 // Экология водоемов – охладителей энергетических станций / Отв. ред. Г.Ц. Цыбекмитова. Чита: ЗабГУ, 2017. С. 153–157.
10. Миронов А.В. Опытная биологическая рекультивация золошлакового материала Читинской ТЭЦ-1 // Природообустройство. 2019. № 4. С. 29–33.
11. Оленченко В.В., Усманов М.Т., Усманова Л.И., Цыренжапов С.В. Выявление путей миграции техногенных вод из гидротехнических сооружений методом электромографии (на примере золоотвала Читинской ТЭЦ-1) // Международный журнал

- прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 1–1. С. 101–105.
12. П 78-2000. Рекомендации по контролю за состоянием грунтовых вод в районе размещения золоотвалов ТЭС. СПб.: ОАО “ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева”, 2000. 28 с.
 13. Печников М.А., Грачев А.В., Дьячков А.А., Батухтин А.Г. Общая характеристика Читинской ТЭЦ-1 // Инновационные технологии в технике и образовании / Отв. ред. Л.С. Романова. 2016. С. 62–66.
 14. РД 153-34.1-21.325-98. Методические указания по контролю за режимом подземных вод на строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанциях. М.: ОРГРЭС, 1999. 36 с. <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294817/4294817782.htm>
 15. СанПиН 1.2.3685-21. Санитарные правила и нормы. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. 2021. 469 с. <https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/npa-files/2021/01/28/sanpin1.2.3685-21.pdf>
 16. Сунгатуллин Р.Х., Хазиев М.И. Грунтовые воды и энергетические комплексы (на примере Казанской ТЭЦ-1) // Ученые записки Казанского университета. Естественные науки. 2013. Т. 155. № 1. С. 101–122.
 17. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. М.: Протектор, 2010. 1008 с.
 18. Целюк Д.И. Особенности техногенного воздействия золоотвалов Средней Сибири на подземные воды: дисс. ... канд. геол.-мин. н. Красноярск, 2009. 162 с.
 19. Шестернев Д.М., Лапкин Г.И. Геоэкологические проблемы реконструкции тепловых электростанций объединенной энергетической системы Сибири и пути их решения (на примере ТЭЦ-1, г. Чита) // Вестник ЧитГУ. 2009. № 1 (52). С. 156–160.
 20. Шестернев Д.М., Лапкин Г.И., Татауров С.Б., Бянкин С.Н. Геоэкологические проблемы эксплуатации теплоэлектростанций южной периферии криолитозоны Забайкалья // Сергеевские чтения. Вып. 5 / Под ред. В.И. Осипова. М.: ГЕОС, 2003. С. 430–434.
 21. Шестернев Д.Д., Верхотуров А.Г. Влияние природных условий территории на подтопление искусственных покрытий аэропорта г. Чита // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27. № 1. С. 24–33.

ASSESSMENT OF THE CURRENT ECOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL STATE AND FORECAST OF ITS CHANGES IN THE CHITA TPP-1 ASH DUMP TERRITORY (EASTERN TRANSBAIKALIA)

I. A. Fedorov^{a,#} and L. I. Usmanova^{a,##}

^a*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
ul. Nedorezova 16a, Chita, 672014, Russia*

[#]*E-mail: fedorowia@gmail.com*

^{##}*E-mail: larisaum@mail.ru*

The article provides an assessment of the current state of groundwater and shows the dynamics of its transformation based on the analysis of geoenvironment monitoring results for 2008–2022. The geological environment monitoring program included hydrodynamic and hydrogeochemical observations on the Chita thermal power plant № 1 ash dump territory placed in the west of the city. Regime observations were carried out over the aquifer of the Lower Cretaceous sediments of the Doronin formation using hydrogeology boreholes. The hydrodynamic data correlation analysis indicates the relationship of groundwater levels in boreholes located at a considerable distance from the ash dump with the water level in the nearest borehole. The expansion of technogenic object influence zone in the southwest direction is confirmed by this circumstance, together with the appearance of an ascending spring and the previous studies results of the filtration properties of soils which lie at the ash dump bowl base. As revealed earlier, the ash dump appeared to be the source of significant contamination of groundwater in this area. Nowadays, the polluted area is estimated approximately at 12 km². The concentrations of sulfates, boron, total dissolved solids, as well as total hardness exceed the norms for drinking water within the area of about 12 km² in the boreholes on the filtration flow route in the southeast direction from the ash dump. The chemical composition of water taken from boreholes in the southwest direction is currently close to the background values of the water quality indices for the Chita-Ingoda intermountain artesian basin. Meanwhile, the composition of the spring located 1 km southwest from the third ash dump bowl indicates worsening of groundwater quality. As proceeds from the study performed, the operation of the third ash dump bowl will create conditions for the spread of the groundwater contamination front in a new direction with flooding of previously unaffected areas.

Keywords: *ash dump, groundwater, observation boreholes, water level, hydrodynamic regime, hydrochemical indices, contamination, flooding*

REFERENCES

1. Babello, V.A., Belyakov, A.E. [To the question of reliability of shielding an ash dump bed]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*, 2005, no. 8 (560), pp. 93–97. (in Russian)
2. Bogomolov, N.S., Orlova, L.M., Gerakov, N.N., et al. [Hydrogeology of the USSR. Chita region]. Moscow, Nedra Publ., 1969, vol. XXI, 444 p. (in Russian)
3. Verkhoturov, A.G., Tsyganok, V.I., Karpov, V.V., et al. [Hydrogeology of the TransBaikal Territory]. Chita, Zabaykal'skiy Gos. Univ., 2017, 240 p. (in Russian)
4. [State Standard 27384–2002. Water. Standards of measurement error of composition and property indices]. Moscow, Standartinform Publ., 2010, 6 p.
5. [State Standard 31861–2012. Water. General sampling requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2013, 32 p.
6. Delitsyn, L.M., Ezhova, N.N., Vlasov, A.S., Sudareva, S.V. [Ash dumps of solid fuel thermal power plants as a threat to environmental safety]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2012, no. 4, pp. 15–26. (in Russian)
7. Zamana, L.V., Usmanov, M.T., Borzenko, S.V., et al. [Hydrogeological conditions and the sources of the Chita airport “Kadala” airfield flooding]. Proc. XXIII All-Russia symposium on underground hydrosphere. Irkutsk, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 2021, pp. 466–470. (in Russian)
8. Zamana, L.V., Askarov, Sh.A., Usmanova, L.I., et al. [Pollution of ground and surface water in the influence zone of filtration leakage from the hydraulic ash disposal site at the Chita TPP-1]. Proc. XX Intern. Symp. “Kulagin Readings: Technique and Technology of Production Processes”. Chita, TransBaikal State University, 2020, pp. 78–82. (in Russian)
9. Kondrat'ev, V.G. [Experience in pre-project scientific studies of options for locating new sites during the reconstruction of the ash dump at Chita TPP-1]. Proc. All-Russia Symposium “Ecology of reservoirs as coolers of power stations”. Chita, 2017, pp. 153–157. (in Russian)
10. Mironov, A.V. Experimental biological reclamation of ash and slag material at Chita TPP-1. *Prirodoobustroistvo*, 2019, no. 4, pp. 29–33. (in Russian)
11. Olenchenko, V.V., Usmanov, M.T., Usmanova, L.I., Tsyrenzhapov, S.V. [Identification of technogenic water migration routes from hydraulic structures using the method of electrical tomography (by the example of an ash dump at the Chita TPP-1)]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2017, no. 1-1, pp. 101–105. (in Russian)
12. [P 78-2000. Recommendations for monitoring the groundwater state in the area of TPP ash dumps]. St. Petersburg, VNIIG Publ., 2000, 28 p. (in Russian)
13. Pechnikov, M.A., Grachev, A.V., D'yachkov, A.A., Baktukhtin, A.G. [General characteristics of Chita TPP-1. In.: [Innovative technologies in technology and education]. Romanova, L.S. Ed., Chita, 2016, pp. 62–66. (in Russian)]
14. [RD 153-34.1-21.325-98. Methodical instructions for monitoring the groundwater regime at thermal power plants under construction and in operation]. Moscow, ORGRES Publ., 1999, 36 p. (in Russian)
15. [SaNPIN 1.2.3685-21. Sanitary rules and regulations. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans]. Moscow, 2021, 469 p. (in Russian)
16. Sungatullin, R.Kh., Khaziev, M.I. [Groundwater and energy complexes (by the example of Kazan TPP-1)]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Estestvennye nauki*, 2013, vol. 155, no. 1, pp. 101–122. (in Russian)
17. Fomin, G.S. [Water. Control of chemical, bacterial and radiation safety according to international standards]. Moscow, Protektor Publ., 2010, 1008 p. (in Russian)
18. Tselyuk, D.I. [Features of the technogenic impact of ash dumps in Central Siberia on groundwater]. Cand. Sci. (Geol.-Min.) diss., Krasnoyarsk, 2009. 162 p. (in Russian)
19. Shesternev, D.M., Lapkin, G.I. [Geoecological problems of reconstruction of thermal power plants in the unified energy system of Siberia and ways to solve them (by the example of TPP-1, Chita)]. *Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, no 1 (52), pp. 156–160. (in Russian)
20. Shesternev, D.M., Lapkin, G.I., Tataurov, S.B., Byankin, S.N. [Geoecological problems of operation of thermal power plants in the southern periphery of the permafrost zone of Transbaikalia]. Proc. XIII All-Russia Conference “Sergeev Readings”. Moscow, GEOS Publ., 2003, no. 5, pp. 430–434. (in Russian)
21. Shesternev, D.D., Verkhoturov, A.G. [Influence of natural conditions of the territory on flooding of artificial coverings at the Chita airport]. *Vestnik Zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, vol. 27, no. 1, pp. 24–33. (in Russian)