

ОТЧЕТ

«Гидрогеологические исследования на золоторудном месторождении Пустынное в Актогайском районе Карагандинской области для оценки состояния подземных вод, оптимизации сети мониторинговых скважин»

Отчёт составлен для
АО «АК Алтыналмас»



Составлен компанией
 **Hydrogeology**
Consulting Group

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Республика Казахстан
0500004, г. Алматы,
пр. Сейфуллина 410/78

Научный руководитель, Ph.D,
MP PONEN, Директор HCG
Сотников Е.В.

Организация проведения
работ, обобщение
имеющегося материала,
обследование, составление
концептуальной и
математической модели
объекта, текст отчёта

Ведущий консультант, к.т.н.
Мирошниченко О.Л.

Составление
концептуальной и
математической модели
объекта, текст отчёта

Инженер-гидрогеолог,
Ph.D, AP PONEN
Канафин К.М.

Маршрутное обследование,
сбор, анализ и обобщение
данных, создание базы-
данных

Гидрогеолог, M.Sc
Искандеров Р.Р.

Маршрутное обследование
территории исследований,
подготовка таблиц

Инженер по ОТ, ТБ и ООС
Аскеров А.И.

Маршрутное обследование
территории исследований

Приложение №1 к Особым условиям
договора закупок на оказание услуг
№ 4600007174 от 25.05.2022

Выполнение работ по объекту: «Гидрогеологические исследования на золоторудном месторождении Пустынное в Актогайском районе Карагандинской области для оценки состояния подземных вод, оптимизации сети мониторинговых скважин АО «АК Алтыналмас»

РАЗДЕЛ 3. ТЕХНИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКАЦИЯ (ЗАДАНИЕ)

Основные данные и требования	Содержание основных данных и требований
1. Место расположение объекта	Республика Казахстан, Карагандинская область, Актогайский район, месторождение Пустынное, в 100 км восточнее города Балхаш.
2. Вид работы	Гидрогеологические исследования по оценке состояния подземных вод, оптимизации сети мониторинговых скважин АО «АК Алтыналмас» на месторождении Пустынное в Актогайском районе Карагандинской области
3. Место выполнения Работ	Республика Казахстан, Карагандинская область, Актогайский район, месторождение Пустынное
4. Целевое назначение:	4.1. Целью настоящих работ является: - Исследование влияния техногенных факторов на изменение гидрогеологических условий золоторудного месторождения Пустынное. - Обзор, анализ и обобщение геолого-гидрогеологической, метеорологической и пр. информации по объекту исследования; - Создание базы-геоданных объекта исследований в географической информационной системе (ГИС) с открытым кодом; - Полевое исследование зоны влияния объекта на окружающую среду. - Лабораторные химико-аналитические исследования образцов воды, отобранных при обследовании; - Обоснование концептуальной модели гидрогеологических условий объекта исследований; - Создание математической модели гидрогеологических условий объекта исследований. Решение стационарной, нестационарной и прогнозной моделей объекта; - Оценка изменения гидродинамических и гидрохимических условий объекта под влиянием техногенной нагрузки; - Выявление основных факторов влияющих на изменение гидрогеологических условий;

	- Обоснование рекомендаций по снижению/нейтрализации негативного влияния; - Прогноз изменений гидрогеологических условий на перспективу. 4.2. Результат работ: - Отчет о результатах гидрогеологических исследований по оценке состояния подземных вод под влиянием техногенных факторов с выводами и рекомендациями.
5. Описание Работ	5.1. Полевые работы. 5.1.1. Маршрутное обследование - эколого-гидрогеологическое обследование объекта; - оценка состояния существующей сети мониторинговых скважин (всего 25 скважин), в том числе: - уточнение общего количества скважин, их местоположения; - анализ имеющейся документации по мониторинговым скважинам (проектные решения, фактические паспорта и т.д.). - натурное единичное обследование наблюдательных скважин, которое включает: а) контрольный замер уровня и температуры воды (25 скважин); б) контрольный замер глубины скважины (25 скважин); в) описание технического состояния оголовка скважины, состояние скважинной площадки, ограждения и т.д. (25 скважин); г) прокачка наблюдательных скважин не менее трех столбов воды для отбора проб; Е) отбор проб воды из наблюдательных скважин на лабораторные исследования с обязательной полевой консервацией проб и фиксацией pH; 5.1.2. Гидрогеологическое обследование карьера Пустынное, пруда-накопителя, опреснителя, хвостохранилища. При необходимости применяется БПЛА. Обследование включает: а) замеры температуры и pH воды (7 точек); б) отбор контрольных проб воды (7 проб). 5.1.3. Составление актов обследования по результатам полевых работ; 5.2. Лабораторные исследования отобранных проб воды (32 пробы+4 контрольные) проводится на определение: нефтепродукты, фенолы, взвешенные вещества, pH, общая минерализация (сухой остаток), HCO_3, Cl, SO_4, Na, K, Ca, Mg, жесткость общую, фосфаты, аммоний, нитриты, нитраты, ХПК, БПК, СПАВ, железо, медь, кадмий, свинец, цинк, ртуть, марганец, кобальт, магний, хром (III), хром

	(VI), никель, алюминий, натрий, фтор, бор и цианиды (Общий, свободный и WAD цианид), ксантогенаты; 5.3. Камеральные работы. 5.3.1. Оценка существующей системы мониторинга подземных вод: - анализ организации и состав работ по существующей системе мониторинга; - анализ системы отбора проб, хранения, доставки в лабораторию, применяемых методов аналитики, а также контроля качества; - анализ отчетных материалов по проведенным работам на стадии разведки и эксплуатации. 5.3.2. Камеральная обработка фондовых, полевых и лабораторных работ; 5.3.3. Обоснование концептуальной модели гидрогеологических условий объекта исследований; 5.3.4. Создание гидродинамической и транспортной (миграционной) модели гидрогеологических условий объекта по имеющимся материалам с использованием наиболее распространенных программных комплексов: - решение стационарной модели (ненарушенный режим); - решение эпигнозной нестационарной модели - прогноз гидродинамической и транспортной (перенос частиц) модели 5.3.4. Оценка воздействия объектов инфраструктуры на подземные воды. 5.3.5. Составление отчета о результатах гидрогеологических исследований по оценке состояния подземных вод под влиянием техногенных факторов, которая включает: - Обзор, анализ и обобщение геолого-гидрогеологической, метеорологической и пр. информации по объекту исследования - Обоснование концептуальной модели гидрогеологических условий объекта исследований - Оценка изменения гидродинамических и гидрохимических условий объекта под влиянием техногенной нагрузки. - Выявление основных факторов влияющих на изменение гидрогеологических условий. - Обоснование рекомендаций по снижению/нейтрализации негативного влияния - Прогноз изменения гидрогеологических условий на перспективу; - оптимизация мониторинговой сети скважин, точек отбора вод; - обоснование необходимости сокращения/расширения сети наблюдательных скважин и точек наблюдений;
--	--

	- предложения по оборудованию скважин автоматическими системами регистрации уровня и температуры вод в наблюдательных скважинах.
6.Основные требования к Подрядчику.	6.1. Наличие свидетельства об аккредитации в качестве субъекта научной и (или) научно-технической деятельности; 6.2. Наличие сертификатов соответствия: - система менеджмента качества СТ РК ISO 9001-2016 (ISO 9001:2015); - система экологического менеджмента СТ РК ISO 14001-2016 (ISO 14001:2015); - система менеджмента профессиональной безопасности и здоровья СТ РК OHSAS 18001-2008 (OHSAS 18001:2007); 6.3 Наличие необходимых лицензий/свидетельств/сертификатов (в случае, если оказываемый вид деятельности подлежит обязательному лицензированию); 6.4. Наличие аттестата аккредитации химико-аналитической лаборатории на соответствие требованиям СТ РК ИСО/МЭК 17025-2019 или договор субподряда с соответствующей лабораторией; 6.5. Наличие квалифицированных кадров: 6.5.1. Специалисты гидрогеологи имеющие ученую степень в области гидрогеологии (Ph.D, к.г.-м.н.) - не менее 3-х специалистов с опытом полевых и камеральных исследований не менее 10 лет с подтверждением их квалификации, в том числе: - МР/АР член ПОНЭН ОО «Профессиональное объединение независимых экспертов недр Республики Казахстан – ПОНЭН» – не менее 2 специалистов; - ФР член ПОНЭН ОО «Профессиональное объединение независимых экспертов недр Республики Казахстан – ПОНЭН» – не менее 1 специалиста; - независимого эксперта Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых РК (эксперт по подземным водам, гидрогеологическим и инженерно-геологическим условиям разработки месторождений) – не менее 1-х специалистов; 6.6. Наличие материальных ресурсов: - Персональный компьютер – не менее 2 единиц; - Принтер – 1 единица; - Автомобиль – не менее 1 единицы; - Электроуровнемер не менее 2 единиц. - портативный GPS с поддержанием навигационных систем GPS, ГЛОНАСС и GALILEO 6.7. Наличие обязательного лицензионного программного обеспечения:

	- программный комплекс для анализа и обработки данных химического состава подземных/поверхностных/карьерных вод AquaChem – с целью создания моделей потоков; - программный комплекс моделирования гидрогеологических процессов, наиболее используемый в отрасли (Visual modflow; Groundwater Modeling System). 6.8. Обеспечение за свой счет своих специалистов спецодеждой, средствами индивидуальной защиты (очки, перчатки и т.п.), ГСМ, проживанием, питанием, медицинским обслуживанием на территории Заказчика. При этом Подрядчик не вправе организовывать пункты общественного питания в пределах месторождения Пустынное. 6.11. Соблюдение Подрядчиком в процессе выполнения работ требований правил и норм в области пожарной и промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды согласно регламентирующим документам РК. Приложить сертификаты/свидетельства и удостоверения сотрудников о прохождении соответствующих курсов по ОТ и ТБ, ПБ, ПТМ, оказанию доврачебной ПМП. 6.12 Список выполненных научно-исследовательских работ – не менее 3-х в рамках НИОКР, НИР.
7. Требования к Сдаче отчетности Подрядчиком	Отчёт о результатах исследований (в 2-х экземплярах на бумажном и электронном носителях) - до 15.12.2022г <i>Текст - в форматах документа Word. Таблицы и расчеты с методологией расчетов и рабочими формулами;</i> <i>Графические материалы, включая модели, рисунки, схемы, чертежи и пр., в JPEG и первоначальном формате использованного ПО.</i>
8. Срок оказания услуг	В соответствии с Графиком выполнения Работ до 15.12.2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	15
1 Краткая характеристика района исследований.....	17
1.1 Административное положение.....	17
1.2 Климат.....	17
1.3 Гидрография.....	22
1.4 Рельеф.....	22
1.5 Почвы и растительность.....	22
2 Обзор, анализ и обобщение ранее проведенных исследований ...	25
2.1 Геологическая изученность.....	25
2.2 Гидрогеологическая изученность.....	26
2.3 Составление базы геоданных.....	31
3 Геолого-гидрогеологическая характеристика района и участка исследований.....	32
3.1 Геологическое строение района.....	32
3.1.1 Стратиграфия.....	32
3.2 Тектоника.....	34
3.3 Гидрогеологические условия района.....	35
3.4 Гидрогеологические условия месторождения.....	38
3.5 Источники и особенности формирования подземных вод.....	40
4 Анализ Результаты мониторинга за состоянием подземных вод.....	42
4.1 Результаты химико-аналитических исследований.....	56
5 Характеристика качества подземных вод по результатам контрольного опробования.....	69
5.1 Карьерные воды.....	85
5.2 Изотопный состав подземных вод.....	86
6 Гидрогеологическое обследование территории работ.....	89
6.1 Эколого-гидрогеологическое обследование объекта.....	89
6.2 Оценка состояния существующей сети мониторинговых скважин.....	91
7 Математическое моделирование гидрогеологических условий объекта исследований.....	96
7.1 Геофильтрационная схематизация объекта.....	96
7.2 Схематизация природных условий в плане.....	97
7.3 Схематизация природных условий в разрезе.....	97
7.4 Создание математической модели.....	99
7.5 Калибровка модели.....	105
7.6 Решение прогнозных задач.....	121
8 Выводы и рекомендации по результатам выполненных исследований.....	139
Список использованной литературы.....	144

Список рисунков в тексте

Рисунок 1.1 – Обзорная карта района	18
Рисунок 1.2 – График изменения среднемесячной температуры воздуха по м/с Балхаш и Саяк	19
Рисунок 1.3 – График суммарных месячных осадков по м/с Балхаш и Саяк за 2011-2022 гг.	20
Рисунок 1.4 – График обеспеченности суммарных годовых атмосферных осадков по м/с Балхаш за многолетний период наблюдений	20
Рисунок 1.5 – Среднегодовая роза ветров района расположения месторождений	21
Рисунок 1.6 – Схема выделенных водосборных бассейнов исследуемой территории на основе цифровой модели рельефа	23
Рисунок 4.1 – График изменения среднемесячных температур воздуха, суммарных месячных осадков и эффективных осадков по м/с г. Балхаш	46
Рисунок 4.2 – Карта типов режима подземных вод в пределах исследуемой территории	47
Рисунок 4.3 – Графики изменения динамического уровня воды в наблюдательных скважинах №№ 2г, 3г, 5г, 8г, 10г, 17г и 209 характеризующих ненарушенный режим подземных вод	48
Рисунок 4.4 – Графики изменения динамического уровня воды в наблюдательных скважинах №№ 1г, 6г и 24г характеризующих режим подземных вод на участке их добычи	49
Рисунок 4.5 – Графики изменения динамического уровня воды в наблюдательных скважинах №№ 005ГТ, 002ГТ, 19г, 22г, 207сн и 208сн, расположенных в пределах возможной области дренирующего влияния карьера	50
Рисунок 4.6 – Графики изменения динамического уровня воды в наблюдательных скважинах №№ 202сн, 203сн, 204сн и 205сн, расположенных в районе хвостохранилища	51
Рисунок 4.7 – Графики изменения динамического уровня воды в наблюдательных скважинах №№ 206сн, 210сн, 211сн, 212сн, 3укв и 15укв, расположенных вблизи ЗИФ, области влияния прудов накопителей технических вод и участка кучного выщелачивания	52
Рисунок 4.8 – Соотношение динамических уровней воды в наблюдательных скважинах №№ 2г-3г	53
Рисунок 4.9 – Соотношение динамических уровней воды в наблюдательных скважинах №№ 8г10г	54
Рисунок 4.10 – Соотношение динамических уровней воды в наблюдательных скважинах №№ 6г24г	54
Рисунок 4.11 – Соотношение динамических уровней воды в наблюдательных скважинах №№ 205-206	55

Рисунок 4.12 – Соотношение динамических уровней воды в наблюдательных скважинах №№ 210-211	55
Рисунок 4.13 – Соотношение динамических уровней воды в наблюдательных скважинах №№ 3укв-210'	56
Рисунок 4.14 – Диаграмма химического состава воды.....	57
Рисунок 4.15 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 8г.....	59
Рисунок 4.16 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 22г.....	59
Рисунок 4.17 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 24г.....	60
Рисунок 4.18 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 1г.....	60
Рисунок 4.19 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 2г.....	61
Рисунок 4.20 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 6г.....	61
Рисунок 4.21 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 202сн	61
Рисунок 4.22 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 203сн	62
Рисунок 4.23 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 204сн	62
Рисунок 4.24 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 205сн	62
Рисунок 4.25 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 212сн	63
Рисунок 4.26 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 3укв.....	63
Рисунок 4.27 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 206сн	64
Рисунок 4.28 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 207сн	64
Рисунок 4.29 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 208сн	64
Рисунок 4.30 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 210сн	65
Рисунок 4.31 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 211сн	65
Рисунок 4.32 – График изменения катионного и анионного состава карьерных вод месторождения Пустынное.....	66
Рисунок 4.33 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 002GT	66
Рисунок 4.34 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № SW-HG-02.....	67

Рисунок 4.35 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 19г.....	67
Рисунок 5.1 – Диаграмма Дурова сопоставления химического состава вод отобранных на исследуемой территории за период 1997-2022 гг.	69
Рисунок 5.2 – Диаграмма Пайпера сопоставления химического состава вод отобранных на исследуемой территории за период 1997-2022 гг.	70
Рисунок 5.3 – Диаграмма Дурова химического состава, водородного показателя и минерализации вод,.....	71
Рисунок 5.4 – Диаграмма Пайпера типов вод отобранных при обследовании 2022 гг.	72
Рисунок 5.5 – Диаграмма наиболее характерной минерализации подземных вод.....	73
Рисунок 5.6 – Зависимость минерализации вод от концентрации в них сульфатов	73
Рисунок 5.7 – Зависимость минерализации вод от концентрации в них натрия.....	74
Рисунок 5.8 – Диаграмма наиболее характерной концентрации сульфатов в водах.....	74
Рисунок 5.9 – Схематическая карта района исследований с круговыми диаграммами основных катионов и анионов химического состава подземных.....	76
Рисунок 5.10 – Схематическая карта объекта исследований с радиальными диаграммами основных катионов и анионов химического состава подземных вод	77
Рисунок 5.11 – Схематическая карта района исследований с розами основных катионов и анионов химического состава подземных вод ..	78
Рисунок 5.12 – Схематическая карта выделенных типов подземных вод в пределах объекта исследований	79
Рисунок 5.13 – Диаграмма наиболее характерной концентрации кадмия в подземных водах	80
Рисунок 5.14 – Карта области загрязнения почв бором	81
Рисунок 5.15 – Карта области загрязнения почв хромом	82
Рисунок 5.16 – Карта области загрязнения почв мышьяком	83
Рисунок 5.17 – Диаграмма наиболее характерной концентрации марганца в подземных водах.....	84
Рисунок 5.18 – Диаграмма наиболее характерной концентрации бора в подземных водах	84
Рисунок 5.19 – Диаграмма Дурова химического состава карьерных и подземных вод по скважинам, расположенным в пределах области дренирующего влияния и удалённых от нее.....	85
Рисунок 5.20 – Диаграмма У. Фиклина типов вод в пределах объекта исследований по зависимости концентрации сульфатов и суммы металлов от pH	86
Рисунок 5.21 – Сравнительный изотопный анализ.....	87

Рисунок 5.22 – Изменение дейтериевого эксцесса в исследуемых водах.	88
Рисунок 6.1 – Водопроявление у основания северо-западной дамбы третьей карты хвостохранилища	90
Рисунок 6.2 – Водопроявление у основания северной дамбы второй карты хвостохранилища	90
Рисунок 6.3 – Замер уровня на скважине № 2г.....	91
Рисунок 6.4 – Схема расположения точек опробования в пределах территории объекта исследований	93
Рисунок 6.5 – Прокачка скважины № 212сн	94
Рисунок 6.6 – Измерение водородного показателя рН на 2-ой карте хвостохранилища.....	95
Рисунок 7.1 – Схематизация гидрогеологических условий	101
Рисунок 7.2 – Трехмерное отображение области моделирования....	102
Рисунок 7.3 – Величины коэффициента фильтрации водоносной зоны трещиноватости по данным опробования.....	102
Рисунок 7.4 – Распределение коэффициента фильтрации в плане .	103
Рисунок 7.5 – Диаграмма размаха коэффициента фильтрации по результатам опробования водовмещающих пород.....	104
Рисунок 7.6 – Значения фильтрационных параметров, заданные на модели послойно	104
Рисунок 7.7 – График зависимости площадного питания от времени, заданный на модели.....	105
Рисунок 7.8 – Постановка стационарной задачи	106
Рисунок 7.9 – Результат решения обратной стационарной задачи...	107
Рисунок 7.10 – Графики соотношения фактических и модельных уровней по результатам решения обратной стационарной задачи ..	108
Рисунок 7.11 – Карта гидроизогипс, построенная по результатам решения обратной стационарной задачи на февраль 2015 г.....	109
Рисунок 7.12 – Постановка эпигнозной задачи	110
Рисунок 7.13 – Заданные на модели графики снижения абсолютных отметок центральной (А) и периферийной (В) частей карьера.....	111
Рисунок 7.14 – Заданный на модели график водоотбора из скважины 1г	111
Рисунок 7.15 – Заданный на модели график водоотбора из скважины 6г	112
Рисунок 7.16 – Заданный на модели график водоотбора из скважины 19г.....	112
Рисунок 7.17 – Результат решения обратной нестационарной (эпигнозной) задачи.....	113
Рисунок 7.18 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 22г, 19г и 207г, рассчитанных на модели и по данным мониторинга	114

Рисунок 7.19 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 208с, 2г и 3г, рассчитанных на модели и по данным мониторинга.....	114
Рисунок 7.20 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 8г, 10г и 1г, рассчитанных на модели и по данным мониторинга.....	115
Рисунок 7.21 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 5г, 6г и 24г, рассчитанных на модели и по данным мониторинга.....	115
Рисунок 7.22 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 202с, 203с и 204с, рассчитанных на модели и по данным мониторинга.....	116
Рисунок 7.23 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 205с, 212с и 211с, рассчитанных на модели и по данным мониторинга.....	116
Рисунок 7.24 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 210с (до и после 01.01.2019) и 206с, рассчитанных на модели и по данным мониторинга.....	117
Рисунок 7.25 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 15у и 3ук, рассчитанных на модели и полученных по данным мониторинга.....	117
Рисунок 7.26 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 17г и 209с, рассчитанных на модели и полученных по данным мониторинга.....	118
Рисунок 7.27 – Карта гидроизогипс, построенная по результатам решения эпигнозной задачи (по состоянию на 2020 г.).....	119
Рисунок 7.28 – Карта гидроизогипс, построенная по результатам решения эпигнозной задачи (по состоянию на 2022 г.).....	120
Рисунок 7.29 – Постановка прогнозной гидродинамической задачи.	121
Рисунок 7.30 – Заданные на модели графики снижения абсолютных отметок разных частей дна карьера месторождения Карьерное	122
Рисунок 7.31 – Карта гидроизогипс, построенная по результатам решения прогнозной задачи (по состоянию на 2026 г.).....	124
Рисунок 7.32 – Карта гидроизогипс, построенная по результатам решения прогнозной задачи (по состоянию на 2030 г.).....	125
Рисунок 7.33 – Карта развития депрессионных воронок от влияния карьеров.....	126
Рисунок 7.34 – Карта участков загрязнения подземных вод.....	127
Рисунок 7.35 – Постановка миграционной задачи.....	128
Рисунок 7.36 – Источники поступления и загрязняющие вещества, оказывающие влияние на подземные воды.....	128
Рисунок 7.37 – Карта распределения концентраций кадмия в подземных водах (по состоянию на 2022 г.).....	129
Рисунок 7.38 – Карта распределения концентраций кадмия в подземных водах (по состоянию на 2030 г.).....	130

Рисунок 7.39 – Карта распределения концентраций марганца в подземных водах (по состоянию на 2022 г.)	131
Рисунок 7.40 – Карта распределения концентраций марганца в подземных водах (по состоянию на 2030 г.)	132
Рисунок 7.41 – Карта распределения концентраций бора в подземных водах (по состоянию на 2023 г.).....	133
Рисунок 7.42 – Карта распределения концентраций бора в подземных водах (по состоянию на 2030 г.).....	134
Рисунок 7.43 – Карта распределения концентраций нефтепродуктов в подземных водах (по состоянию на 2023 г.)	135
Рисунок 7.44 – Карта распределения концентраций нефтепродуктов в подземных водах (по состоянию на 2030 г.)	136
Рисунок 7.45 – Карта распределения концентраций цианидов в подземных водах (по состоянию на 2023 г.)	137
Рисунок 7.46 – Карта распределения концентраций цианидов в подземных водах (по состоянию на 2030 г.)	138
Рисунок 8.1 – Рекомендуемая схема расширения мониторинговой сети за состоянием подземных вод	143

Список таблиц в тексте

Таблица 2.1 – Основные расчетные гидрогеологические параметры, принятые в 1997 г.	27
Таблица 2.2 – Утвержденные эксплуатационные запасы подземных вод в 2016 г.	30
Таблица 4.1 – Перечень лабораторий, выполнявших химико-аналитические исследования проб воды, отобранной в пределах месторождения Пустынное	58
Таблица 6.1 – Данные по скважинам полученные при маршрутном обследовании	92
Таблица 6.2 – Данные по опробованию водопроявлений, прудов-накопителей и прудков хвостохранилища при маршрутном обследовании	94

ВВЕДЕНИЕ

АО «АК Алтыналмас» осуществляет разработку золоторудного месторождения Пустынное открытым способом в Актогайском районе Карагандинской области.

Добыча и обогащение упорных руд месторождения Пустынное сопровождается нарушением естественных гидродинамического и гидрохимического режима подземных вод прилегающей территории. С одной стороны подземные воды выступают как негативный фактор при отработке месторождения (водоприток, влияние на сооружения), с другой стороны горнодобывающая деятельность также может оказывать существенное влияние на состояние подземных вод приводя к их истощению и загрязнению.

Для контроля и оперативного принятия решений, связанных с подземными водами на месторождении и его инфраструктурных объектах создана и функционирует мониторинговая сеть скважин. Для обобщения всего накопленного материала, и оценки влияния деятельности АО «АК Алтыналмас» отделом гидрогеологии и геомеханики было принято решение провести научно-исследовательскую работу, направленную на оценку изменения гидрогеологических условий на месторождении Пустынное под влиянием техногенной нагрузки. При этом были поставлены следующие задачи:

- произвести обзор, анализ и обобщение геолого-гидрогеологической, метеорологической и пр. информации по объекту исследования;
- создать базу геоданных объекта исследований в географической информационной системе (ГИС);
- провести полевое обследование зоны влияния объекта на окружающую среду;
- произвести гидрохимическое опробование объекта;
- выполнить лабораторные химико-аналитические исследования образцов воды, отобранных при обследовании;
- выявить и изучить основные факторы, влияющие на изменение гидрогеологических условий;
- обосновать концептуальную модель гидрогеологических условий объекта исследований;
- создать математическую модель гидрогеологических условий объекта исследований путём решения обратной стационарной, обратной нестационарной (в данном случае эпигнозной) и прогнозной задачи;
- оценка изменения гидродинамических и гидрохимических условий объекта под влиянием техногенной нагрузки с учетом перспективы;

- обосновать рекомендаций по снижению/нейтрализации негативного влияния.

Работы проводились ТОО «Hydrogeology Consulting Group» в рамках договора заключенного с АО «АК Алтыналмас».

В полевых и камеральных работах принимали участие Сотников Е.В. – научный руководитель, Ph.D, директор ТОО «Hydrogeology Consulting Group»; Мирошниченко О.Л. – ведущий консультант, к.т.н.; Канафин К.М. – инженер-гидрогеолог, Ph.D; Искандеров Р.Р. – инженер-гидрогеолог, M.Sc; Аскеров А.И. – инженер.

ТОО «Hydrogeology Consulting Group» был проанализирован весь имеющийся материал со всей надлежащей тщательностью. Хотя специалисты сопоставили предоставленные ключевые данные с ожидаемыми значениями, точность результатов и выводы всецело зависят от точности и полноты собранных и предоставленных данных. ТОО «Hydrogeology Consulting Group» не несет ответственности за какие-либо ошибки или пробелы в предоставленной информации и не принимает на себя какую-либо косвенную ответственность, возникающую из коммерческих решений или из действий, обусловленных такими решениями.

Заключения, представленные в настоящем отчете, относятся к условиям и особенностям, которые имели место на рассматриваемом объекте в момент выполнения исследований, а также к условиям и особенностям, которые можно было разумно предположить. Эти заключения необязательно будут применимы к условиям и особенностям, которые могут возникнуть после подготовки настоящего отчета, и о которых специалистам ТОО «Hydrogeology Consulting Group» не было известно заранее или которые не было возможности оценить.

Авторы настоящей работы выражают благодарность ведущему инженеру-гидрогеологу отдела геомеханики и гидрогеологии АО «АК Алтыналмас» – Калибекову Азату Мерлановичу, гидрогеологу месторождения Пустынное АО «АК Алтыналмас» - Иманбекову Азамату за оперативность в предоставлении исходных данных, содействию при проведении обследования, ценные советы и пояснения в ходе выполнения работ.

1 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Административное положение

Золоторудное месторождение Пустынное расположено в Актогайском районе Карагандинской области, в 120 км к востоку от г.Балхаш, в 25 км к северо-востоку от железнодорожной станции «Акжайдак» (ж.д. линия Балхаш-Актогай). Месторождение находится в пределах планшета L-43-45-A и имеет географические координаты центра 46°57'40" С.Ш. и 76°03'09" В.Д.

По территории района проходит автомобильная дорога Караганда-Актогай-Балхаш-Каркаралинск. Автотранспортная связь между месторождением и городом Балхаш осуществляется частично по грунтовой дороге с гравийным покрытием, частично (50 км) – по дороге с асфальтным покрытием; до ж.д. станции «Акжайдак» – по грунтовой дороге с гравийным покрытием (рис. 1.1). Станция Акжайдак с населением в 250 человек является близлежащим населённым пунктом, расположенным в 25 км на юго-запад.

Город Балхаш с населением 78,8 тыс. человек (на 2021 г.) является самым крупным ближайшим населённым пунктом с хорошо развитой инфраструктурой. Промышленные предприятия представлены Корпорацией «Kazakhmys» (БГМК) и АО «АК Алтыналмас» (ГМП «Пустынное»). Градообразующим предприятием является ПО «БалхашЦветМет».

Экономически район не освоен. Территория его не заселена и используется для отгонного скотоводства.

В 3 км восточнее находится месторождение «Карьерное» с рудами, аналогичными месторождению «Пустынное», на котором проводятся поисково-разведочные работы. Запасы руды на месторождении оцениваются в 10 млн. т., при среднем содержании золота 1,0 г/т.

В 12 км к востоку расположено кварцево-жильное золоторудное месторождение «Долинное», введенное повторно в эксплуатацию ТОО «Актогай Мыс» с 2015 года.

В 5-6 км юго-восточнее находится карьер «Итмурынды» по добыче жадеитовой руды, который начал эксплуатацию с 2017 года ТОО «Bar Neo».

1.2 Климат

Территория рассматриваемого района относится к зоне полупустынь с резко континентальным засушливым климатом.

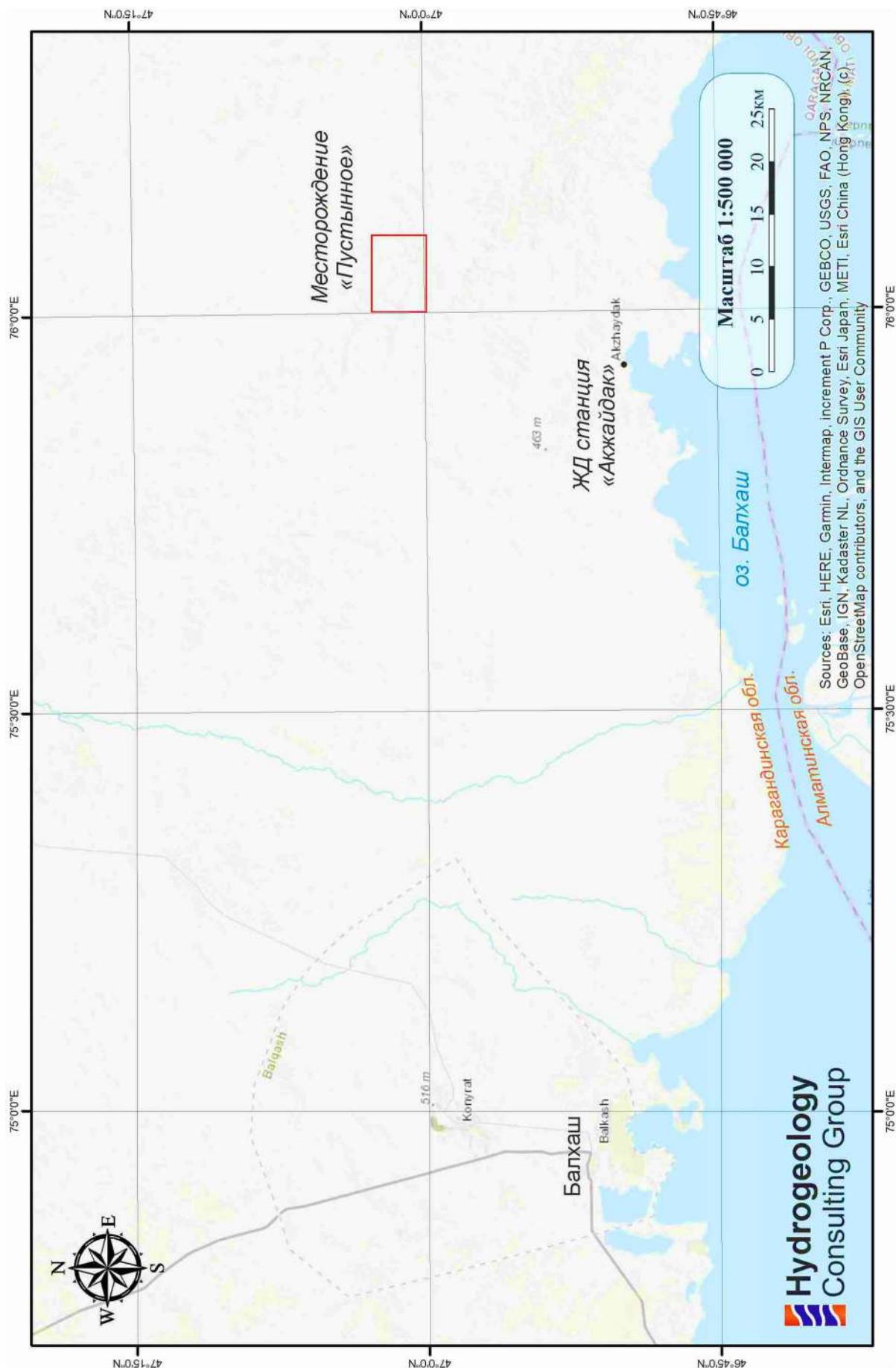


Рисунок 1.1 – Обзорная карта района

Температура. Среднегодовая температура воздуха по данным наблюдений метеостанции Балхаш составляет $+8-10^{\circ}$. Лето жаркое, знойное и продолжительное, температура воздуха в это время повышается до 45° . Безморозный период составляет 210-240 дней в году. Самым жарким месяцем, является июль со среднемесячной температурой 45° . Для района характерны малоснежные, суровые зимы продолжительностью 90-110 дней. В отдельные годы морозы достигают $40-45^{\circ}$ (рис. 1.2).

Наибольшие морозы преобладают обычно в январе месяце. Средняя из максимальных декадных высот снежного покрова за зиму составляет 10-15 см. Запасы воды в снежном покрове в среднем изменяются от 40 до 50 мм. В отдельные зимы снежный покров на участке бывает незначительный.

В марте обычно начинается снеготаяние. Средняя суточная температура выше 0° устанавливается обычно в конце второй - третьей декадах марта.

Переход температур через 0° осенью наступает в конце сентября. Осень обычно отличается большой сухостью, а сентябрь является самым сухим месяцем года. Первый снегопад отмечается в среднем в конце октября начале ноября. В некоторые годы выпадение снега не наблюдается до декабря.

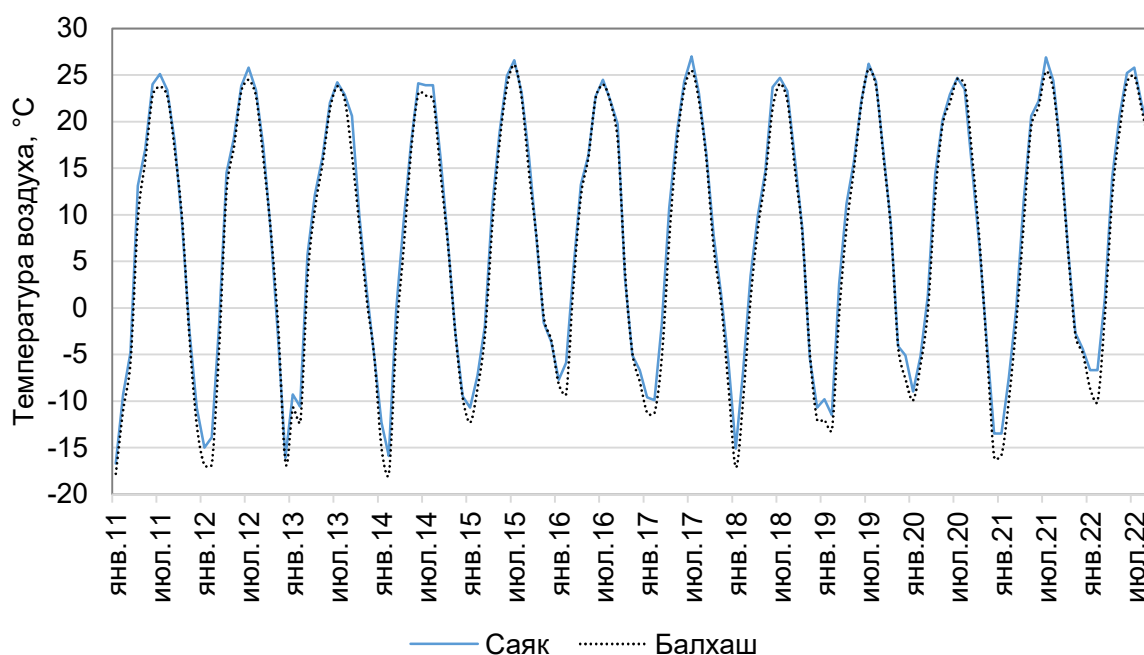


Рисунок 1.2 – График изменения среднемесячной температуры воздуха по м/с Балхаш и Саяк

Осадки. Расположение района работ в относительно низких широтах, благоприятствует наибольшему притоку солнечной энергии с суммарной радиацией $130-150$ ккал/см² и продолжительному солнечному сиянию 2700-3000 ч/год. В результате чего, осадки,

выпадающие за теплый период года, за исключением ливней, почти полностью расходуются на испарение.

Атмосферные осадки на рассматриваемой территории распределяется относительно равномерно. Наибольшее количество их выпадает в весенний период.

Осадки в весенне-летний период более интенсивны, чем зимой и чаще носят ливневый характер. Наименьшее количество осадков выпадает в августе-сентябре. В отдельные засушливые годы осадки в эти месяцы отсутствуют совсем (рис. 1.3, 1.4).

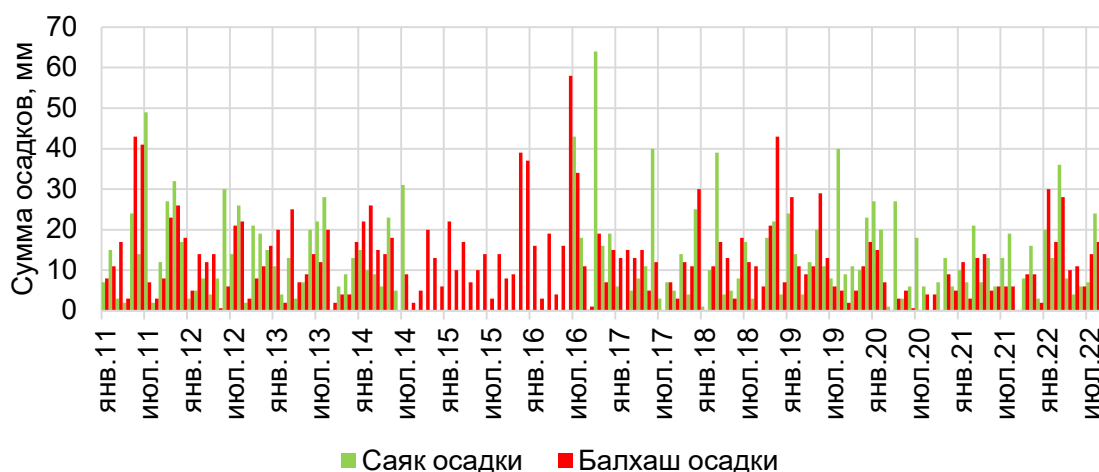


Рисунок 1.3 – График суммарных месячных осадков по м/с Балхаш и Саяк за 2011-2022 гг.

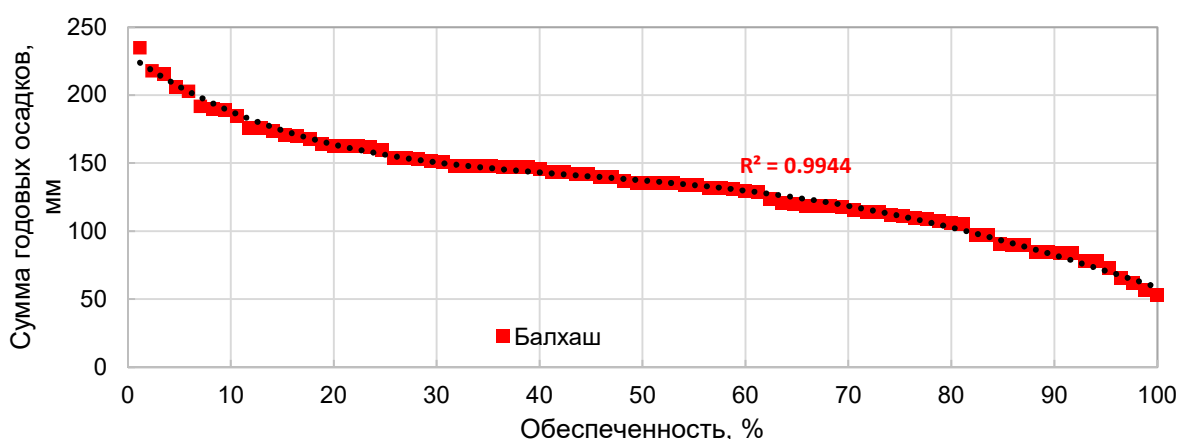


Рисунок 1.4 – График обеспеченности суммарных годовых атмосферных осадков по м/с Балхаш за многолетний период наблюдений

Ветры. Господствующее направление ветра: в холодный период – северо-восточное, средняя скорость ветра – 5,1 м/сек; в тёплое время года – южное, юго-западное, средняя скорость ветра – 5,2 м/сек.

Средняя скорость ветра в зимний период составляет 5-6 м/сек, максимальные месячные величины 9-15 м/сек. Часто отмечаются ветры ураганной силы, достигающие 20-25 м/сек и более. Число дней со скоростью ветра более 4,5 м/сек составляет 50-60 дней в году (18,4 %). Основное направление ветра в зимнее время с СВ (40%) и ЮЗ (13 %) при средних скоростях 4,2 и 3,7 м/сек. В летнее время ветра преимущественно дуют с Ю (30 %), ЮЗ (18 %), при средних скоростях 4,5-5,2 м/сек. К зиме наблюдается усиление ветровой деятельности (рис. 1.5).

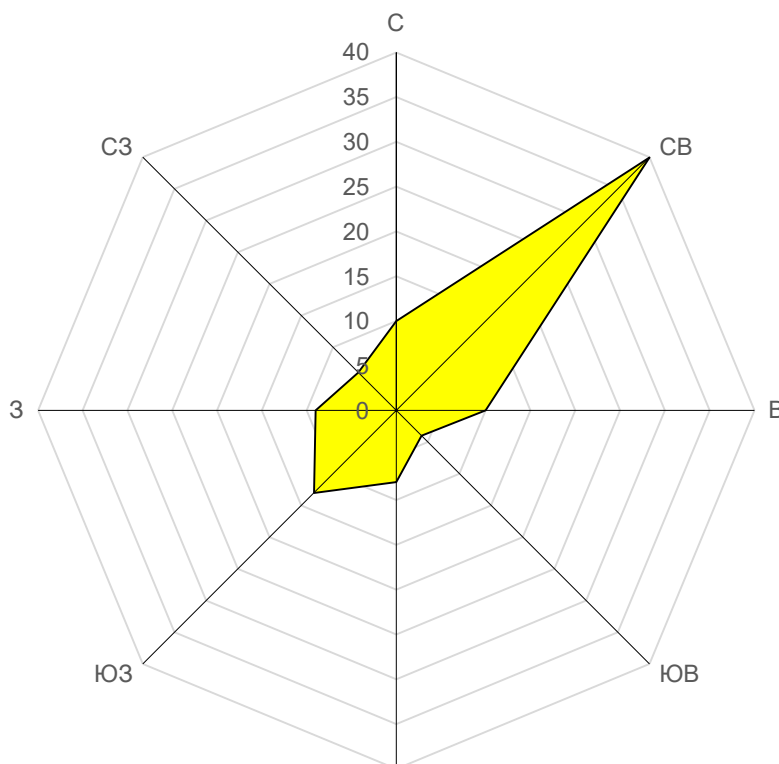


Рисунок 1.5 – Среднегодовая роза ветров района расположения месторождений

Влажность воздуха. Колебания абсолютной влажности следует за годовым ходом температур воздуха. Исследуемый район относится к зоне недостаточного увлажнения. Резко-континентальный и сухой климат обуславливает большой дефицит влажности. Максимум абсолютной влажности падает на июль и достигает 18,5 мб, что благоприятствует процессам интенсивного испарения с поверхности почв и водоемов. Наименьшая величина влажности в январе достигает 1,5 мб. Амплитуда колебания влажности воздуха достигает 9,0 мб. Среднегодовой дефицит влажности составляет 9,5 мб.

Наименьшая относительная влажность, в пределах 7-50 %, наблюдается с апреля по сентябрь, максимальные – в пределах 50-97%, наблюдается с октября по апрель.

1.3 Гидрография

Наиболее крупной водной артерией в районе является река Тоқырауын (Токрау) которая в свою очередь относится к бассейну озера Балхаш. Она берет свое начало далеко за пределами района от слияния мелких рек Кушоқы, Саран и Кызылтас. Река Тоқырауын имеет смешанное питание. В истоке она получает воды снежников и ледников. В годовом её режиме наблюдается один паводок, в различных частях территории одновременно на предгорной равнине и в горах. Паводок проходит в период весеннего снеготаяния. Продолжительность паводка от 1 до 4 месяцев.

Ниже поселка Ақтұмсық режим реки Тоқырауын своеобразный: поверхностный сток теряется на фильтрацию в русловые отложения и оживает только в весенний паводок. Максимальный расход по створу в районе поселка Ақтұмсық наблюдается в марте-апреле и достигает до $41,5 \text{ м}^3/\text{сек}$, минимальный $2,0 \text{ м}^3/\text{сек}$. Расход по гидропосту Ақтұмсық составляет $2,0 \text{ м}^3/\text{сек}$, в 45 км ниже по течению $1,28 \text{ м}^3/\text{сек}$ и на расстоянии 95 км $0,08 \text{ м}^3/\text{сек}$, что объясняется инфильтрацией стока в аллювиальные отложения. Модуль стока реки в верхнем течении составляет $11-13 \text{ дм}^3/\text{сек}$, на равнине он сокращается до $0,5 \text{ дм}^3/\text{сек}$ с 1 км^2 и менее. Минерализация воды изменяется от 0,4 до 0,9 г/дм³ с составом гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-натриевый.

1.4 Рельеф

Рельеф представлен Казахским мелкосопочником и равниной, в пределах которой протекает река Тоқырауын. Абсолютные отметки некоторых возвышенностей Казахского мелкосопочника имеет абсолютные отметки 586 м. (г. Акчаадык). С востока территория района ограничена системой разломов, выраженных в рельефе уступом высотой 20-25 м. К западу от них простирается равнина с долиной реки Тоқырауын с абсолютными отметками в пределах 420-350 м.

1.5 Почвы и растительность

Почвы. Формирование почвенного покрова происходит под влиянием факторов почвообразования: климатические условия, растительный покров, почвообразующие факторы, рельеф местности, гидрогеологические условия и деятельность человека.

В горах получили распространение горностепные малоразвитые почвы в сочетании с выходами горных пород. Формирование их происходило под степной и кустарниково-степной растительностью, представленный эфемерно-полынь-боялычевыми сообществами с редкими таволги, кандыма.

В межсопочных равнинах получили развитие светло-серые почвы - сероземы, которые формируются под ксерофито-полынно-ковыльными сообществами.

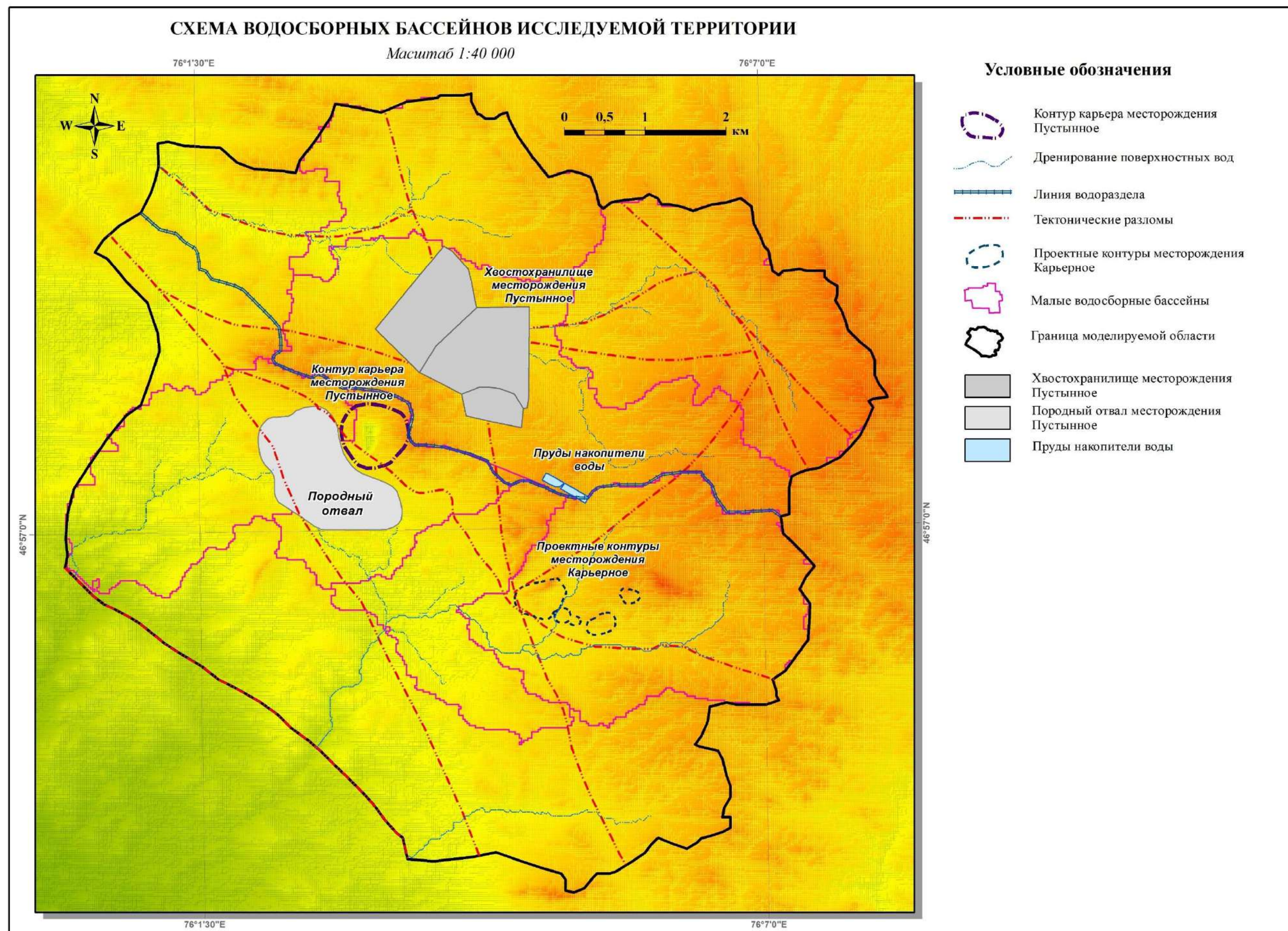


Рисунок 1.6 – Схема выделенных водосборных бассейнов исследуемой территории на основе цифровой модели рельефа

Почвообразующие породы представлены легкими суглинками, супесями. Сероземы формируются под влиянием высоких температур воздуха, малого количества осадков, что соответствует быстрой минерализации растительных осадков, на тяжелых и легких супесях. Сероземы характеризуются слабой дифференцированностью на генетические горизонты, небольшой мощностью гумусового горизонта (до 0,5 м), комковатой структурой. Все почвы данной территории имеют рыхлое или слабо уплотненное сложение по всему морфологическому профилю, в связи с этим их устойчивость к различным механическим действиям низкая. Почвы исследуемой территории бесструктурные и поэтому просадочные. Содержание гумуса в почвах данной территории в горизонте А колеблется от 0,2 до 2,0 %. Все почвы данной территории имеют щелочную или сильнощелочную реакцию среды и характеризуются низким плодородием, и слабой устойчивости к разного рода техногенным воздействиям. В силу метео-климатических факторов, морфологических и физических свойств, почвы исследуемой территории обладают низкой устойчивостью к плоскостному смыву, в связи с чем, временные поверхностные потоки, образуемые при резком весеннем потеплении, образуют овраги, промоины. Слабая гумусность и невысокая емкость поглощения катионов, легкий механический состав и засоленность почвенного профиля большинства почв данного региона указывают на то, что почвы в пределах месторождения характеризуются невысоким естественным плодородием.

Растительность представлена пустынными разновидностями. По тальвегу и руслам временных водотоков произрастают фреатофиты: тростник обыкновенный, типчак, ковыль волосатик. На склонах произрастают: ковылок, тырсик, однолетние солянки и шведки. На каменистых площадках произрастают полынь. Доминантными видами сообществ, на представленной территории, являются Солянка деревцеобразная, боялыч (*Salsola arbusculaeformis* Drob), полынь белоземельная и черная (*Artemisia terrae-albae*, *A. Pauciflora*), лебеда седая, кокпек (*Atriplex cana*), ковыль Лессинга и сарептский (*Stipa lessingiana*, *S. Sareptana*). Растительный покров рассматриваемой территории, характеризуется однородной пространственной структурой, бедностью флоры и низким уровнем биоразнообразия в связи с природно-климатическими особенностями региона и современным хозяйственным освоением территории. Растительный покров сильно изрежен: более 70 % территории полностью лишены растительности вследствие экстремальности типов местообитаний. Проективное покрытие почвы растениями составляет 20-25 %. Жизненное состояние растений удовлетворительное. Высота травостоя колеблется от 10 до 70 см. Ресурсная значимость растительного сообщества – пастбищная. Искусственные насаждения отсутствуют.

2 ОБЗОР, АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Специфика геолого-гидрогеологических исследований априори предусматривает на первоначальном этапе проведение сбора, анализа и обобщения результатов ранее выполненных исследований.

Выполняемая научно-исследовательская работа предусматривала решение целого комплекса задач. Основные из них:

- обзор, анализ и обобщение геолого-гидрогеологической, метеорологической и прочей информации по объекту исследования;
- полевое исследование зоны влияния объекта на окружающую среду;
- лабораторные химико-аналитические исследования образцов воды, отобранных при обследовании;
- создание базы геоданных объекта исследований;
- обоснование концептуальной модели гидрогеологических условий объекта исследований;
- создание математической модели гидрогеологических условий объекта исследований;
- оценка изменения гидродинамических и гидрохимических условий объекта под влиянием техногенной нагрузки;
- выявление основных факторов, влияющих на изменение гидрогеологических условий;
- обоснование рекомендаций по снижению/нейтрализации негативного влияния.

Многогранность поставленной задачи обуславливает сбор разноплановой информации, объем которой зависит от характеристик объектов, являющихся предметом проводимых исследований.

С целью сбора имеющейся геолого-гидрогеологической информации по району исследований на подготовительном этапе была выполнена работа по изучению имеющегося материала и формированию списка необходимой информации.

Основная часть информации по объекту была предоставлена специалистами АО «АК Алтыналмас».

2.1 Геологическая изученность

Геологическая изученность района вполне удовлетворительная. В 1960 г. геологом Центрально-Казахстанского геологического управления Гаек О.М. были проведены редакционные работы и составлена геологическая карта масштаба 1:200 000 площади листа L-43-X и L-43-XI, опубликованные в 1964 году.

В 1962 г. на данной территории проводилась геологическая съёмка масштаба 1:50 000.

2.2 Гидрогеологическая изученность

Рассматриваемый район в 1964-77 гг. был охвачен кондиционной гидрогеологической съемкой масштаба 1:200000, издана гидрогеологическая карта листа L-43-XI соответствующего масштаба (Абросов А.В., Андруевич В.И. и др.).

В период 1974-1989 гг. на территории были проведены гидрогеологические изыскания источников обводнения пастбищ и водоснабжения населенных пунктов Актогайского района (Абросов А.В., Найденов В.Е., Петлина О.И., Труфанова Н.Н. и др.).

В основу составленной коллективом авторов [10] схематической гидрогеологической карты легла наиболее полная и соответствующая современной стратиграфии геологическая характеристика района и участка по материалам поисково-разведочных, поисково-оценочных и детальных работ по месторождениям Пустынное и Карьерное (Балхашская ГРЭ, Стасив М.В. и др., 1983 г.; АООТ «АБС-Карагандагеология», Медведев В.К., 2000 г.). Также использованы материалы изданной гидрогеологической карты масштаба 1:200 000, а также данные гидрогеологических исследований, выполненных на месторождении Пустынное и прилегающей к нему территории.

Первые гидрогеологические исследования месторождения Пустынное были выполнены в 1995-1998 гг. АООТ «АБС-Карагандагеология» в рамках детальной разведки месторождения – поиски подземных вод с последующим строительством эксплуатационных скважин в наиболее обводненных точках для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения ГМК Пустынное [5].

С целью максимального привлечения в эксплуатацию природных ресурсов и запасов подземных вод была предусмотрена рассредоточенная система поисковых гидрогеологических скважин, проходимых в зонах разломов и узлах их пересечения в радиусе около 3 км от потребителя. Непосредственно в карьере либо на его бортах гидрогеологические скважины не бурились.

Было пробурено 24 скважины (№№ 1г-24г) глубиной 40-62 м, из которых 14 скважин – безводные и малодебитные, в оставшихся дебиты изменялись от 0,6 до 3,5 л/с. Водовмещающие породы – зона трещиноватости фамен-турнейских алевролитов и песчаников, протерозойских пироксениты, перидотитов и габбро.

Подземные воды имели преимущественно безнапорный и слабо напорный характер и вскрывались на глубинах 2,7-8 м.

Рядом с наиболее водообильными скважинами 1г, 2г, 8г, 5г, 6г, 19г роторным способом станком 1БА-15В было пробурено 6 разведочно-эксплуатационных скважин глубиной 50-60 м, рыхлые отложения в которых были обсажены кондуктором Ø 219 мм, установлены фильтровые колонны Ø 168 мм с рабочей частью преимущественно в интервале 20-60 м.

По данным геофизических исследований в скважинах (гамма-каротаж, электрокаротаж, кавернометрия и расходометрия) трещиноватость пород прослеживалась до глубины 40-45 м, основные водопритоки формировались до глубины 25 м с дальнейшим постепенным уменьшением. По результатам выполненных работ была отмечена высокая анизотропия водовмещающей среды как в плане, так и в разрезе.

Опытные откачки продолжительностью 13,4-34,4 бр/см были выполнены в наиболее водообильных скважинах 1г, 2г, 5г, 6г, 8г и 19г в непрерывном (скв. 1г) и ступенчатом 12-часовом режиме (пуск откачки каждые 12 часов). Во всех скважинах было отмечено резкое падение дебитов и уровней воды при слабом площадном развитии депрессионной воронки. За 12 часов после остановки откачек уровни подземных вод не восстановились до значений статических на 0,2-0,5 м в скважинах 1г, 2г, 8г и на 2,45-5,73 м в скважинах 5г, 6г и 19г.

По данным опытных откачек были рассчитаны основные гидрогеологические параметры водоносной толщи (табл. 2.1). Принятые для расчета эксплуатационных запасов подземных вод и обводненности карьера гидрогеологические параметры приведены в нижеследующей таблице.

Таблица 2.1 – Основные расчетные гидрогеологические параметры, принятые в 1997 г.

Гидрогеологические параметры	Для расчета эксплуатационных запасов	Для расчета обводненности карьера
Время работы (отработки)	5 лет	5 лет, 20 лет
Мощность обводненной зоны	32 м	72 м, 192 м
Водопроницаемость (km)	16,5 м ² /сут	1,6 м ² /сут
Коэффициент водоотдачи (μ)	0,005	0,005
Уровнепроводность (a)	3,3·10 ³ м ² /сут	3,3·10 ³ м ² /сут

Эксплуатационные запасы подземных вод, оцененные балансовым методом на площади питания 12 км² в количестве 6,06 л/с (523,6 м³/сут), предназначены:

- для технического водоснабжения ГМК из скважин 1г, 2г, 5г, 6г и 8г – 342,4 м³/сут;
- для хозяйственно-питьевого водоснабжения из скважины 19г – 86,4 м³/сут.

Оцененные эксплуатационные запасы не были представлены на рассмотрение и утверждение МКЗ.

Авторами был рекомендован прерывистый режим работы практически для всех скважин (по 12 часов в сутки) при одновременной работе двух скважин (2г и 8г, 5г и 6г) и скважины № 1г, которую рекомендовано эксплуатировать в непрерывном режиме с дебитом 2,5 л/с.

Расчетные водопритоки в карьер составили:

- за счет дренирования подземных вод в карьер глубиной 80 м – 9,5 м³/ч (226,9 м³/сут);
- за счет дренирования подземных вод в карьер глубиной 200 м – 13,6 м³/ч (326 м³/сут);
- за счет твердых атмосферных осадков, выпадающих на площади карьера, в период интенсивного снеготаяния в течение 14 суток – 17,4 м³/ч (419,2 м³/сут);
- за счет ливневых вод (эпизодический водоприток) – 279,5 м³/ч.

По качеству подземные воды изучаемой территории изменялись от пресных до солоноватых и соленых. При этом химический состав пресных вод гидрокарбонатно-сульфатный или сульфатно-гидрокарбонатный, натриевый, в составе солоноватых вод преобладают сульфатные и хлоридные анионы

Микрокомпоненты черных, цветных и редких металлов присутствовали в подземных водах в количествах, не превышающих ПДК, предъявляемым к питьевым водам.

В 2006 году ТОО «Гидрогеолог» был выполнен мониторинг подземных вод месторождений Пустынное и Карьерное в соответствии с согласованным ТУ «Центрказнедра» проектом, включающим гидрогеологическое обследование территории, замеры уровней подземных вод в скважинах (3 раза в месяц) и гидрохимическое опробование подземных вод (2 раза в год).

Наблюдения проводились по двенадцати сохранившимся на тот момент гидрогеологическим скважинам (1г, 2г, 5г, 6г, 8г, 19г, 3г, 4г, 10г, 17г, 23г и 24г). Скважины №№ 1г и 6г в 2006 году эксплуатировались.

Химический состав подземных вод с 1998 г. практически не изменился, при этом отмечался незначительный рост минерализации и содержания нитратов почти по всем наблюдаемым скважинам.

Водоприток в карьер Пустынное глубиной 30 м составлял 150-200 м³/сут.

В 2011 году с целью доизучения гидрогеологических условий месторождения Пустынное был выполнен комплекс геологоразведочных работ, включающий:

- гидрогеологическое обследование прилегающей к карьеру территории;
- геофизические исследования в геологических скважинах, используемых для ведения мониторинга подземных вод (кавернометрия, расходомерия);
- проведение пробных откачек в обнаруженных при обследовании старых и пробуренных в 2011 году наблюдательных скважинах с целью гидрохимического опробования и определения гидрогеологических параметров (в новых скважинах);

- отбор проб подземных вод на сокращенный химический (определение сухого остатка и основных компонентов) и атомно-эмиссионный (определение микрокомпонентов) анализы.

Гидрогеологическое обследование территории осуществлялось маршрутами пешими и на автотранспорте и включало в себя изучение санитарно-экологического состояния территории, обследование технического состояния существующих ранее пробуренных скважин с выполнением в них прокачек для гидрохимического опробования.

Потенциальными источниками влияния на гидродинамический и гидрохимический режим подземных вод района являлся карьер с соответствующей производственной инфраструктурой – породный отвал, участок кучного выщелачивания, гидрометаллургический цех и, в меньшей степени, административно-бытовой корпус.

В сентябре 2013 г. на месторождении началось строительство объектов для добычи и переработки золотосодержащих руд. В период строительства для водоснабжения были построены три павильона на скважинах №№ 1г, 6г, 19г с установкой погружных насосов для добычи воды. От скважин до накопительных емкостей были проведены водоводы из пластиковых труб длиной 2,5 км, диаметром 80 мм. Добыча обусловила необходимость оценки эксплуатационных запасов подземных вод на участках скважин.

В основу оценки эксплуатационных запасов подземных вод были положены материалы эксплуатационных откачек из скважин №№ 1г, 6г, опытных откачек из скважин №№ 2г, 5г, 8г, 19г, режимные наблюдения и данные по карьерному водоотливу.

Подсчет запасов производился несколькими методами:

- совместным применением гидродинамического и гидравлического методов, основанных на определении расчетного понижения (прогнозного) в одиночной скважине;
- балансовым методом, который заключался в определении обеспеченности естественными ресурсами и естественными запасами с использованием данных режимных наблюдений.

По результатам выполненных работ МКЗ при МД «Центрканедр» были утверждены эксплуатационные запасы подземных вод для водоснабжения объектов на месторождении Пустынное на 10-летний срок эксплуатации в количестве 402,9 м³/сут, в том числе по скважинам и по категориям, согласно нижеследующей таблицы 2.2.

В 2017 г. АО «АК «Алтыналмас» была выполнена оценка запасов дренажных вод карьера Пустынное и подготовлен отчет. При подсчете запасов были использованы результаты работ, выполненных в 2015–2017 гг., а также данные ранее проведенных гидрогеологических исследований в пределах месторождения.

Таблица 2.2 – Утвержденные эксплуатационные запасы подземных вод в 2016 г.

№ эксплуатационной скважины	Категория запасов		Назначение вод
	В м ³ /сут	С ₁ тыс. м ³ /сут	
1г	81,4	43,2	ПТВ
2г		34,6	ПТВ
5г		34,6	ПТВ
6г	7,9	25,9	ПТВ
8г		30,2	ПТВ
19г		145,1	ХПВ
Всего:	89,3	313,6	
Итого:		402,9	

В ходе работ были выполнены следующие виды работ: наблюдение за состоянием водных объектов, наблюдение за объемом извлекаемых дренажных вод, наблюдение за уровнем и температурой подземных вод в скважинах действующей сети, изучение качества подземных вод. Был проведен анализ работы карьерного водоотлива. Доля карьерных вод в техническом водоснабжении ГМП незначительная и составляла около 5%.

На тот момент горные работы проводились на глубине 110 м. Данные учета карьерных вод приводились с октября 2015 года по декабрь 2016. Средний годовой водоприток в карьер составлял 58 м³/сут.

Подсчет запасов проведен гидравлическим и гидродинамическим методами. Время отработки карьера принято 10 лет.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод гидравлическим методом выполнена на основе данных водоотлива на конец 2016 года при глубине карьера 100 м. Оценены в количестве 112 м³/сут и утверждены по категории В – 60 м³/сут, по категории С₁ - 52 м³/сут.

В 2019 г. ТОО «ГЕОС» по заказу АО «АК Алтыналмас» подготовило ТЭО промышленных кондиций на золотосодержащие руды месторождения Пустынное.

Повариантный подсчет запасов был выполнен методом объемного каркасного моделирования с дальнейшим построением блочной модели рудных тел месторождения.

Оконтурирование рудных тел осуществлялось по вариантам бортового содержания золота 0,25; 0,4; 0,5; 0,7 г/т.

В отчете приведена информация по гидрогеологическим условиям карьера на основе материалов 2016-2018 гг.

В целом степень гидрогеологической изученности достаточна для решения задач, предусмотренных техническим заданием.

2.3 Составление базы геоданных

Разрозненность имеющейся информации, отсутствие системы хранения и анализа данных создали определенные сложности при создании базы геоданных, в связи с чем была проведена обширная работа по сбору и систематизации сведений.

Полученные при сборе данных картографические приложения были зарегистрированы в геоинформационной системе ArcGIS (рис. 2.1).

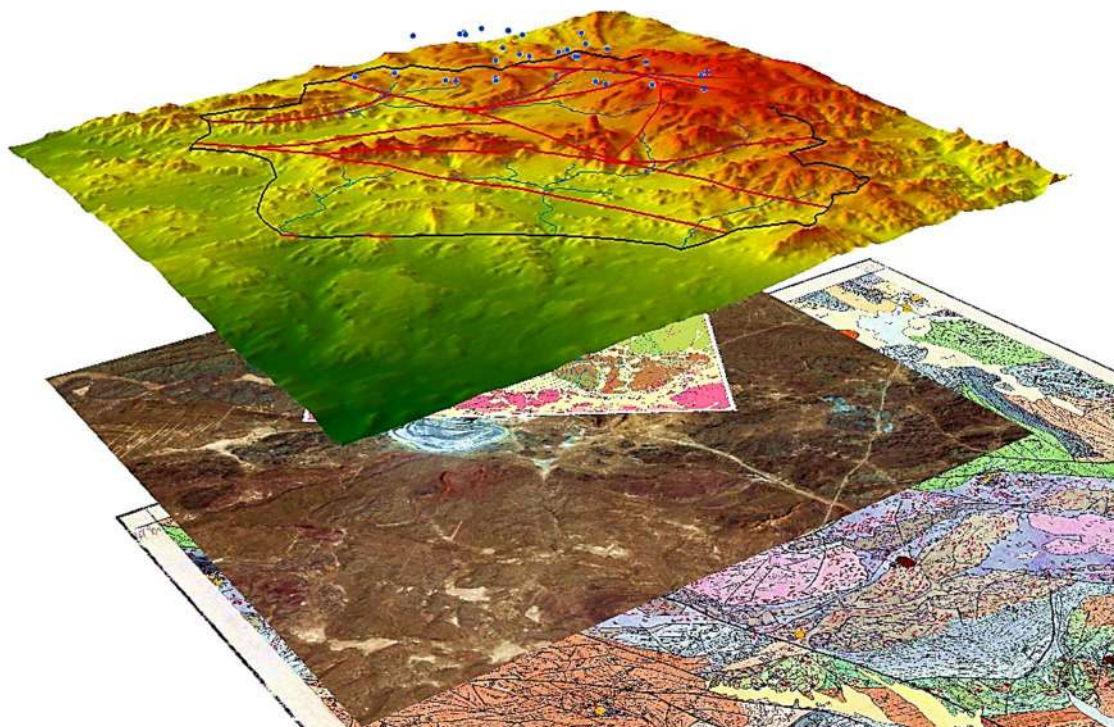


Рис. 2.1 – Принцип послойного анализа имеющихся картографических¹ материалов для создания векторных данных в программе ArcGIS (для визуализации использован модуль ArcScene)

Создание базы геоданных в первую очередь позволило систематизировать и визуализировать имеющийся картографический материал различного масштаба и назначения. Послойный анализ позволил уточнить местоположение водопунктов, гидрогеологических и географических объектов. Это позволило сформировать различные карты, использованные при анализе материала и подготовке текста отчёта.

Построенные цифровые карты легли в основу математической модели гидрогеологических условий района исследований.

¹ Преимущественно растровых файлов.

3 ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА И УЧАСТКА ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Геологическое строение района

В строении и формировании, геологии, находят отражение практически все основные геологические процессы, определяющие специфику Казахстанской складчатой области в целом. Наряду с широким развитием палеозойских и допалеозойских пород, слагавших низкогорные и мелкосопочные участки поверхности, обширные впадины выполнены рыхлыми или слабосцементированными породами мезо-кайнозоя.

К наиболее древним породам, участвующим в строении поверхности района отнесены образования среднего палеозоя, приуроченные к Северо-Балхашскому антиклинорию, и верхнепалеозойские тектонические формы Токрыауынского синклинория. В строении антиклинория принимают участие отложения силура, девона и нижнего карбона. Возраст этих пород условно датируется как верхний протерозой. Общая видимая мощность их достигает 200 м и более.

Месторождение расположено в южной части Иткудык-Бактайской зоны смятия и рассланцевания, на стыке двух региональных структур: Кызык-Итмурындинской и Катанбулакской структурно-формационных зон. В геологическом строении месторождения принимают участие отложения девонской и каменноугольной систем, приуроченные к локальному тектоническому блоку размером 400х600 м. Блок расположен в ядре антиклинальной складки, ограниченной с юга Итмурындинским региональным разломом.

3.1.1 Стратиграфия

Протерозой-палеозойская система. Нерасчлененные верхнепротерозойские-нижнекембрийские отложения (PR_3 - E_1) получили развитие в северо-западной части района по Итмурындинскому разлому в виде блоков, расчлененных тектоническими разломами. Состоит из порфиритов, яшмы, алевролитов, песчаников, конгломератов, яшмокарцитов. Мощность данных отложений 1500-2000 м.

Верхнеордовикские (O_3) породы в районе слагают преимущественно осадочную толщу в юго-восточной части района, где слагают ряд блоков, ограниченных разрывными нарушениями. Литологически породы состоят из переслаивающихся зеленовато-серых песчаников, туфов, порфиритов, известняков и конгломератов. Мощность верхнеордовикских пород достигает 2000 м и более.

Силур (S) распространён на 1/5 части территории представлен песчаниками, алевролитами, туфопесчаниками, известняками, в

верхней части известняками, доломитами. Мощность отложений силура составляют 1000-1500м.

Нерасчленённые отложения девона и турнейского яруса ($D+C_{1t}$) широко развиты в районе. Они состоят из чередующихся крупногалечных конгломератов, песчаников, алевролитов с подчиненными прослоями туфов, туфопесчаников. Все породы смяты в складки с углами падения от 15 до 30-60°, разбиты разломами на небольшие блоки. Общая мощность толщи составляет 3200-4400 м.

Девонская система. Отложения представлены терригенными морскими образованиями *фаменского яруса (D_{3fm})*, в состав которых входят чередующиеся пачки разнозернистых песчаников, алевролитов, алевропесчаников, известняков, с редкими прослоями туфопесчаников. Мощности отдельных прослоев и пачек варьируют от первых сантиметров до нескольких десятков метров. Общая мощность отложений около 300 метров. Простираие пород девона субмеридиональное с мелкими флексурными перегибами, падение субширотное крутое (от 65 до 90°).

Отложения девонской системы занимают большую часть площади месторождения (западная и центральная части). К ним пространственно приурочена вся золоторудная минерализация.

Каменноугольная система. Отложения системы с угловым несогласием налегают на отложения девона. В составе каменноугольных отложений в районе месторождения Пустынное участвуют осадочные отложения *турнейского яруса (C_{1t})*. Они представлены зеленовато-серыми разнозернистыми песчаниками, алевролитами, алевропесчаниками, гравелитами, туфами смешанного состава. Наиболее развиты песчаники и алевролиты. Состав пород терригенные толщи преимущественно кварц-полевошпатовый, в цементе отмечается повышенное содержание карбонатов. Общая мощность турнейских отложений 250-470 м.

Четвертичные отложения (Q) представлены суглинками с угловатыми обломками коренных пород. Мощность отложений колеблется от 0,2 до 3,5 м.

Интрузивные образования на описываемой площади представлены *позднепротерозойским габбро-перидотитовым комплексом (σPR_3)*. Интрузия интенсивно метаморфизированных перидотитов темно-зеленовато-серого цвета, расположена в юго-западной части площади.

Дайковые отложения представлены небольшими, до нескольких десятков метров в длину, дайками керсантитов (σPP_1). Простираие даек северо-западное, северное, падение крутое (70-80°) на восток. Мощность колеблется от 2 до 20 метров. Контакты с вмещающими породами четкие, резкие, сопровождающиеся зонами закалки.

Рудовмещающие породы месторождения разорваны нарушениями северо-западного и северо-восточного направления.

Наиболее крупными из них являются нарушения северо-западного направления. Нарушения имеют характер сбросо-сдвигов. Амплитуда смещения по наиболее крупным из них достигает 30 м (при колебании от первых метров до 30 м). По данным ВЭЗ ВП и буровых работ разрывные нарушения имеют крутое (65-80°) падение.

Гидротермальные изменения в пределах рудных зон и по их периферии представлены интенсивным окварцеванием осадочных пород. Окварцевание проявляется в виде метасоматической проработки осадочных пород и разно ориентированных кварцевых прожилков и жил. Прожилковое окварцевание в песчаниках наиболее интенсивное и имеет штокверковый характер. Мощность прожилков от волосовидных до 2-3 мм. В алевролитах и алевропесчаниках прожилки чаще всего ориентированы вдоль слоистости.

Золотая минерализация распределяется весьма неравномерно. На фоне сравнительно убогого оруденения выделяются зоны (тела) кондиционных руд, разделенных некондиционными прослоями.

По результатам фазового анализа укрупненной технологической пробы 62,69 % золота связано с сульфидами, причем: 46,27 % коллоидно-дисперсного золота связано с сульфидами и низкотемпературным пиритом; 16,42 % – с высокотемпературным пиритом; 29,85 % золота, неравномерно распределенного, связано с жильным и метасоматическим кварцем и серицитом; 7,46 % связано с кварцем, находящимися в сростании с полевым шпатом. Месторождение относится к золото-кварц-сульфидной формации.

При изучении минералогического состава руд серебро не обнаружено. В групповых пробах его содержание составило 0,1-0,4 г/т. В лабораторной пробе (1988 г.) содержание серебра составило 0,61 г/т, при содержании золота 4,34 г/т.

Большую роль в формировании рудных зон играет литологический контроль. Концентрация золота и степень гидротермальной переработки в толщах песчаников и алевропесчаников выше, чем в алевролитах. Это объясняется разной степенью проницаемости пород и наличием углеродного и глинистого вещества. Алевролиты с повышенным содержанием углеродного вещества, превращенные в углисто-кремнистые алевролиты (сланцы), выступают в качестве экрана и практически не несут золотого оруденения.

3.2 Тектоника

Рудовмещающие породы разорваны дорудными нарушениями сбросо-сдвигового характера северо-западного и северо-восточного направлений. Наиболее крупными из них являются нарушения северо-западного простирания. Амплитуда смещения по ним достигает 30 метров (при колебаниях от первых метров до 30 метров), падение крутое – 65-80°. Очень часто разломы северо-восточного простирания

сопровождаются жильным окварцеванием и карбонатизацией. Разломы дорудные, так как по ним не отмечается существенных смещений рудных тел.

3.3 Гидрогеологические условия района

По гидрогеологическому районированию территория участка работ относится к бассейну трещинных вод Токрыауынского синклинория (Токрыауынский район) и занимает центральную часть Жонгаро-Балхашской геосинклинальной зоны, и ограничена с северо-запада Жамансарыуским антиклинорием, с северо-востока Шынгызской геосинклинальной зоной и с юга озером Балхаш. В геоморфологическом отношении район представляет собой южный склон Балхаш-Иртышского водораздела. Общий уклон поверхности наблюдается в сторону озера Балхаш.

В соответствии с геологическим строением и стратиграфическим расчленением пород по гидрогеологическим особенностям на описываемой территории выделяются следующие комплексы.

Локально-водоносный нижнечетвертичный-современный аллювиально-делювиально-пролювиальный горизонт ($adpQ_{I-IV}$).

Горизонт распространён повсеместно. Водовмещающие породы представлены суглинками, супесями, глинами с прослоями линз песков. Мощность данных отложений очень мала и местами увеличиваются до 10-15 м. Подземные воды вскрываются скважинами и колодцами на глубине 2,1-3,4 м. Водообильность пород очень низкая. Дебиты колодцев 0,001-0,02 дм³/сек. Коэффициенты фильтрации пород в супесях и суглинках не превышают десятых долей. По качеству воды различные, минерализация в пределах 1,6-19,8 г/дм³. По химическому составу подземные воды относятся к сульфатным и хлоридно-сульфатным.

Подземные воды горизонта имеют весьма незначительные запасы и практического значения не имеют.

Водоносная зона трещиноватости вулканогенно-осадочных верхне-среднекаменноугольных пород (C_{2-3tk}) приурочена к мелкогалечным конгломератам, средне- крупнозернистым песчаникам с горизонтами известняков, туфов и туффитов. Породы верхней части разреза разрушены и трещиноваты. Глубина распространения зоны активной трещиноватости около 40 м. Обособленное положение занимают участки зон тектонических нарушений, где дробленость пород значительно увеличивается.

Подземные воды в основном напорные, величина напора колеблется от 5 до 55 м. На площадях, где породы выходят на поверхность, воды безнапорные с глубиной залегания 5-15 м.

Дебиты родников, колодцев и скважин не превышают 0,5 л/с, увеличиваясь до 1, реже 5 л/с, в выработках, пройденных в зонах тектонических нарушений.

Минерализация и химический состав подземных вод зоны трещиноватости во многом зависят от интенсивности водообмена. На площадях с затрудненным водообменом, где водоносные слои, как правило, перекрыты толщей водоупорных глин, сформировались подземные воды с повышенной минерализацией (3-6 г/дм³). Вблизи областей питания минерализация не превышает 1 г/дм³. По химическому составу воды преимущественно гидрокарбонатно-сульфатные натриевые.

Пресные и солоноватые подземные воды могут использоваться для обводнения пастбищ и водоснабжения ферм, зимовок, животноводческих комплексов.

Водоносная зона трещиноватости преимущественно терригенно-осадочных фамен-турнейских пород ($D_{3fm}-C_{1t}$)

Зона развита в ядре антиклинальной складки, ограниченной с юга Итмурындинским региональным разломом, и распространена на площади месторождения Пустынное.

Водовмещающими являются разнотернистые песчаники с глинисто-кремнистым и карбонатным цементом, алевролиты кремнисто-глинистого состава, алевропесчаники с горизонтами гравелитов, туфопесчаников, туффитов и редкими линзами известняков.

Основные водоносные зоны трещиноватости вскрытых фамен-турнейских пород находятся преимущественно в интервале 2,5-18,9 м, редко в интервале 25-49,6 м. В целом отмечается высокая анизотропия водовмещающей среды как по площади, так и на глубину, при этом она наблюдается не только в области развития экзогенной трещиноватости, но и в зонах тектонических нарушений. Следствием этого является высокий процент безводных и малодебитных скважин, заданных в зонах тектонических нарушений или вблизи их.

Водообильность комплекса сравнительно низкая, дебиты скважин измеряются в основном десятками долями литра в секунду, достигая в отдельных случаях 1,0-3,4 дм³/с при понижении уровня подземных вод на 5,6-36,7 м. Непосредственно в контуре карьера подземные воды безнапорные и слабо напорные, залегают на глубине 1,1-18,9 м.

По качеству подземные воды изучаемой территории изменяются от пресных до солоноватых и соленых с минерализацией 0,6-20,4 г/дм³. При этом химический состав пресных вод гидрокарбонатно-сульфатный или сульфатно-гидрокарбонатный, натриевый и кальциево-натриевый, в составе солоноватых вод преобладают сульфатные и хлоридные анионы при увеличении катиона магния.

Воды комплекса могут быть использованы в качестве технического, реже питьевого водоснабжения.

Водоносная зона трещиноватости нерасчленённых девонских и турнейских терригенных пород ($D+C_{1t}$)

Зона имеет повсеместное распространение на описываемой территории.

Водовмещающие породы представлены песчаниками, конгломератами, алевролитами с прослоями туффитов, туфопесчаников. Мощность обводненной толщи колеблется от 25,0 до 40,0 м, увеличиваясь в зонах разломов от 50 до 70 м. Подземные воды залегают на глубине от 0,9 до 12,1 м. Дебиты скважин составляют 0,02-0,3 дм³/сек (скв. № 2, № 22), редко увеличиваясь до 0,8-1,17 дм³/сек (скв. № 31, № 56). Минерализация воды пёстрая и колеблется от 0,8 до 35,5 г/дм³. Воды в основном сульфатные и сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные.

Водоносная зона трещиноватости силурийских пород (S) распространена в южной, юго-восточной части района, вмещающие породы представлены конгломератами, алевролитами, песчаниками, с прослоями туфопесчаников. Трещинные воды вскрыты на глубине 1,1-3,4 м. Мощность обводненной толщи колеблется от 20,0 до 30,0 м. Дебит скв. № 7 составляет 0,04 дм³/сек при понижении 8,5 м. Минерализация подземных вод изменяется от 2,4 до 7,9 г/дм³, в среднем составляет 3-5 г/дм³. По химическому составу воды сульфатные, сульфатно-хлоридные, натриевые. Практическое значение этих вод не установлено.

Водоносная зона трещиноватости осадочно-метаморфических верхнепротерозойских-нижнекембрийских пород (PR₃-C_{1it}) незначительно распространена у южной границы рассматриваемой территории, приурочена к породам итмурындинской и казыкской свит: диабазовым порфиридам, спилитам, полимиктовым песчаникам, кремнистым породам, конгломератам и конгломерато-брекчиям с обломками габброидов и плагиогранитов. Краткая характеристика приводится по материалам соседних участков.

Подземные воды приурочены к верхней трещиноватой зоне и к зонам дробления с оперяющими их тектоническими трещинами. Они имеют в основном свободную поверхность с глубиной залегания уровня до 7 м.

Дебиты скважин обычно колеблются от 0,1 до 0,8 дм³/сек при понижении уровня подземных вод на 4-20 м.

По качеству подземные воды преимущественно пресные с минерализацией до 1 г/дм³ гидрокарбонатного состава, на площадях с затрудненным водообменом минерализация повышается до 3-5 г/дм³.

Использование подземных вод возможно при небольшой потребности и сравнительно небольшой минерализации.

Водоносная зона трещиноватости верхнепротерозойских-палеозойских основных и ультраосновных пород (uPR₃-PZ) имеет распространение в центральной и северо-восточной части района. Водовмещающие породы представлены кремненными алевролитами, сланцами, туфами, порфиридами, пироксенитами, серпентинитами и

передотитами. Мощность обводненной толщи колеблется от 20,0 до 30,0 м, увеличиваясь в зонах разломов от 50 до 70 м. Дебит составил 1,5 дм³/сек при понижении уровня на 5 м. Скважина № 39, пройденная в серпентинитах, имела дебит 0,003 дм³/с при понижении 30,3 м. Подземные воды залегают на различной глубине от 1,0 до 8,7 м. Минерализация воды изменяется от 3,2 до 6,0 г/дм³. По химическому составу вода сульфатная, сульфатно-хлоридная, кальциевая, натриевая.

Рассматриваемая территория, как показывают результаты гидрогеологических съёмок масштаба 1:200 000, располагает незначительными ресурсами пресных подземных вод. На ней преобладают солоноватые и солёные подземные воды зоны открытой трещиноватости палеозойских пород, а также интрузивных образований. Породы по площади обводнены очень неравномерно и часто бывают безводными.

3.4 Гидрогеологические условия месторождения

Подземные воды развиты повсеместно, но ввиду отсутствия горных пород с высокой пористостью в условиях острого дефицита влаги (испаряемость почти на порядок превышает количество атмосферных осадков) крупных скоплений подземных вод не образуется.

В зависимости от характера водовмещающих пород выделены следующие гидрогеологические подразделения.

Локально-водоносный делювиально-пролювиальный верхнечетвертичный-современный горизонт (dpQ_{III-IV}) развит вдоль временных водотоков, в логах и ложбинах.

Отложения представлены глинами и суглинками с линзами супесей, песков с дресвой и щебнем. Мощность отложений от 1 до 6 м.

Водоносными являются маломощные линзы и прослои песков, гравия. Производительность скважин, колодцев не превышает сотых долей дм³/с.

Подземные воды от сульфатно-хлоридных при минерализации до 1,5 г/дм³ до хлоридных натриевых при минерализации 8-10 мг/дм³.

Водоносная зона трещиноватости вулканогенно-осадочных верхне-среднекаменноугольных пород (C_{2-3tk}) приурочена к мелкогалечным конгломератам, средне-, крупнозернистым песчаникам с горизонтами известняков, туфов и туффитов. Глубина распространения зоны активной трещиноватости около 40 м.

На площадях, где породы выходят на поверхность, воды безнапорные с глубиной залегания 5-15 м.

Дебиты водопунктов не превышают 0,5, редко достигают 1 дм³/с в зонах интенсивной трещиноватости.

На площадях с затрудненным водообменом сформировались подземные воды с повышенной минерализацией (3-6 г/дм³). Вблизи

областей питания минерализация не превышает 1 г/дм³. По химическому составу воды преимущественно гидрокарбонатно-сульфатные натриевые.

Водоносная зона трещиноватости преимущественно осадочных фамен-турнейских пород ($D_{3fm-C_{1t}}$) распространена на площади месторождения Пустынное. Водовмещающими являются разнотекстурированные песчаники с глинисто-кремнистым и карбонатным цементом, алевролиты кремнисто-глинистого состава, алевропесчаники с горизонтами гравелитов, туфопесчаников, туффитов и редкими линзами известняков.

Фамен-турнейский водоносный комплекс изучен по 19-и скважинам – №№ 1г-4г, 8г, 10г-15г, 17г, 19г, 22г, 23г, 203, 205, 002ГТ, 005ГТ), последние четыре расположены в контуре месторождения.

По данным скважинной геофизики основные водоносные зоны трещиноватости вскрытых фамен-турнейских пород находятся в интервале 2,5-18,9 м, за исключением скважины № 19, где они установлены в интервале 25-49,6 м. В целом отмечается высокая анизотропия водовмещающей среды по площади и на глубину. Отмечается высокий процент безводных и малодебитных скважин, в том числе заданных в зонах тектонических нарушений или вблизи их.

Водообильность комплекса сравнительно низкая, дебиты скважин измеряются в основном десятками долями литра в секунду, достигая в отдельных случаях, 1,0-3,4 дм³/с (скв. №№ 19э, 1э) при понижении уровня подземных вод на 5,6-36,7 м. Непосредственно на месторождении Пустынное дебиты скважин изменяются от 0,01 до 0,1 дм³/с при понижении уровня подземных вод на 21,1-36,7 м.

Подземные воды безнапорные и слабо напорные, залегают на глубине 1,1-18,9 м.

По качеству подземные воды изменяются от пресных до солоноватых и соленых, с минерализацией 0,6-20,4 г/дм³. При этом химический состав вод гидрокарбонатно-сульфатный, сульфатно-гидрокарбонатный, натриевый и кальциево-натриевый, сульфатный.

Воды комплекса используются для хозяйственного водоснабжения рудника Пустынное (скв. №№ 1э, 6э и 19э).

Водоносная зона трещиноватости преимущественно терригенно-осадочных нижнесилурийских пород (S_1) развита на северо-востоке территории. Водовмещающими являются зеленовато-серые песчаники, переслаивающиеся с бордово- и зеленовато-серыми алевролитами и аргиллитами.

Гидрогеологическая характеристика этих отложений приводится по прилегающей к рассматриваемой территории, на которой скважины и колодцы имеют дебит от сотых до десятых долей литра в секунду. Воды безнапорные, уровни устанавливаются на глубине 1,9-5,1 м. Воды солоноватые с минерализацией 2,9-5,7 г/дм³, преимущественно сульфатные.

Водоносная зона трещиноватости осадочно-метаморфических верхнепротерозойских-нижнекембрийских пород (PR₃-C_{1it}) незначительно распространена у южной границы рассматриваемой территории, приурочена к диабазовым порфирирам, спилитам, полимиктовым песчаникам, кремнистым породам, конгломератам и конгломерато-брекчиям с обломками габброидов и плагиогранитов. Краткая характеристика приводится по материалам соседних участков.

Подземные воды приурочены к верхней трещиноватой зоне и к зонам дробления. Они имеют в основном свободную поверхность с глубиной залегания уровня до 7 м.

Дебиты скважин обычно колеблются от 0,1 до 0,8 дм³/с при понижении уровня подземных вод на 4-20 м.

Подземные воды преимущественно пресные с минерализацией до 1 г/дм³ гидрокарбонатного состава, на площадях с затрудненным водообменом минерализация повышается до 3-5 мг/дм³.

Водоносная зона трещиноватости разновозрастных интрузивных пород (γ) широко распространена на юге территории, изучена 7 гидрогеологическими скважинами №№ 5г-7г, 18г, 20г, 21г, 24г. Водовмещающими породами являются в основном темно-зеленые метаморфизованные габбро, пироксениты, серпентиниты, реже граниты, гранодиориты, гранит-порфиры.

По данным геофизических исследований скважин №№ 5г и 6г основные водоносные зоны трещиноватости находятся в интервале 8-19,8м.

Подземные воды вскрываются скважинами на глубине 3,8-10,2 м. Дебиты скважин изменяются от 0,1 до 0,6 дм³/с при понижении уровня воды на 7,6-10,4 м.

По качеству подземные воды слабосоленоватые и соленые с минерализацией 1,1(6э)-4,8(5э) г/дм³, сульфатного и хлоридно-сульфатного натриевого состава.

На месторождении и в районе отсутствуют условия для накопления значительного количества подземных вод.

3.5 Источники и особенности формирования подземных вод

Основным источником питания трещинных и трещинно-жильных подземных вод являются атмосферные осадки. Наряду с абсолютным количеством осадков на формирование подземных вод большое влияние оказывает режим их распределения по временам года и соотношение осадков и испарения.

Решающую роль в пополнении естественных ресурсов принадлежит осадкам зимне-весеннего периода. Инфильтрация атмосферных осадков зависит от структурно-геоморфологического положения, мощности перекрывающих отложений, физического состояния водовмещающей среды и пр.

В полупустынных условиях северного Прибалхашья при значительной величине испарения питание подземных вод за счет атмосферных осадков происходит только на площадях распространения хорошо обнаженных трещиноватых пород, слагающих возвышенные формы рельефа, которые развиты к северу от месторождения, где значительная роль в питании принадлежит временным водотокам и поверхностному стоку.

4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА ЗА СОСТОЯНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Как известно, начальный период работы горного предприятия характеризуется обычно резко нестационарным режимом фильтрации, когда в зоне влияния карьерного водоотлива происходит интенсивная сработка статических запасов водоносных пластов (зон трещиноватости). Продолжительность этого периода зависит от многих факторов, но в первую очередь она определяется интенсивностью дренажа, емкостными свойствами водоносных пород и т.д.

Режим уровней подземных вод на месторождении и в ближайших окрестностях определяется сочетаниями (преобладание и/или отсутствие) постоянного дренирующего влияния карьера, эксплуатируемых водозаборных скважин, дополнительным питанием в районе хвостохранилища и прудов накопителей и периодической, как правило, незначительной инфильтрации атмосферных осадков.

С 1990 по 2007 г. золоторудное месторождение Пустынное отрабатывалось карьерным способом до горизонта 427 м. Сведения о притоке подземных вод в период отработки карьера отсутствуют. По данным в 2006 г. водоприток составлял 150-200 м³/сут, водоотлив отсутствовал, вода собиралась в зумпфе и ее вывозили автоцистернами на участок кучного выщелачивания.

Минимальное положение уровней подземных вод практически во всех скважинах отмечалось в 2006 году, когда, по мнению авторов работы [10], сказалось влияние отработки месторождения Пустынное и эксплуатации скважин №№ 1г, 6г.

«После приостановления отработки карьера к 2011 году уровни восстановились до положения 1997 года практически во всех скважинах (в некоторых скважинах превысили его)» [1, стр. 64, 65].

До 2014 г. мониторинг подземных вод на месторождении Пустынное не проводился. Выполнялись лишь разовые замеры уровня воды в разведочных скважинах и отбор проб воды.

С 2014 г. силами АО «АК Алтыналмас» начат мониторинг по скважинам (2г, 3г, 5г, 8г, 17г, 19г, 22г, 24г, 3укв, 15укв), пробуренным на стадии разведки месторождения, для изучения режима следующих гидрогеологических подразделений:

- водоносная зона трещиноватости терригенных фамен-турнейских пород ($D_{3fm}-C_{1t}$) (скважины 1г, 2г, 3г, 8г, 10г, 19г, 22г и 17г);
- водоносная зона трещиноватости осадочно-метаморфических верхепротерозойских-нижнекембрийских пород ($PR_3-\epsilon_{1it}$) (скважины 6г, 24г);
- водоносная зона трещиноватости разновозрастных интрузивных пород (γ) (скважина 5г);

- локально-водоносный верхнечетвертичный современный делювиально-пролювиальный горизонт (dpQ_{III-IV}) на Участке кучного выщелачивания (скважины 3укв и 15укв).

В связи с тем, что режимная сеть не позволяла контролировать воздействие техногенных объектов на подземные воды вблизи потенциальных источников влияния (карьер, хвостохранилище, ЗИФ, пруд накопитель), в 2014 году было пробурено 12 наблюдательных скважин глубиной 20 м на следующих объектах:

- в северной, западной и южной частях хвостохранилища (скважины 201сн, 202сн, 203сн, 204сн и 212сн);
- восточнее автозаправочной станции (скважина 205сн);
- западнее пруда-накопителя технических вод (скважина 206сн);
- в северо-восточной части породного отвала, между складом металлолома и полигоном ТБО (скважины 207сн, 208сн);
- восточнее вахтового поселка (скважина 209сн);
- северо-западнее и севернее ЗИФ (скважины 210сн, 211сн).

Мониторинг подземных вод проводился согласно «Инструкции по организации и ведению режимных наблюдений...» и в соответствии с проектом организации и ведения мониторинга подземных вод Горно-металлургического предприятия (ГМП) «Пустынное», согласованным с МД «Центрказнедра» (протокол № 32-ПРМ от 24.07.2014 г.).

При выполнении мониторинга подземных вод выделялась группа показателей, являющихся контрольными величинами – глубина динамического уровня в эксплуатационной скважине при работе насоса и статического уровня при простое скважины, производительность водозабора, химический состав воды.

С 2014 по 2019 г. результаты мониторинга на регулярной основе представлялись в МД «Центрказнедра». На их основе производилась оценка изменения режима и баланса подземных вод в результате эксплуатации месторождения.

В состав работ по мониторингу входили следующие виды работ:

- измерения уровня и температуры воды в скважинах;
- прокачка наблюдательных скважин;
- гидрохимическое опробование;
- измерение глубины скважин;
- приборный учет водоотбора;
- анализ результатов химико-аналитических работ;
- фиксация водоприток в карьер;
- камеральные работы и составление отчета.

Замеры уровня подземных вод производились в скважинах три раза в месяц в период паводка (март-май) и один раз в месяц в остальное время года (июнь-февраль). Замеры статического уровня подземных вод в эксплуатационных скважинах производились перед включением скважины, динамического – перед отключением.

Измерения температуры проводились термометром ТМ-10. Замеры выполнялись четыре раза в год одновременно с отбором проб воды на химический анализ. По данным многолетних наблюдений температура в течение года остается постоянной в пределах 13-15°C².

Подготовка водопунктов к опробованию заключалась в прокачке скважин эрлифтом продолжительностью 0,5 бр/см для удаления застойной воды.

Изучение качества подземных вод производилось путем отбора проб воды на химический анализ из скважин с частотой четыре раза в год по сезонам года.

Отбор проб дренажных и поверхностных вод проводился непосредственно из зумпфа карьера, пруда-накопителя и озера Балхаш.

Определение химического состава воды выполнялось аттестованными аккредитованными лабораториями.

Объем извлекаемых подземных вод в период работы насосного оборудования водозаборных скважин фиксировался ежедневно по счетчику. Объем извлекаемых дренажных вод определялся косвенным методом по производительности насоса и времени его работы.

Авторы работы [10] считают, что уровни 2011 г. приблизительно соответствовали природным естественным (кроме эксплуатируемых скважин №№ 1г, 6г), после 2011 г. уровни суммарно отражали дренирующее влияние карьера и водозаборных скважин №№ 1г и 6г.

Положение динамических уровней на глубинах 10,5-20,4 м в очагах дренирования (скважины №№ 1г, 6г, наблюдательная №24г) и на удалении 34-53 м от них (скважины №№ 002ГТ и 005ГТ) при естественных 2-4 м (скважины 2г, 3г, 4г, 5г, 8г, 10г, 17н, 205, 207, 208, 209, 212) позволяет сделать следующие выводы:

- массив трещинных вод слабо сдренирован;
- дренирующая способность карьера Пустынный исчерпана (глубина 135 м, сдренированный уровень в 34 и 53 м от борта 12,7-20,1м);
- наиболее вероятная глубина динамических уровней при совершенном дренировании массива – 20 м;
- эксплуатационные запасы подземных вод по скважинам 1г и 6г более величин фактической добычи;

² Среднегодовая температура подземных вод на наш взгляд некорректна. Как правило для грунтовых вод она соответствует среднегодовой температуре воздуха в регионе.

- эксплуатационные запасы подземных вод по скважинам №№ 2г, 5г, 8г не затронуты существующей дренажной системой.

В анализе ранее выполненных работ [10] авторы отмечают следующее:

1. Определенная часть питания подземных вод идет за счет поверхностных вод реки Токрау, фильтрующихся в рельеф местности и перетекающих по разломам.

2. На территории участка месторождений подземный поток существует только по тектоническим трещинам и направлен на юг.

С первым выводом нельзя согласиться потому, что река Токрау протекает на значительном удалении от исследуемой территории. Отметки реки существенно ниже по сравнению с участком. В формировании подземных вод участвуют только атмосферные осадки.

По второму выводу поток направлен не только по тектоническим трещинам, но и зоне активной трещиноватости, которая возникла за счет выветривания. За счет того, что территория разделена на два суббассейна, сформировалось два потока – на юго-запад и северо-запад. В целом базисом эрозии является оз. Балхаш, куда и направлен региональный поток подземных вод.

После 2019 г. обобщение материалов мониторинга за состоянием подземных вод не проводилось.

На фоне общего установившегося режима в водоносной зоне трещиноватости четко прослеживаются сезонные колебания уровней.

Минимальное положение уровня фиксируются в феврале – начале марта. С повышением температуры воздуха и переходом её нулевой отметки, в конце марта - начале апреля происходит подъём уровней воды. Подъём вызван активным таянием снега, накопившегося за зимний период (ноябрь-март). Осадки, выпадающие в период с апреля по октябрь, полностью расходуются на испарение и транспирацию и в питании подземных вод не участвуют (рис. 4.1).

При средних суммарных годовых осадках 134 мм количество инфильтрационного питания достигает в среднем 11-15 мм, а остальная часть расходуется на испарение и транспирацию растениями. Величина коэффициента инфильтрации составляет 0,10 м/сут.

В целом условия формирования подземных вод неблагоприятные из-за аридного климата, низких емкостных параметров. Скудность питания подземных вод обусловила слабую обводненность пород и повышенную минерализацию подземных вод.

Спад уровней наблюдается с конца апреля – начала мая и продолжается вплоть до февраля.

Амплитуда колебания для ненарушенных условий изменяется в пределах 1,22-3,35 м, что свидетельствует о сравнительно низкой водоотдаче (недостатке насыщения) и активной трещиноватости пород.

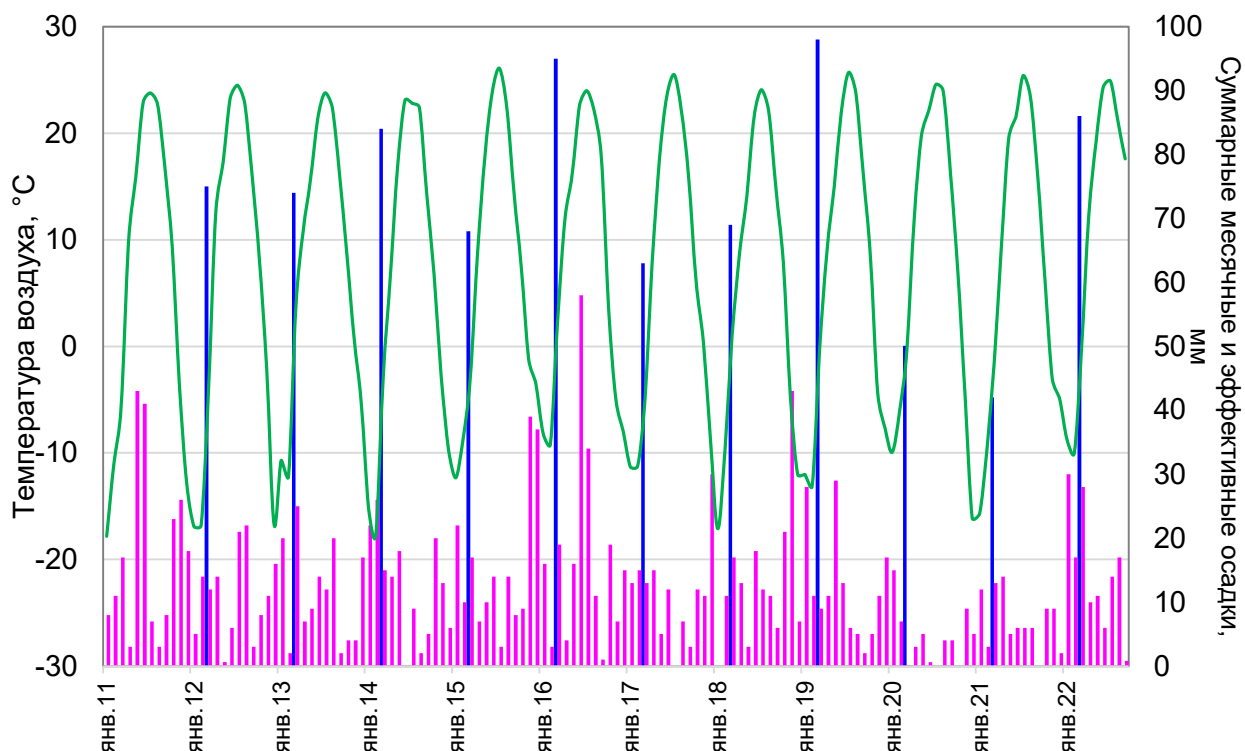


Рисунок 4.1 – График изменения среднемесячных температур воздуха, суммарных месячных осадков и эффективных осадков по м/с г. Балхаш.

Толщина слоя воды, просачивающаяся в водоносную зону трещиноватости в течение года может быть определена по зависимости:

$$W = 1000\mu A, \quad (4.1)$$

где W – инфильтрация, мм; μ – водоотдача; A – амплитуда колебания уровня, м.

Анализ данных по изменению уровней в наблюдательных скважинах за период 2014-2022 гг. позволил выделить 5 типов режима подземных вод, характеризующих гидрогеологические условия объекта и влияние на них техногенных факторов (рис. 4.2).

1. Ненарушенный (естественный) режим подземных вод, не подверженный влиянию техногенных факторов, регистрируемый по скважинам (2г, 3г, 5г, 8г, 10г, 17г, 20г) (рис. 4.3).

2. В районе добычи подземных вод (скважины №№ 1г, 6г и 24г) (рис. 4.4).

3. В области дренирующего влияния карьера, фиксируемый по скважинам (005GT, 19г, 22г, 207 и 208) (рис. 4.5).

4. В области питания подземных вод за счёт действующих карт хвостохранилищ (скважины №№ 202, 203, 204 и 205) (рис. 4.6).

5. В области питания подземных вод в районе ЗИФ и прудов накопителей технических вод (206, 210, 211, 212, Зукв, 15укв) (рис. 4.7).

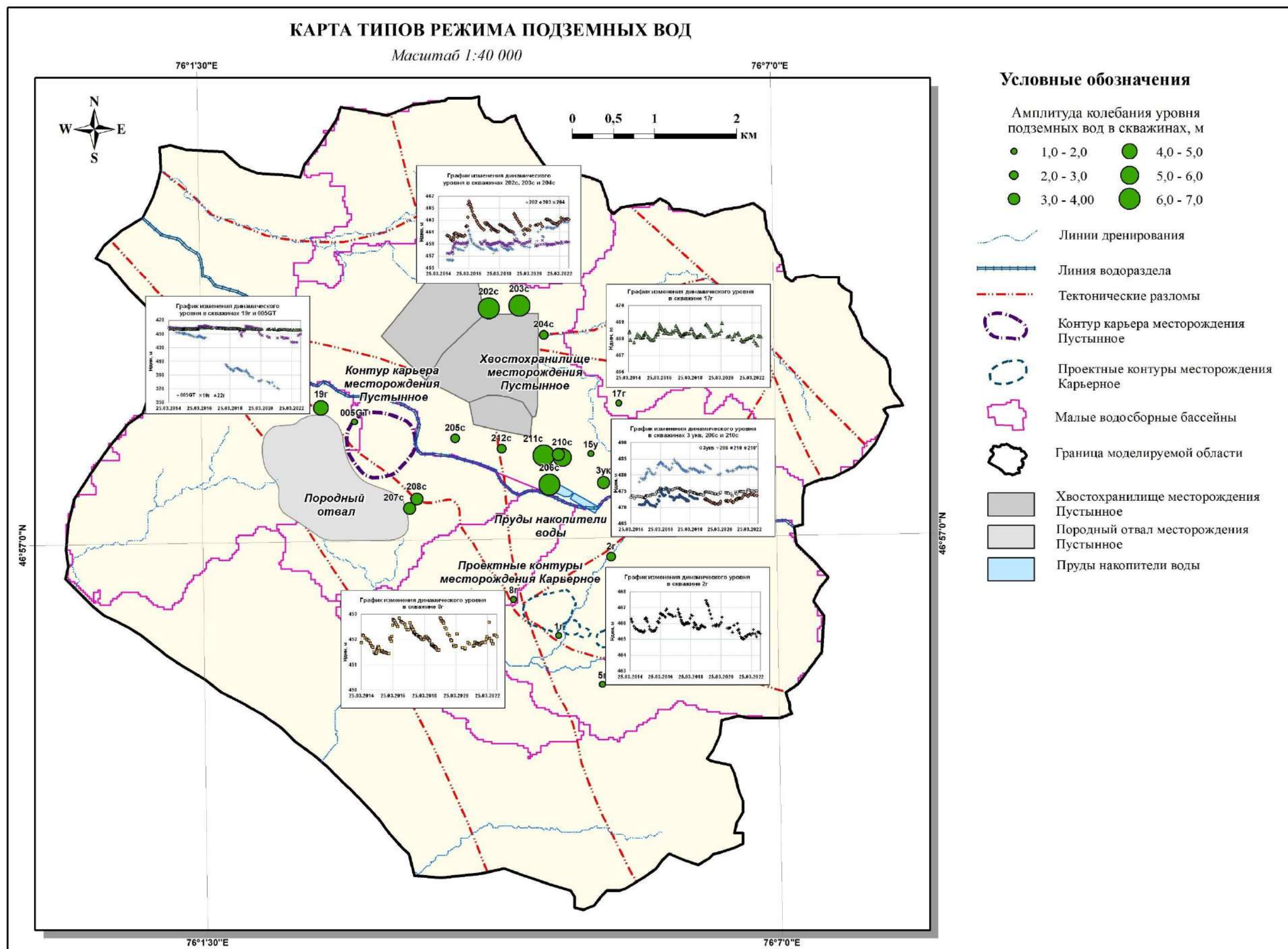


Рисунок 4.2 – Карта типов режима подземных вод в пределах исследуемой территории

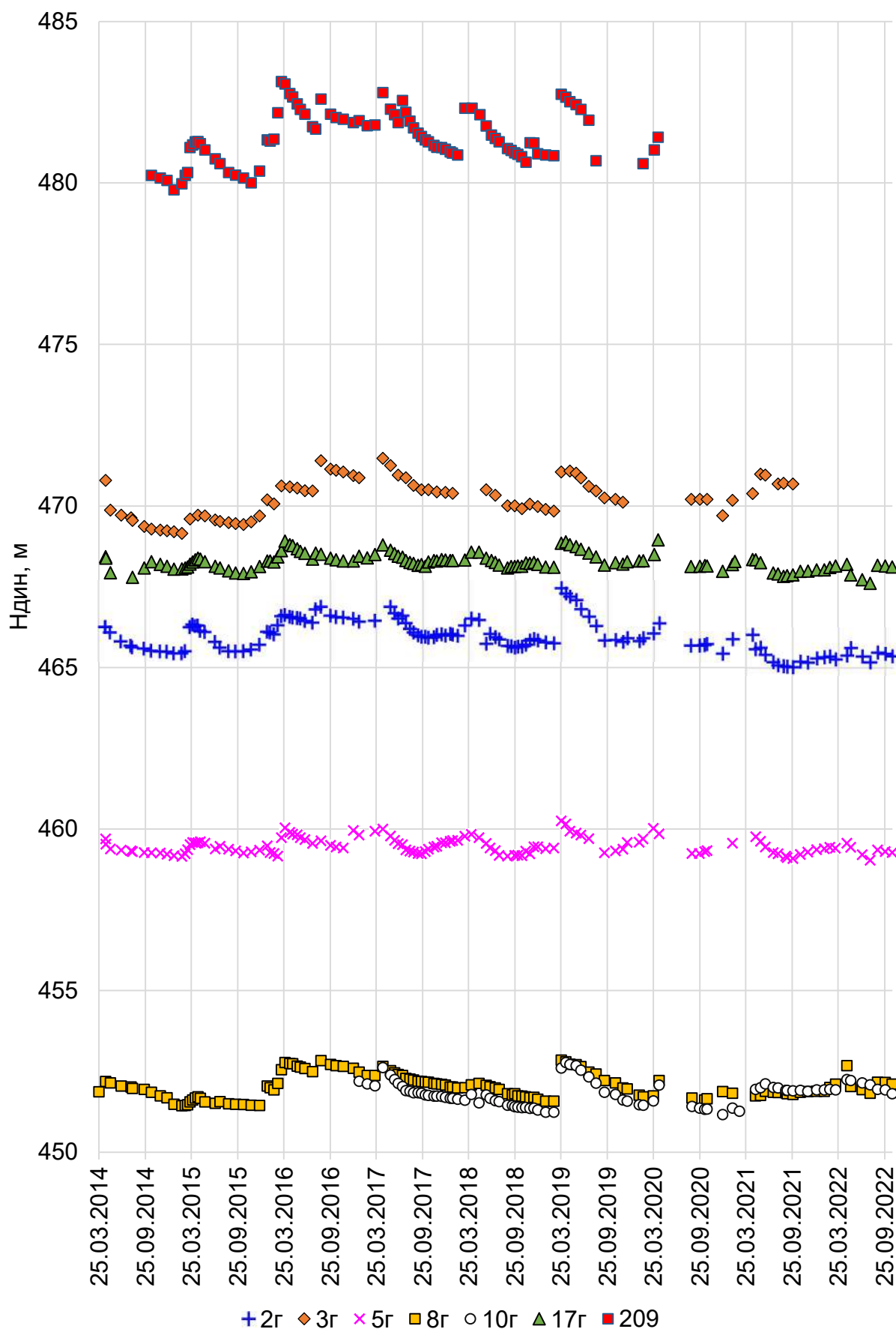


Рисунок 4.3 – Графики изменения динамического уровня воды в наблюдательных скважинах №№ 2г, 3г, 5г, 8г, 10г, 17г и 209 характеризующих ненарушенный режим подземных вод

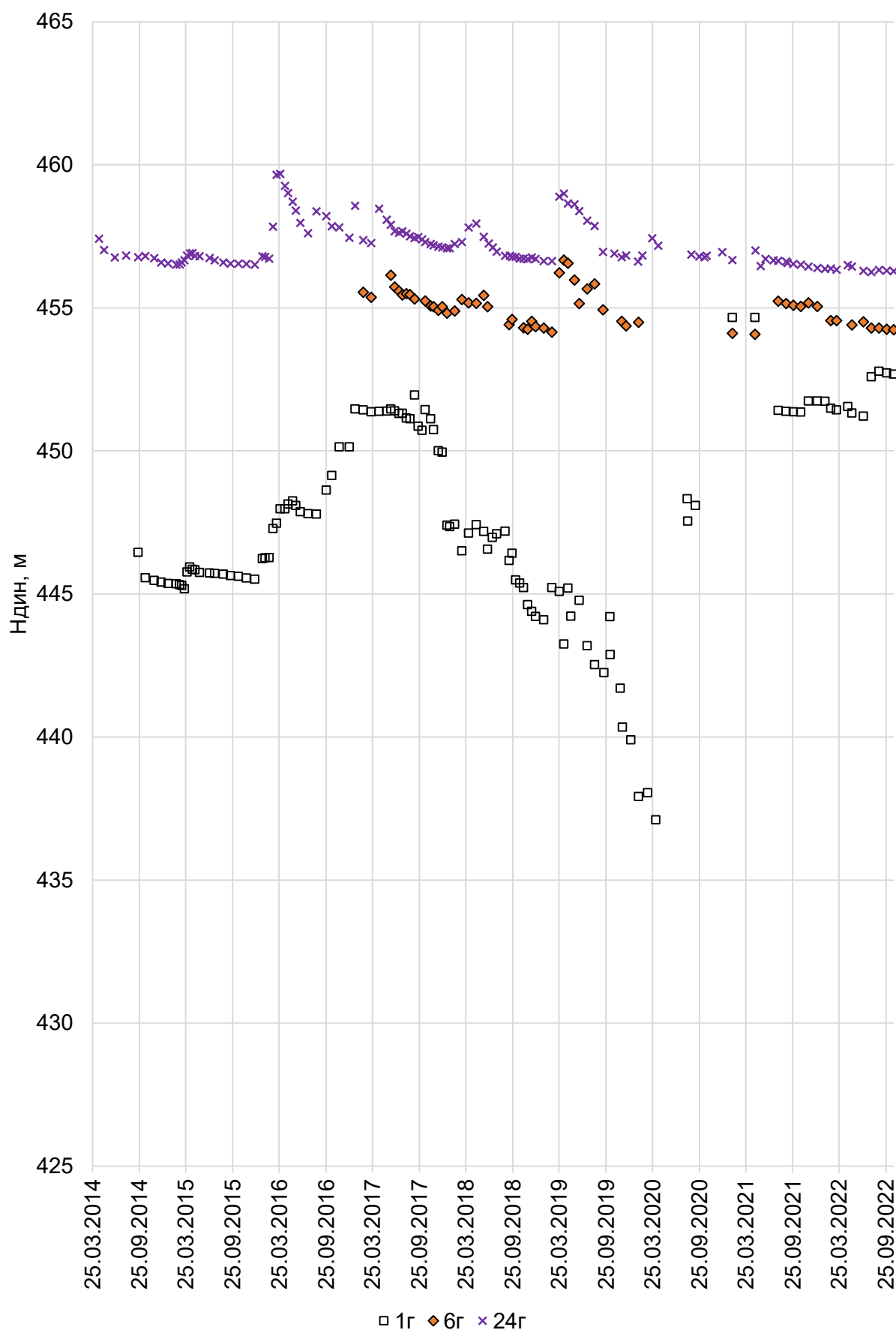


Рисунок 4.4 – Графики изменения динамического уровня воды в наблюдательных скважинах №№ 1г, 6г и 24г характеризующих режим подземных вод на участке их добычи

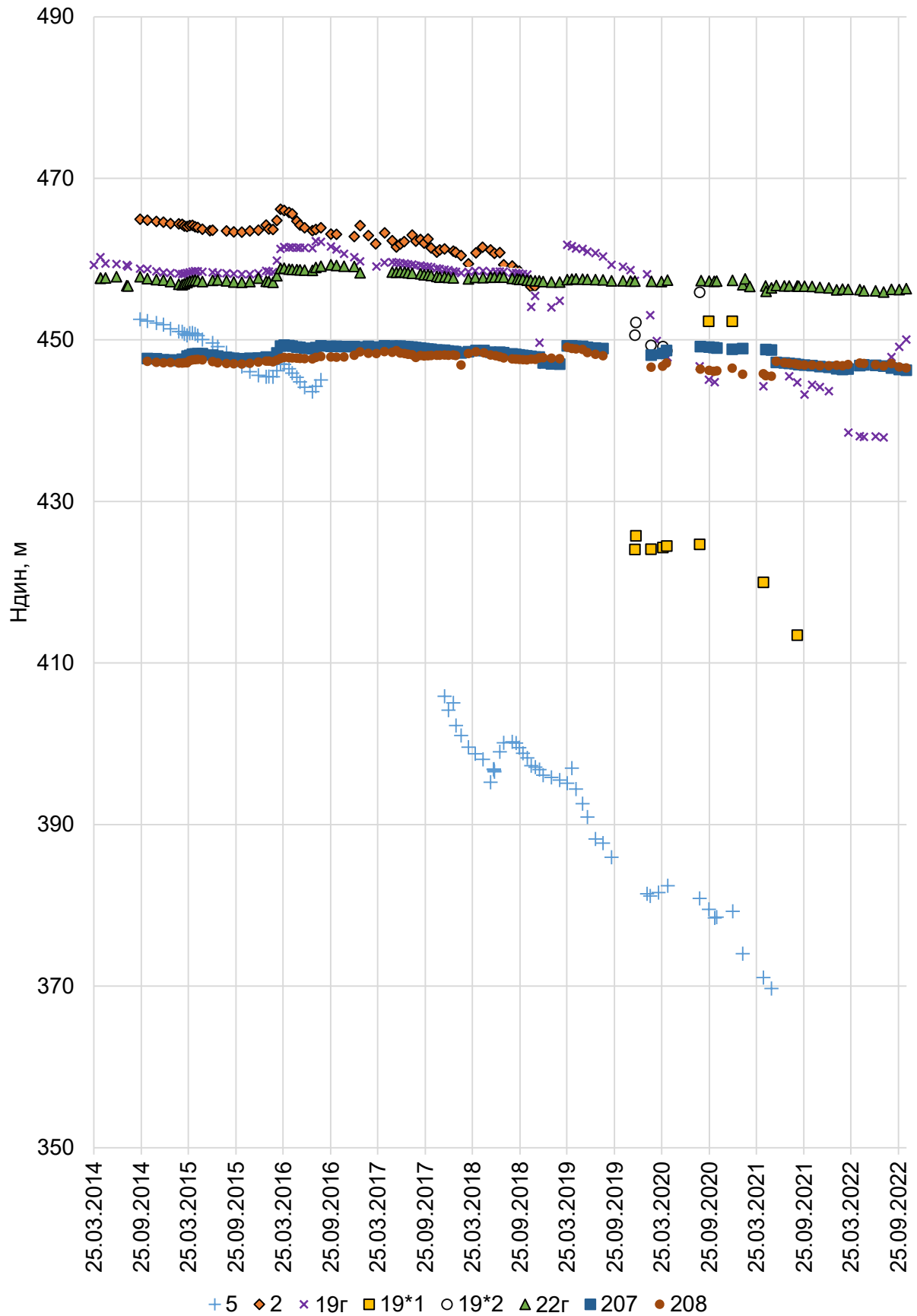


Рисунок 4.5 – Графики изменения динамического уровня воды в наблюдательных скважинах №№ 005GT, 002GT, 19г, 22г, 207сн и 208сн, расположенных в пределах возможной области дренирующего влияния карьера

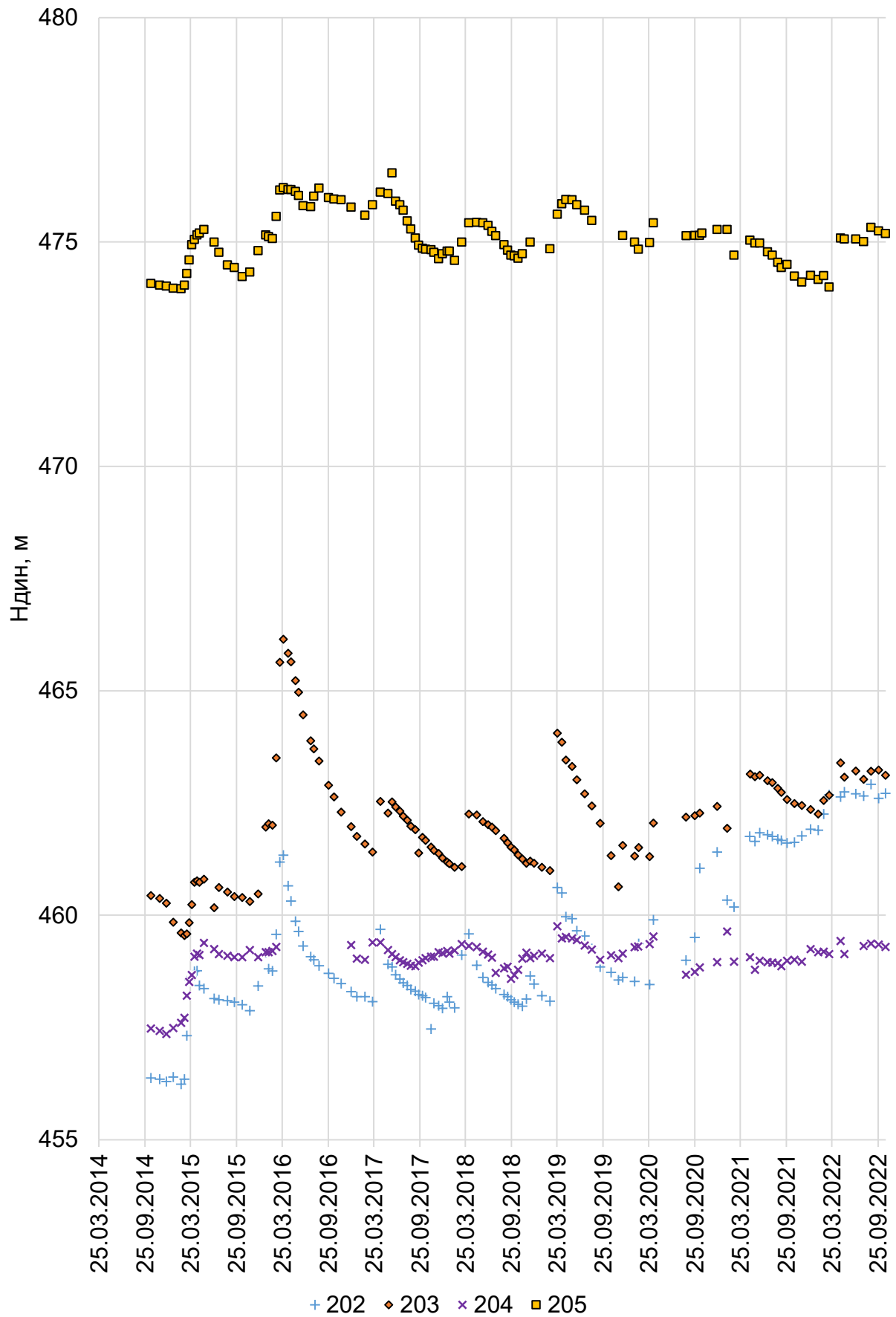


Рисунок 4.6 – Графики изменения динамического уровня воды в наблюдательных скважинах №№ 202сн, 203сн, 204сн и 205сн, расположенных в районе хвостохранилища

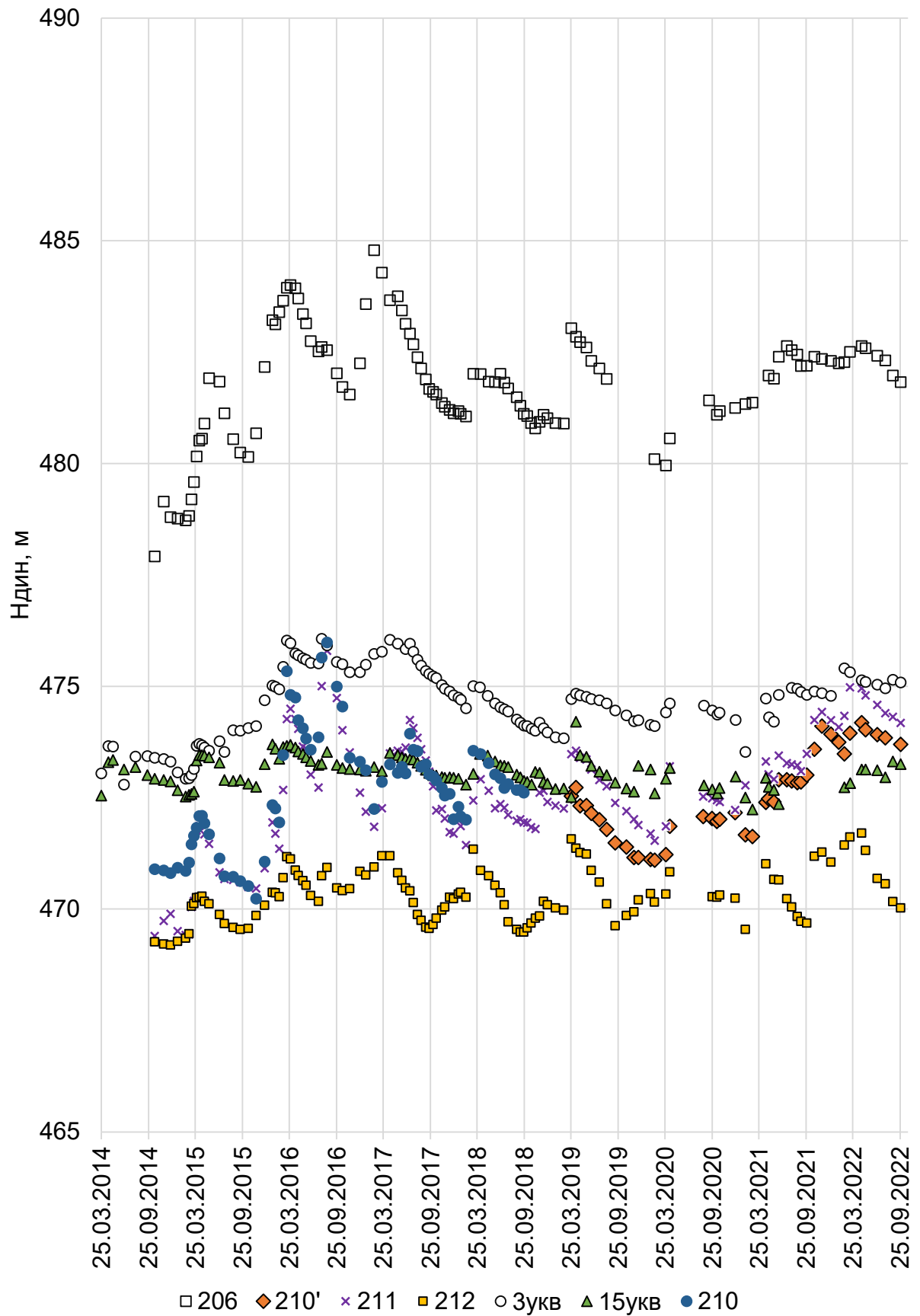


Рисунок 4.7 – Графики изменения динамического уровня воды в наблюдательных скважинах №№ 206сн, 210сн, 211сн, 212сн, Зукв и 15укв, расположенных вблизи ЗИФ, области влияния прудов накопителей технических вод и участка кучного выщелачивания

Одной из целей выполнения научно-исследовательской работы была оптимизация наблюдательной сети скважин.

Обобщение накопленного материала позволило выявить и устранить систематические и случайные ошибки, допущенные при фиксации уровней, формировании отчётных данных.

Статистическая обработка временных рядов уровней подземных вод по ряду скважин, расположенных в пределах объекта исследований, показывает их тесную взаимосвязь (коэффициенты корреляции 0,76-0,94). Это говорит о дублировании информации по 50 % скважин (рис. 4.8-4.13).

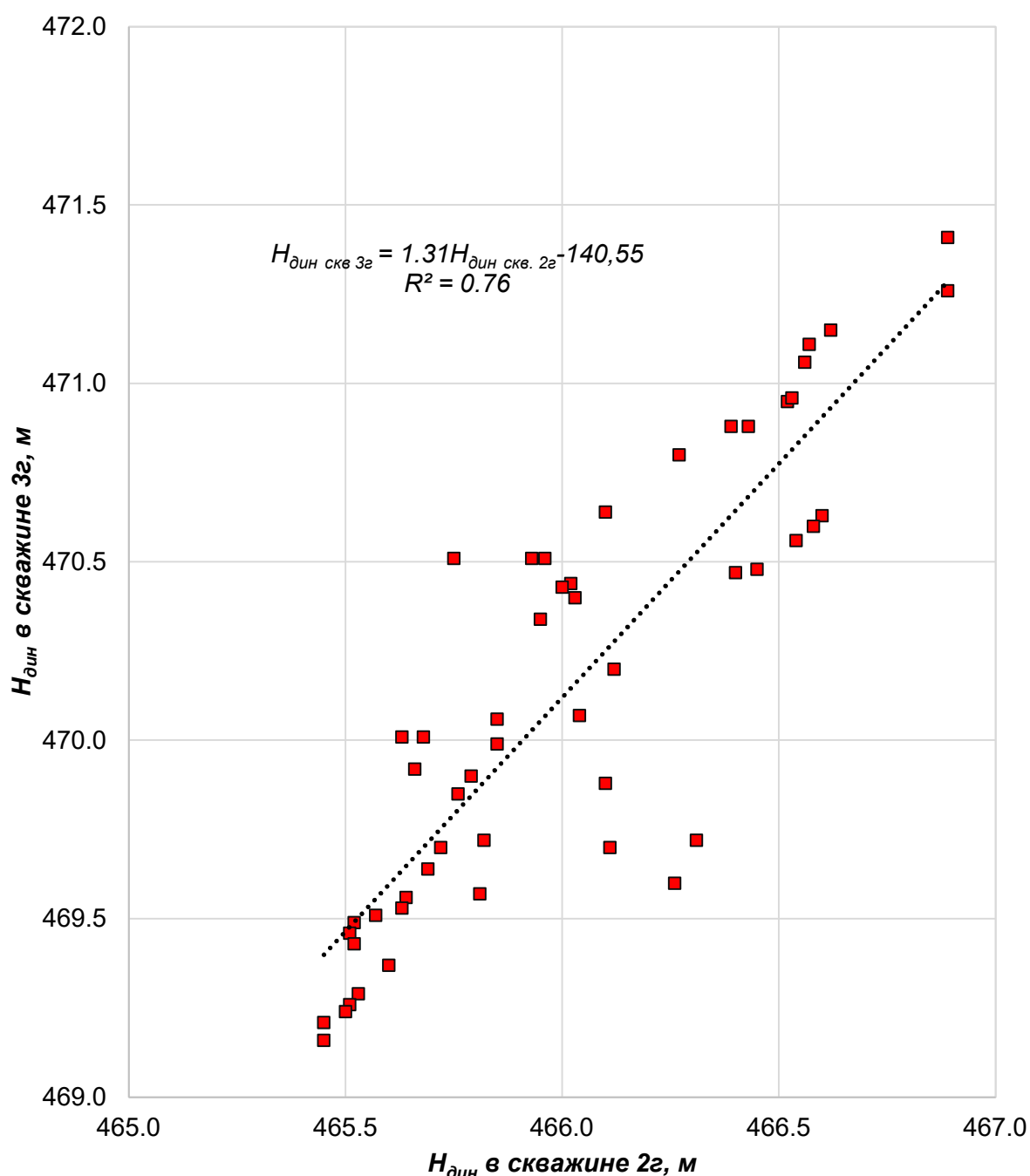


Рисунок 4.8 – Соотношение динамических уровней воды в наблюдательных скважинах №№ 2г-3г

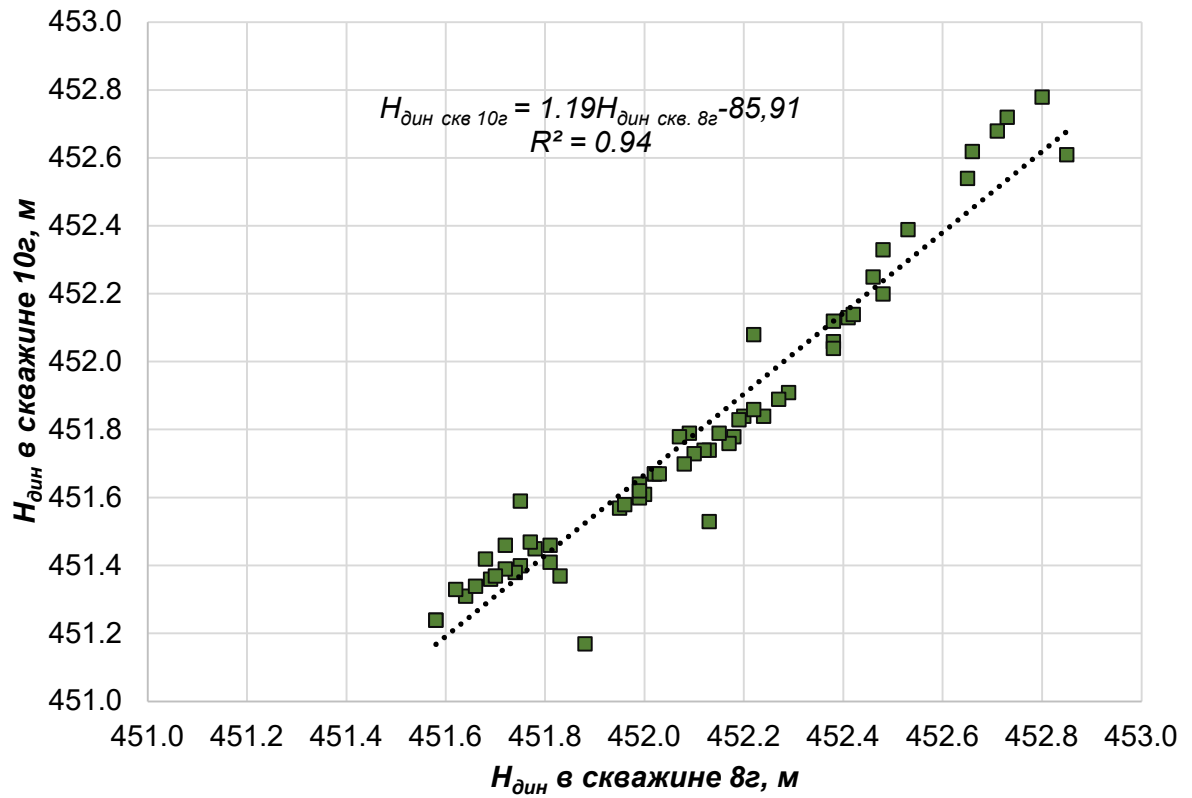


Рисунок 4.9 – Соотношение динамических уровней воды в наблюдательных скважинах №№ 8г-10г

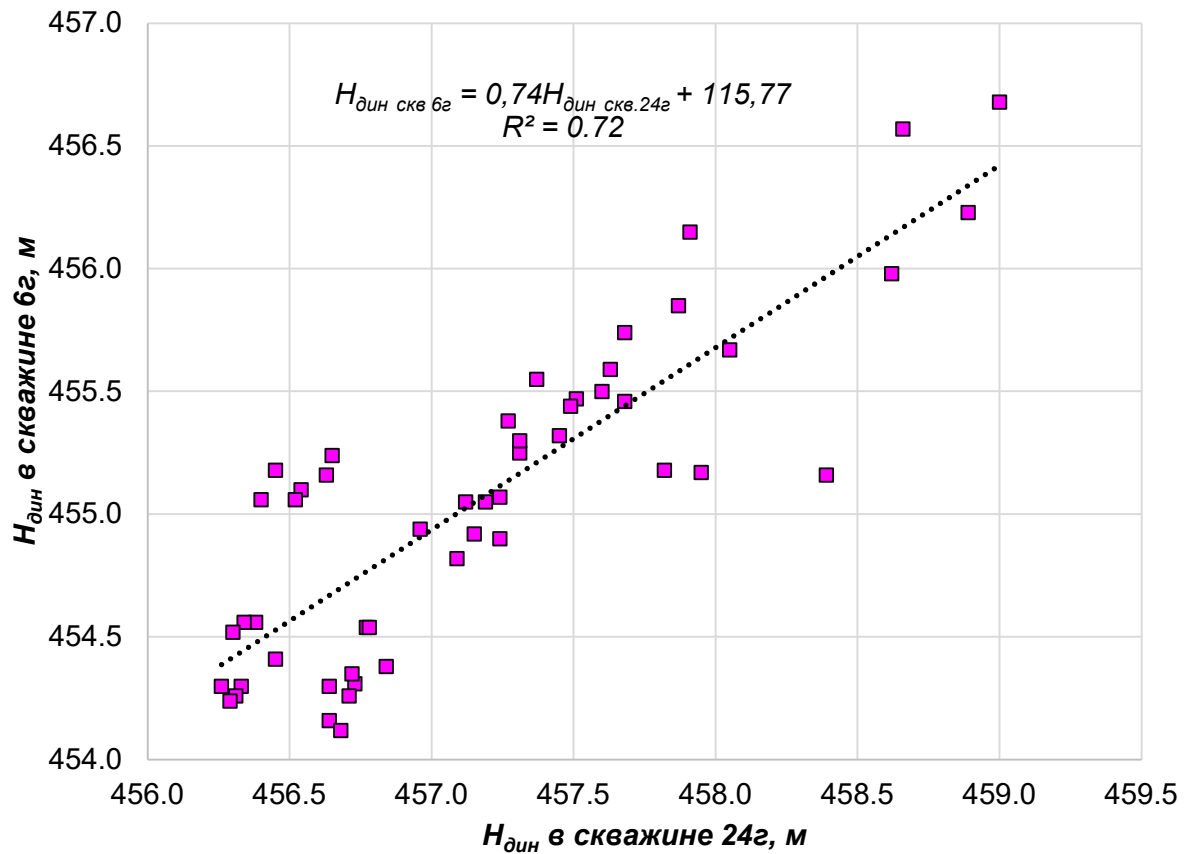


Рисунок 4.10 – Соотношение динамических уровней воды в наблюдательных скважинах №№ 6г-24г

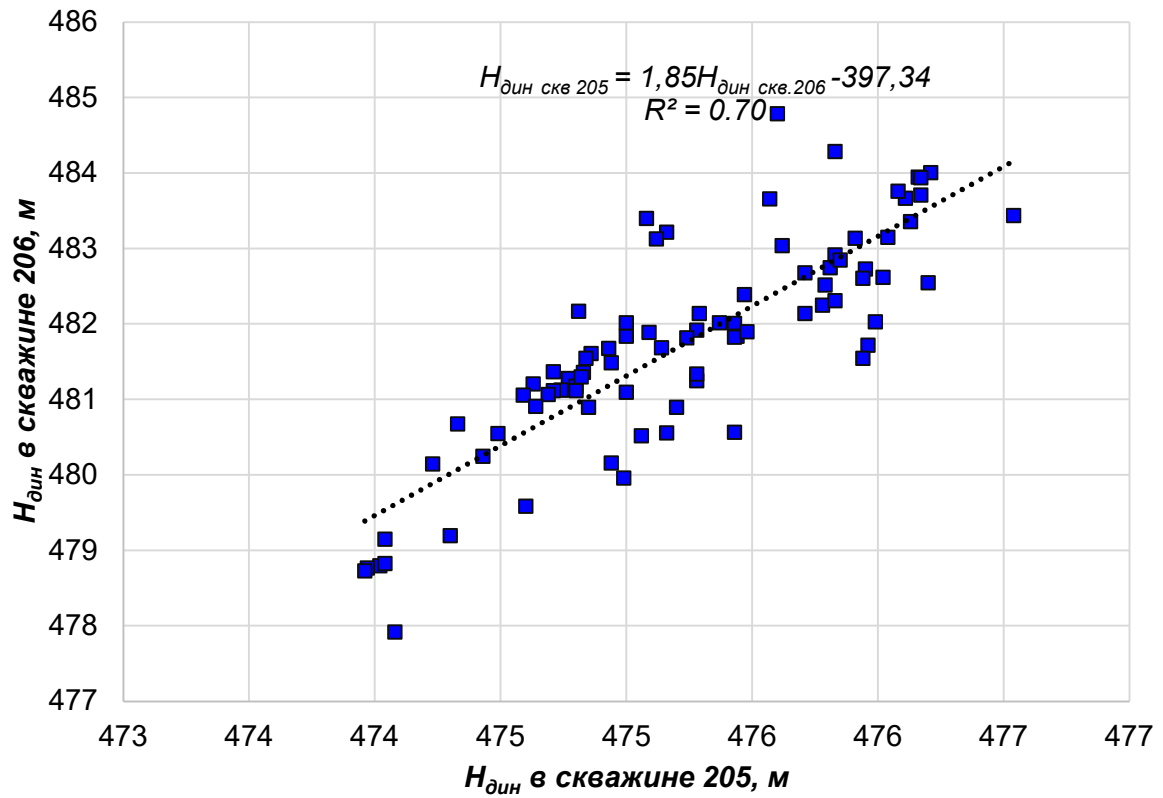


Рисунок 4.11 – Соотношение динамических уровней воды в наблюдательных скважинах №№ 205–206

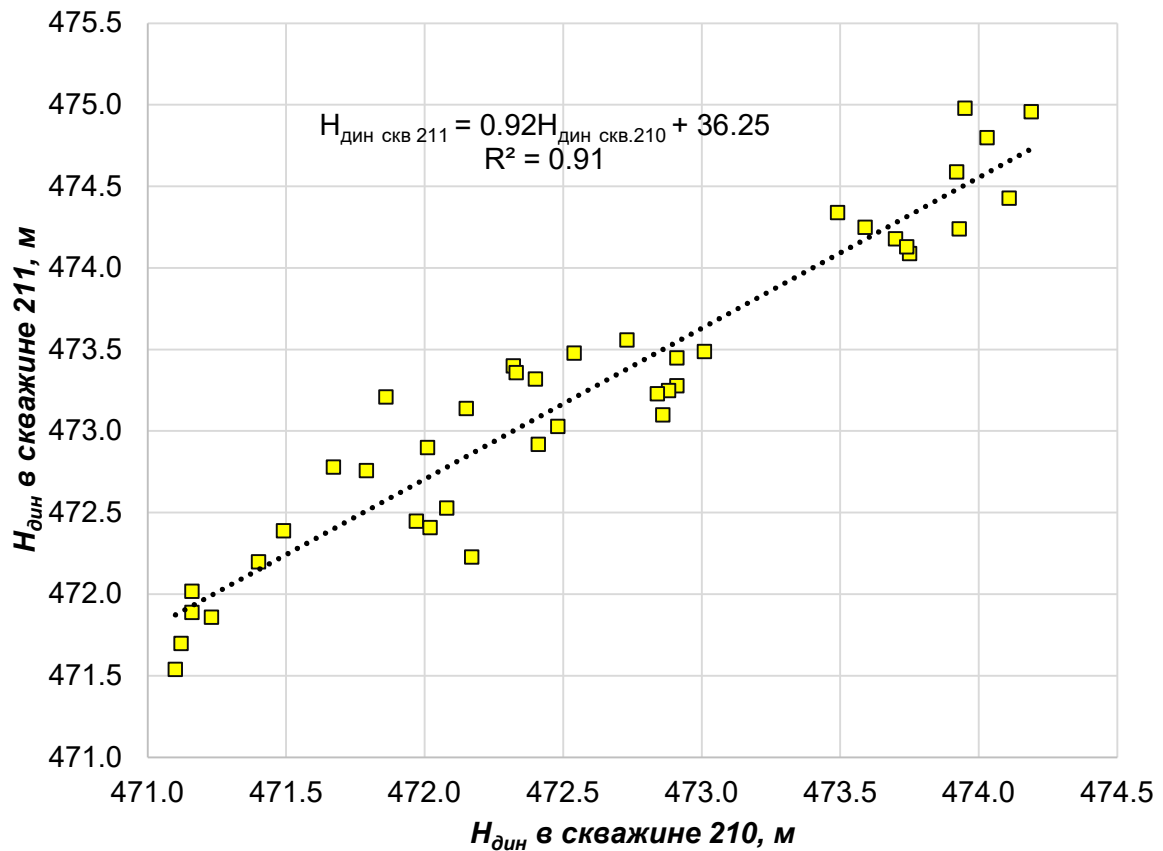


Рисунок 4.12 – Соотношение динамических уровней воды в наблюдательных скважинах №№ 210–211

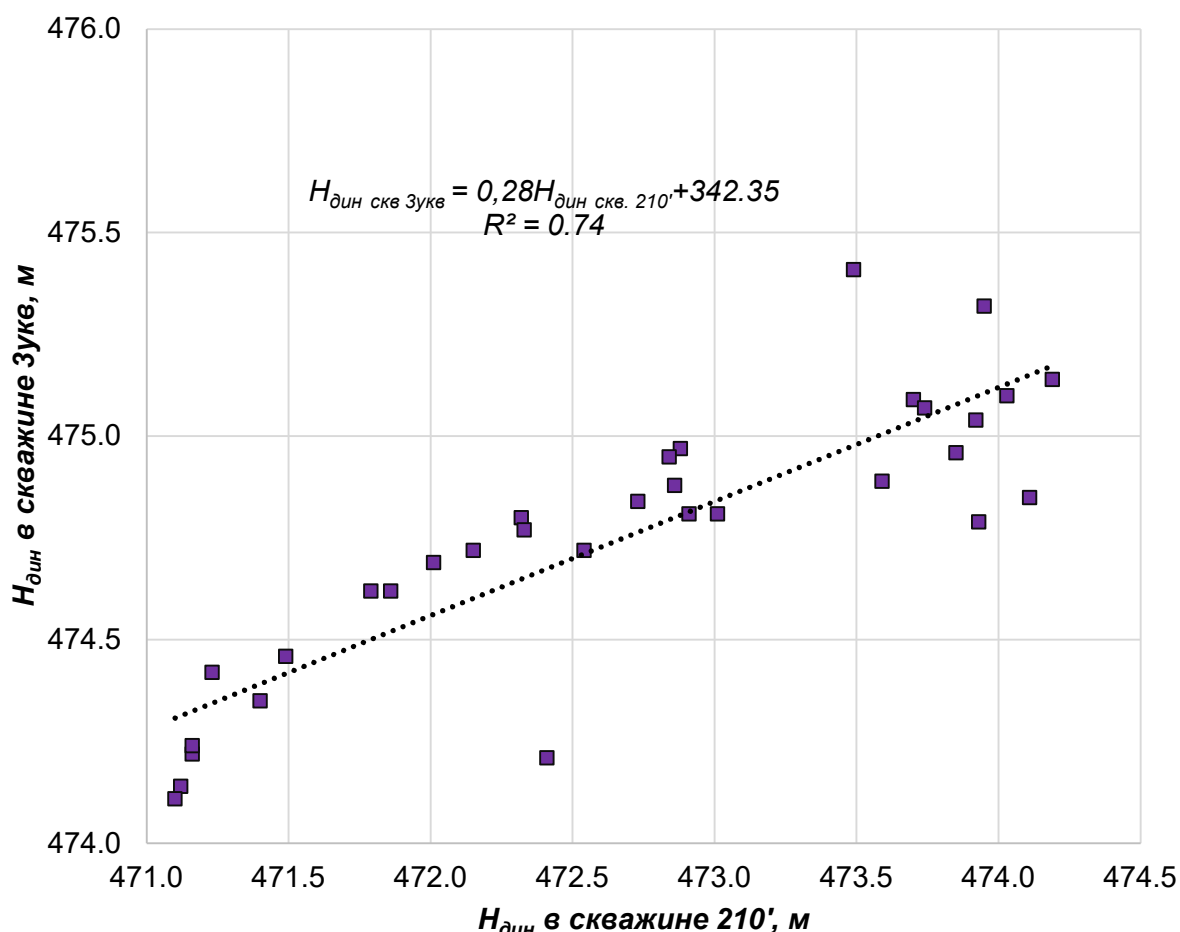


Рисунок 4.13 – Соотношение динамических уровней воды в наблюдательных скважинах №№ Зукв-210'

Представленные в качестве доказательства графики соотношений уровней в скважинах подтверждают необходимость оптимизации мониторинговой сети, т.е. сокращения количества точек наблюдений в местах их дублирования и увеличения количества на территориях, для которых существует определенный недостаток гидрогеологической информации.

4.1 Результаты химико-аналитических исследований

В процессе проведения гидрогеологических исследований, оценки запасов и мониторинга, отобранные пробы воды направлялись в различные лаборатории и аналитические центры.

За период 1997–2021 гг. химико-аналитические исследования выполнялись следующими лабораториями, представленными в таблице 4.1.

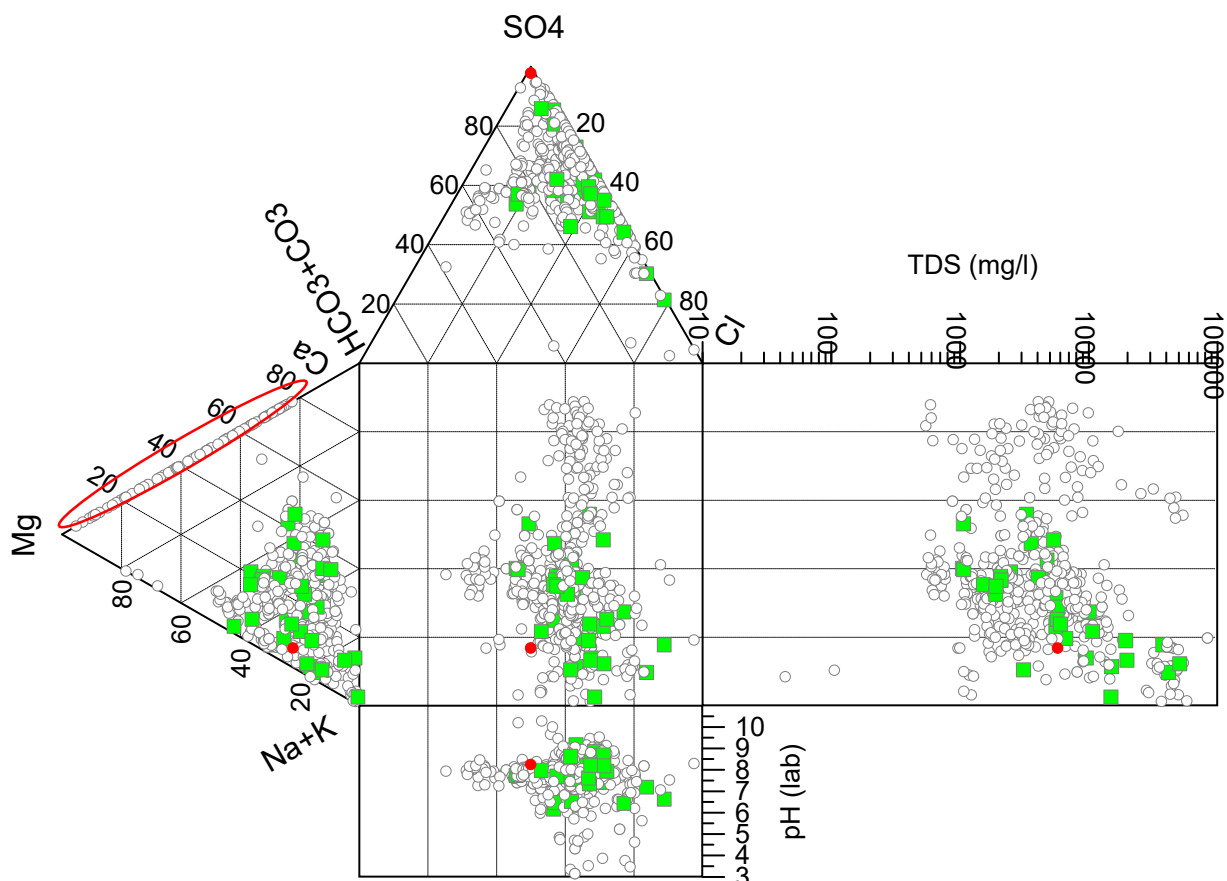
В 2022 г. в ходе выполнения настоящей научно-исследовательской работы было выполнено обследование территории с гидрохимическим опробованием с целью получения дополнительной информации и оценки качества проведения исследований проб воды.

Обобщение большого объема данных по проведенным исследованиям за период 1997-2022 гг. позволило определить химический состав подземных вод, их минерализацию и другие качественные показатели.

Было уделено значительное внимание сопоставлению результатов химико-аналитических исследований, выполненных в разных лабораториях. Для этого были построены временные диаграммы содержания основных катионов и анионов в воде. Для визуализации химического состава, определения пределов минерализации и pH были построены диаграммы Дурова и Пайпера.

Всего было проанализировано 650 анализов проб воды, отобранных в пределах исследуемой территории за 25-летний период.

Из общего объема проб порядка в 10–15% не определялись основные макрокомпоненты химического состава, минерализация, водородный показатель и другие компоненты. Это обусловило некорректную интерпретацию и искажение химического состава части проб воды. На диаграмме, представленной ниже, четко видно, что в выстроенных в одну линию точках (выделенных красным овалом) не определялась концентрация натрия.



Серые точки соответствуют историческим данным за 1997–2021 гг., зеленые – контрольным опробованиям в 2022 гг.

Рисунок 4.14 – Диаграмма химического состава воды за период 1997–2022 гг.

Таблица 4.1 – Перечень лабораторий, выполнявших химико-аналитические исследования проб воды, отобранной в пределах месторождения Пустынное

Год	1997	2005	2006		2011	2012	2014		2015			2016		2017		2018		2019	2020	2021									
Наименование лаборатории	Карагандагеология	КарГИИЗ	АЭС	АЭС	ЭкоНус	Карагандагеология	ЭкоНус	КОЦСЭЭ	ЭкоНус	ЭкоНус	Казгидромет	НАЦ	ЭкоНус	GIOTRADE	КОЦСЭЭ	Экоэксперт	Центргеолналит	Казгидромет	GIOTRADE	Казгидромет	Центргеолналит	GIOTRADE	Центргеолналит	Центргеолналит	Биосфера	Центргеолналит	Центргеолналит	Центргеолналит	ЦАИЭИ

Исходя из факторов воздействия объектов месторождения Пустынное на подземные воды было выделено 5 групп скважин, расположенных вне влияния карьера, на участке добычи подземных вод, в районе хвостохранилища, в зоне влияния ЗИФ, на участке кучного выщелачивания, около прудов накопителей воды, на территории склада ТБО и в пределах дренирующего влияния карьера.

В первую группу включены скважины №№ 6г, 8г, 22г, 24г, расположенные вне зоны существенного влияния техногенных объектов на подземные воды. Ниже представлены графики изменения катионного и анионного состава подземных вод по выделенной группе скважин (рис. 4.15–4.17).

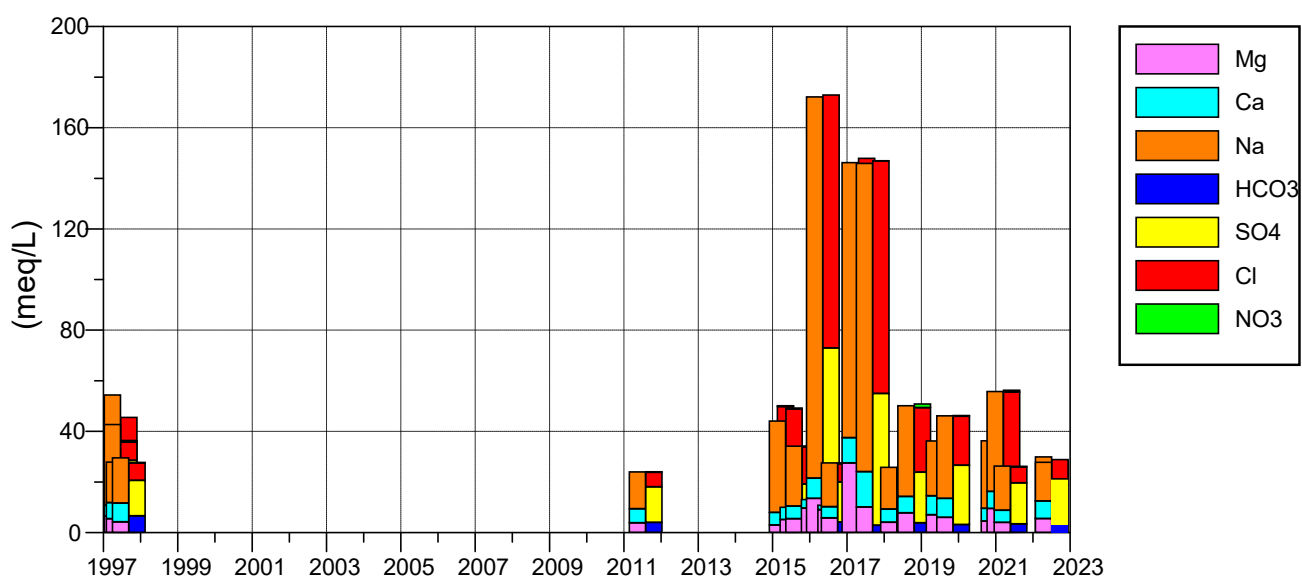


Рисунок 4.15 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 8г

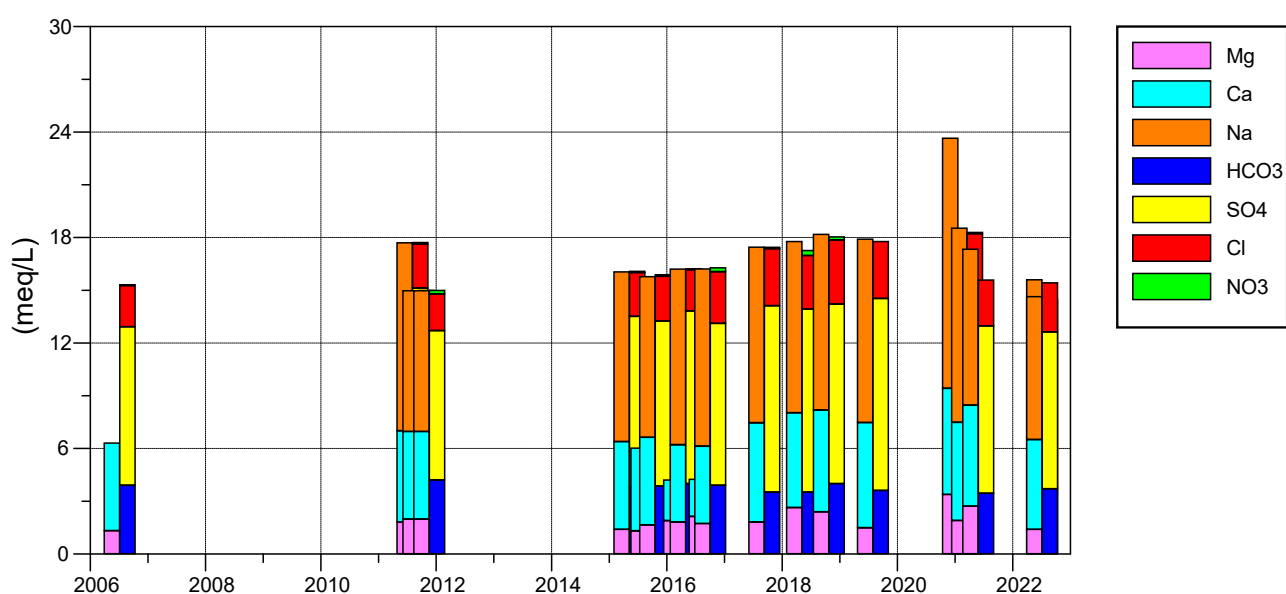


Рисунок 4.16 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 22г

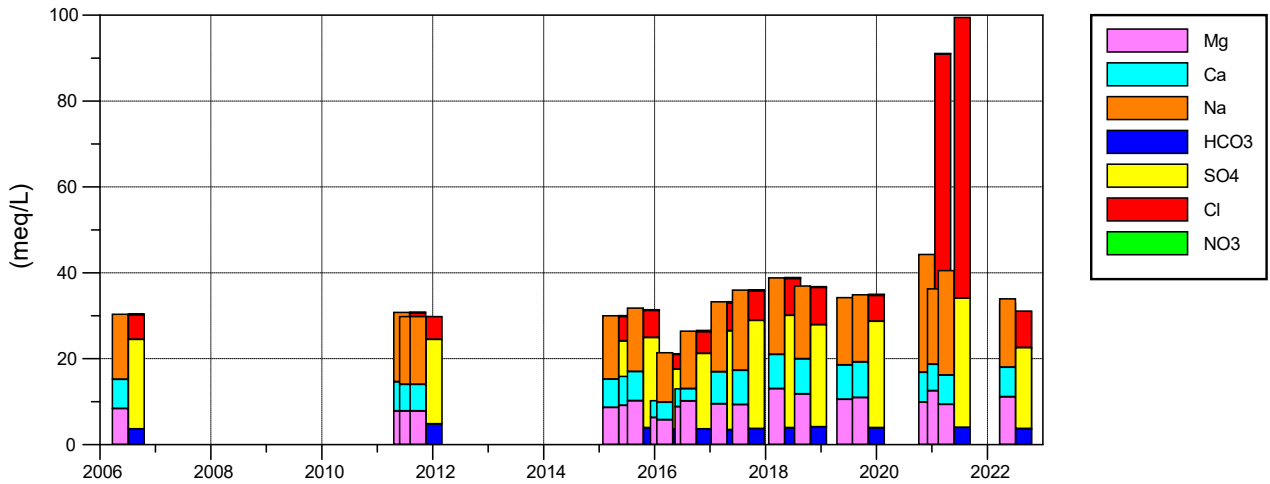


Рисунок 4.17 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 24г

Во вторую группу были включены скважины №№ 1г, 2г и 6г, которые расположены в пределах участка, где осуществлялась добыча подземных вод. Ниже представлены графики изменения катионного и анионного состава подземных вод по выделенной группе скважин (рис. 4.18-4.20).

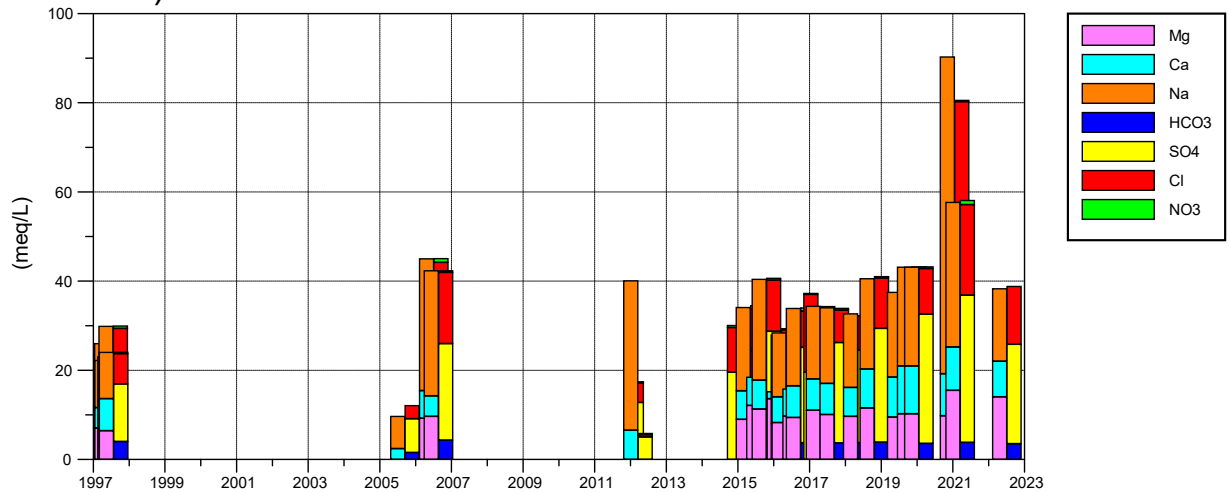


Рисунок 4.18 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 1г

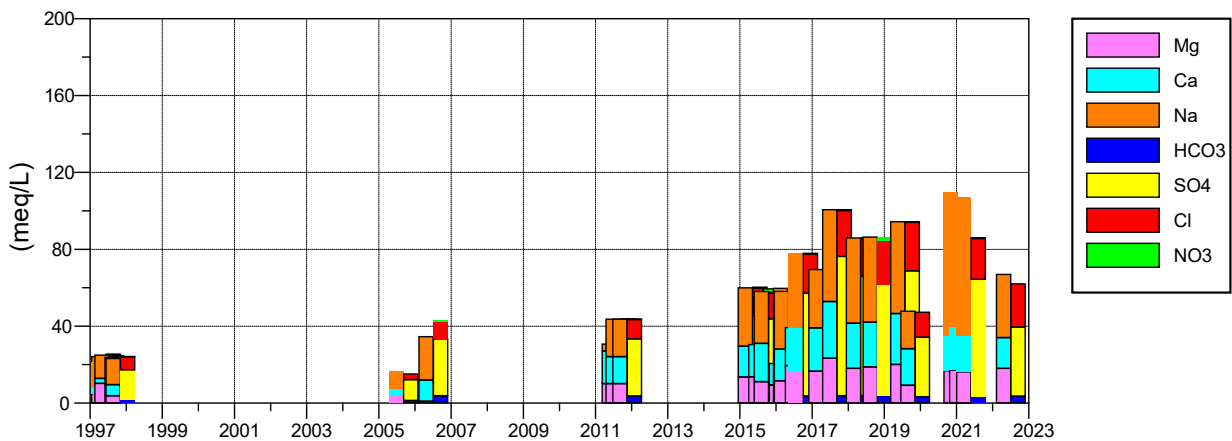


Рисунок 4.19 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 2г

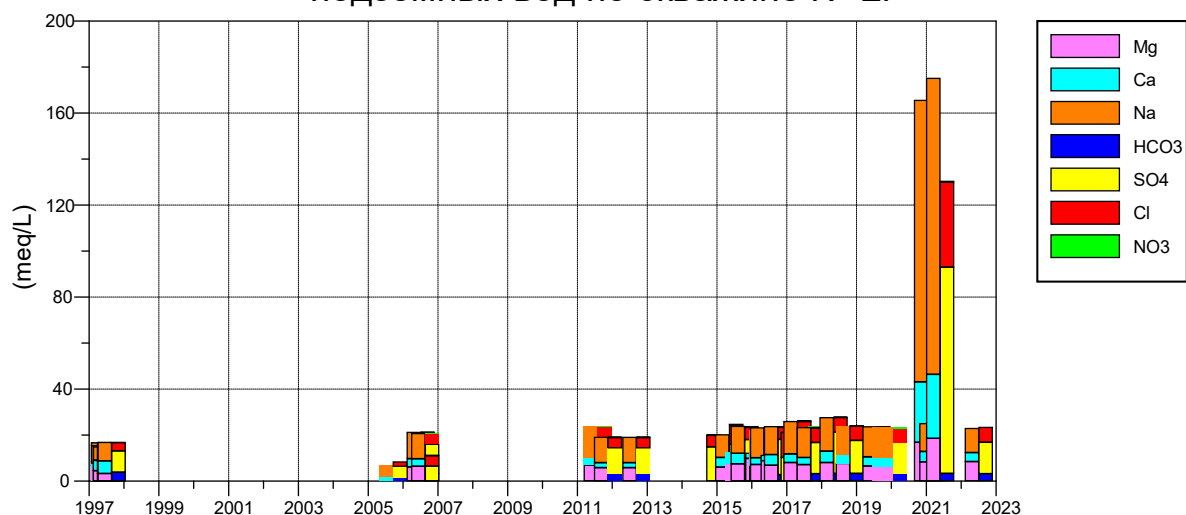


Рисунок 4.20 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 6г

В третью группу включены скважины, которые расположены вблизи хвостохранилища (202сн, 203сн, 204сн, 205сн, 212сн). Ниже представлены графики изменения катионного и анионного состава подземных вод по выделенной группе скважин (рис. 4.21-4.25).

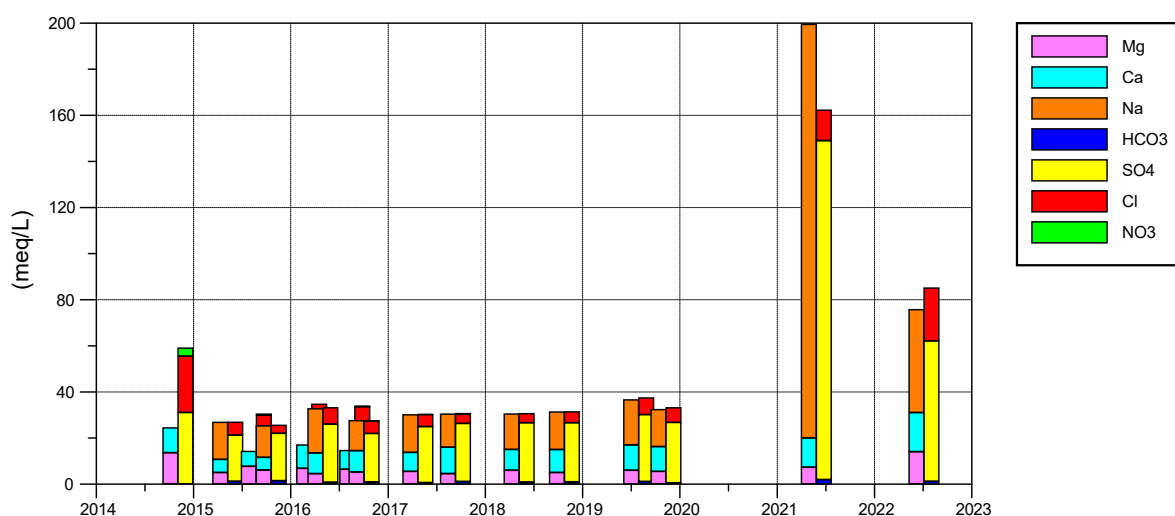


Рисунок 4.21 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 202сн

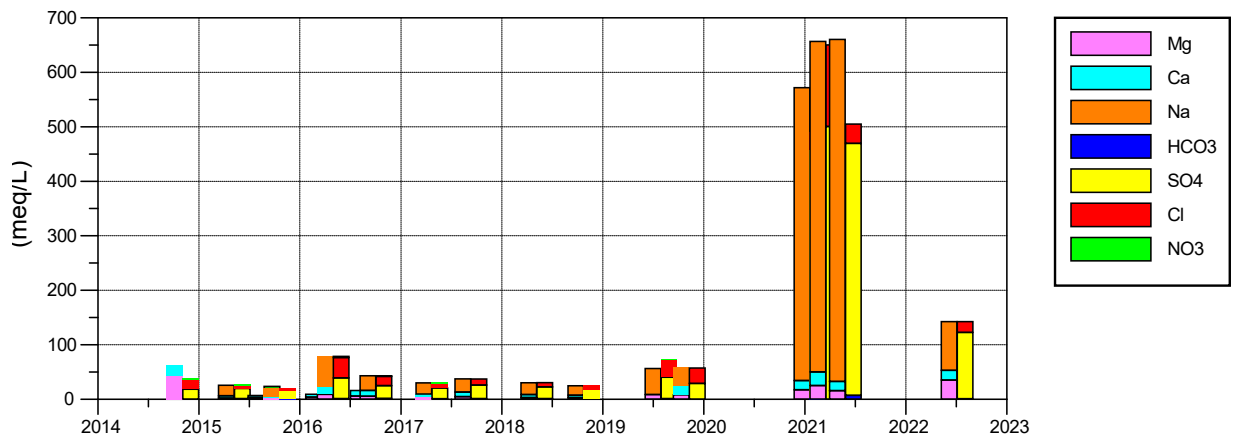


Рисунок 4.22 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 203сн

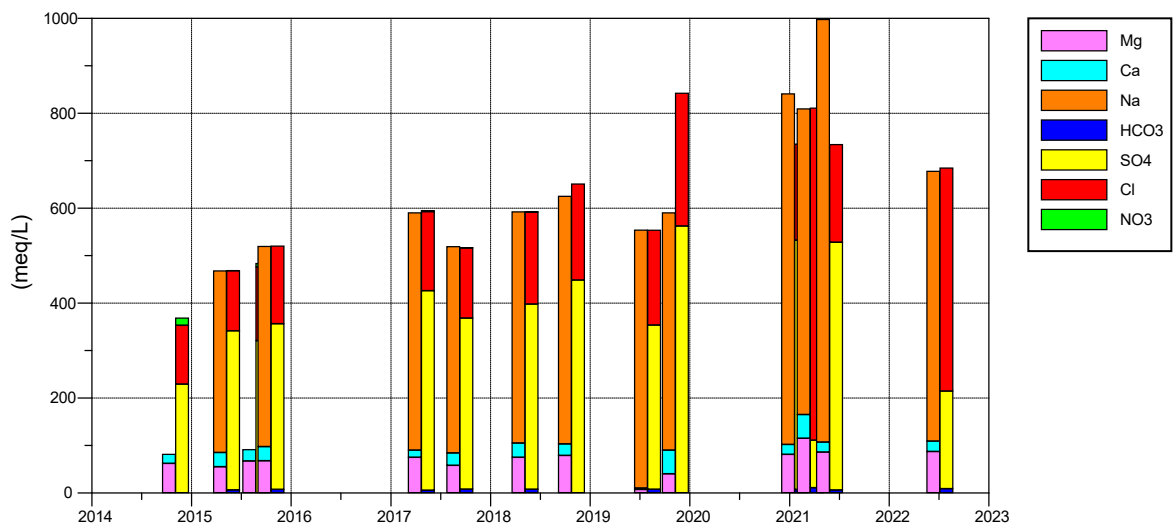


Рисунок 4.23 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 204сн

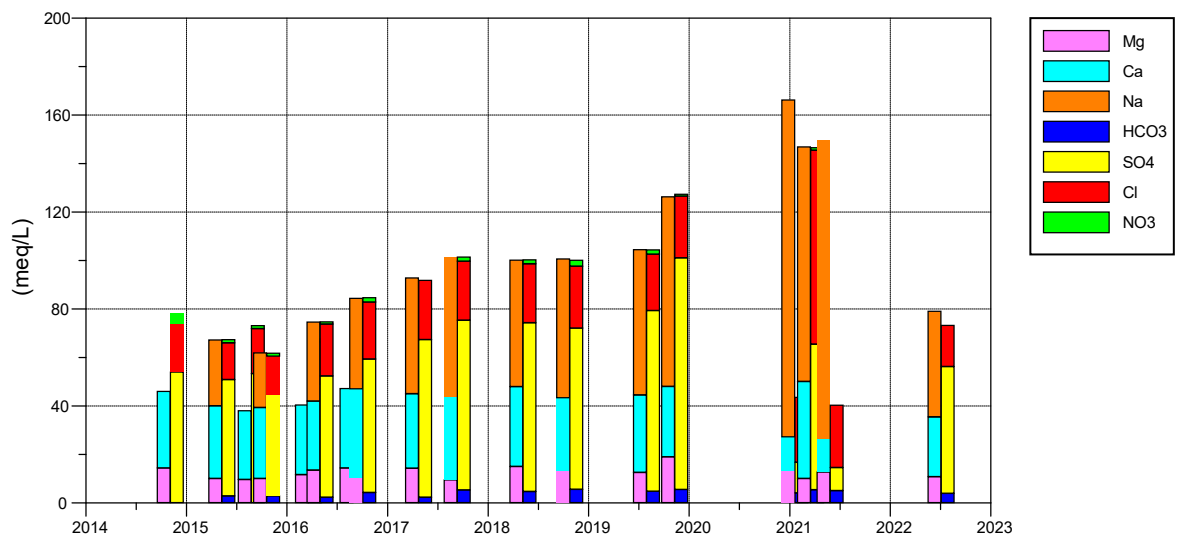


Рисунок 4.24 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 205сн

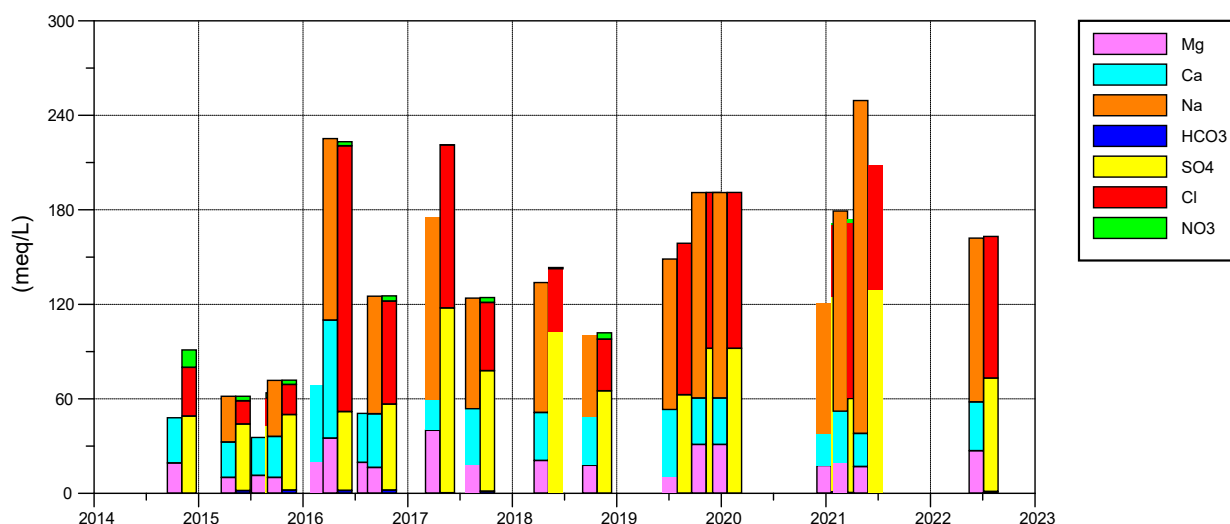


Рисунок 4.25 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 212сн

Четвертая группа объединила скважины, оказавшиеся в зоне значительного воздействия на подземные воды техногенных объектов (ЗИФ, участка кучного выщелачивания, накопителей технических вод, склада ТБО и металлолома). Она включает наибольшее количество скважин (№№ Зукв, 206сн, 207сн, 208сн, 210сн, 211сн). Ниже представлены графики изменения катионного и анионного состава подземных вод по выделенной группе скважин (рис. 4.26-4.31).

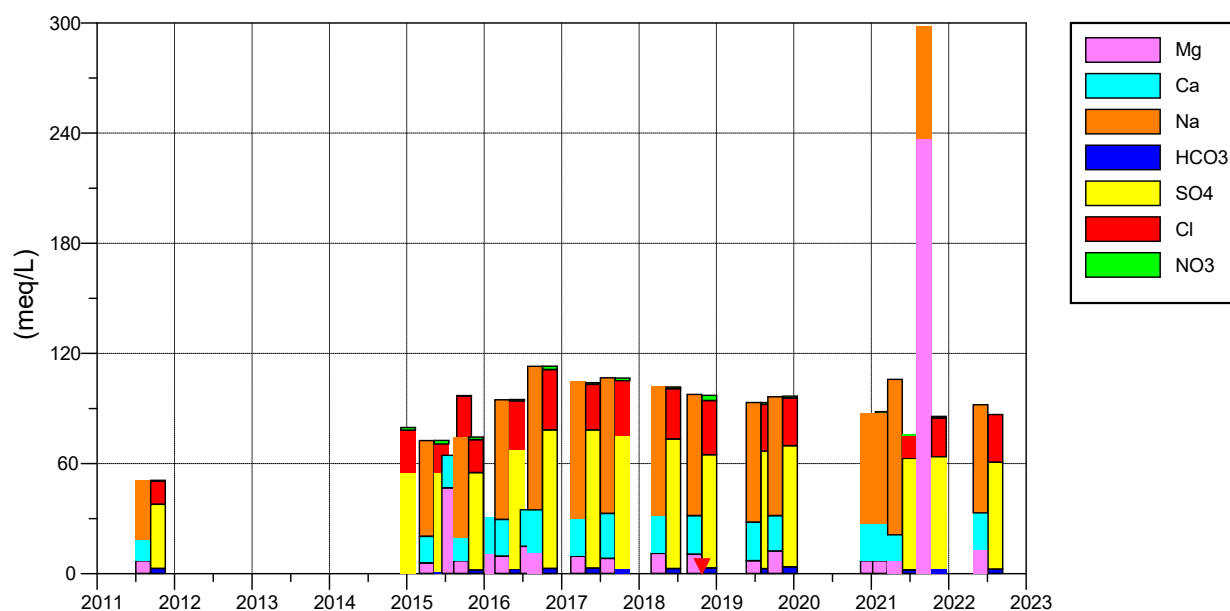


Рисунок 4.26 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № Зукв

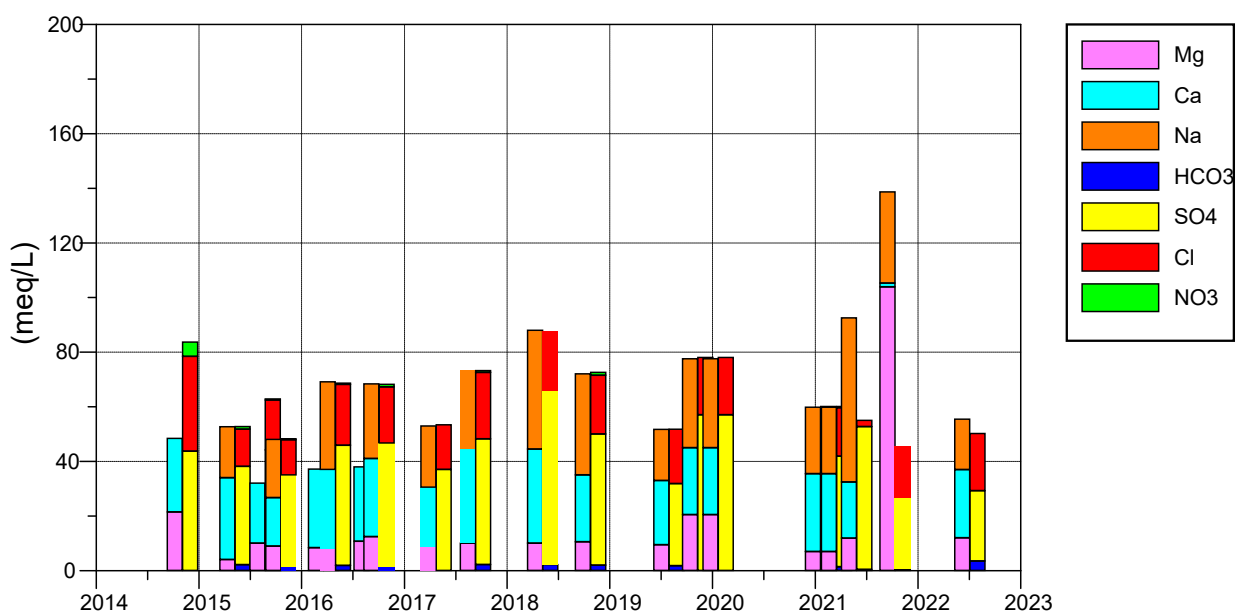


Рисунок 4.27 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 206сн

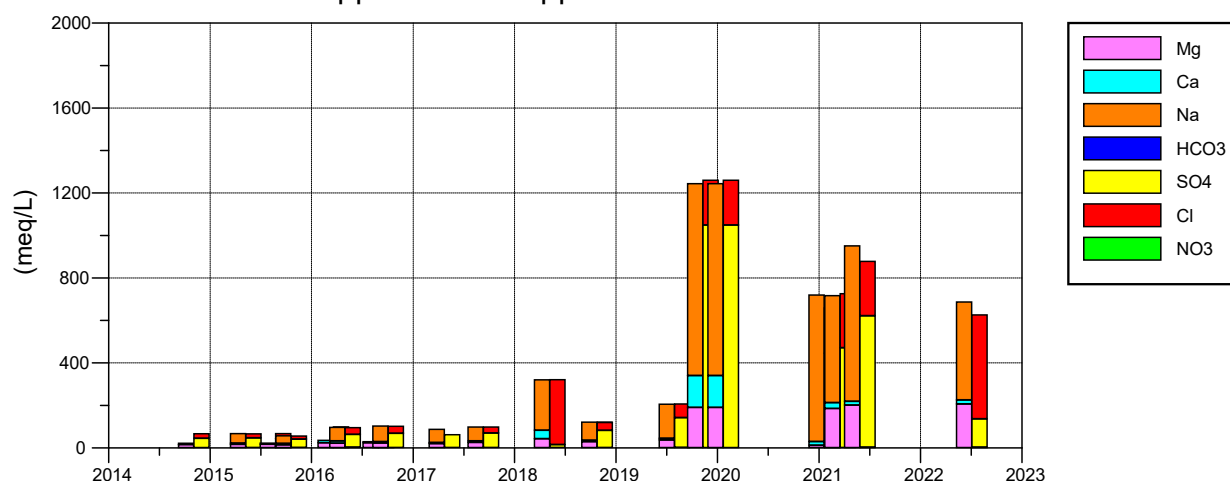


Рисунок 4.28 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 207сн

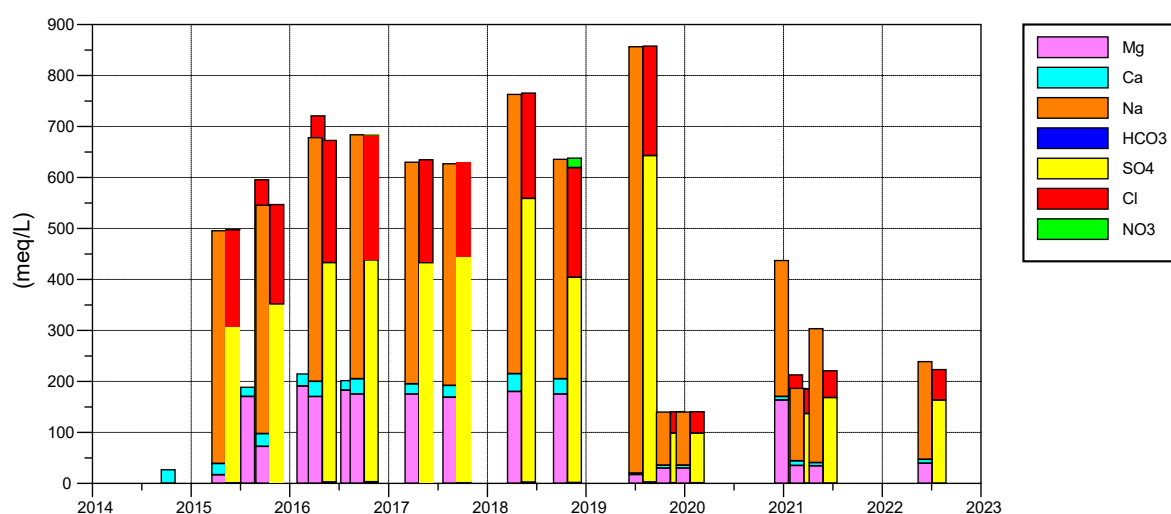


Рисунок 4.29 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 208сн

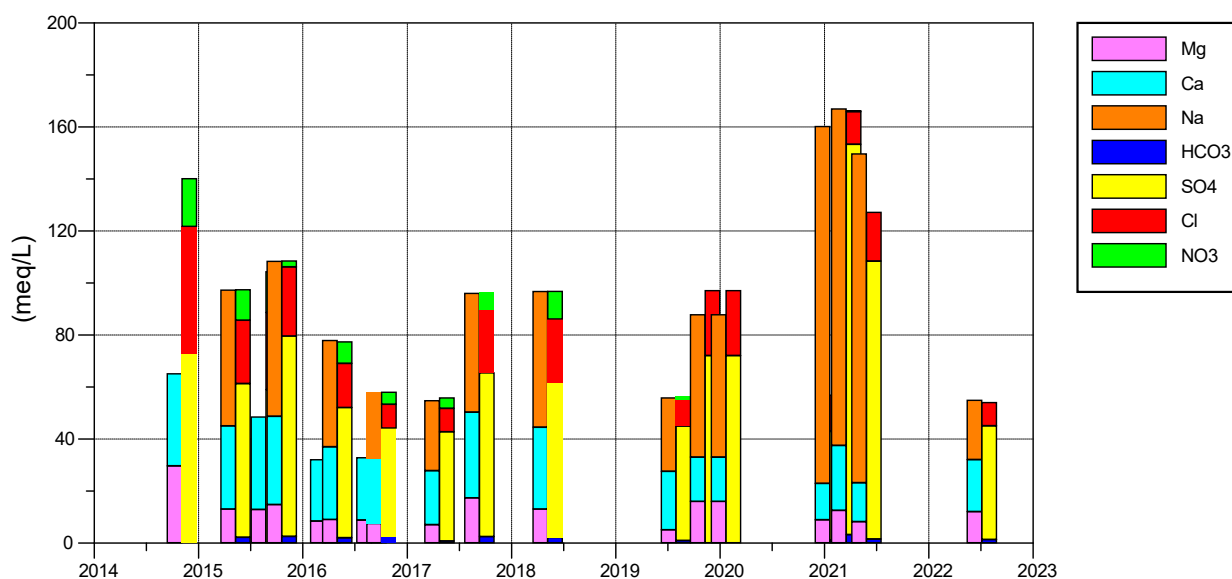


Рисунок 4.30 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 210сн

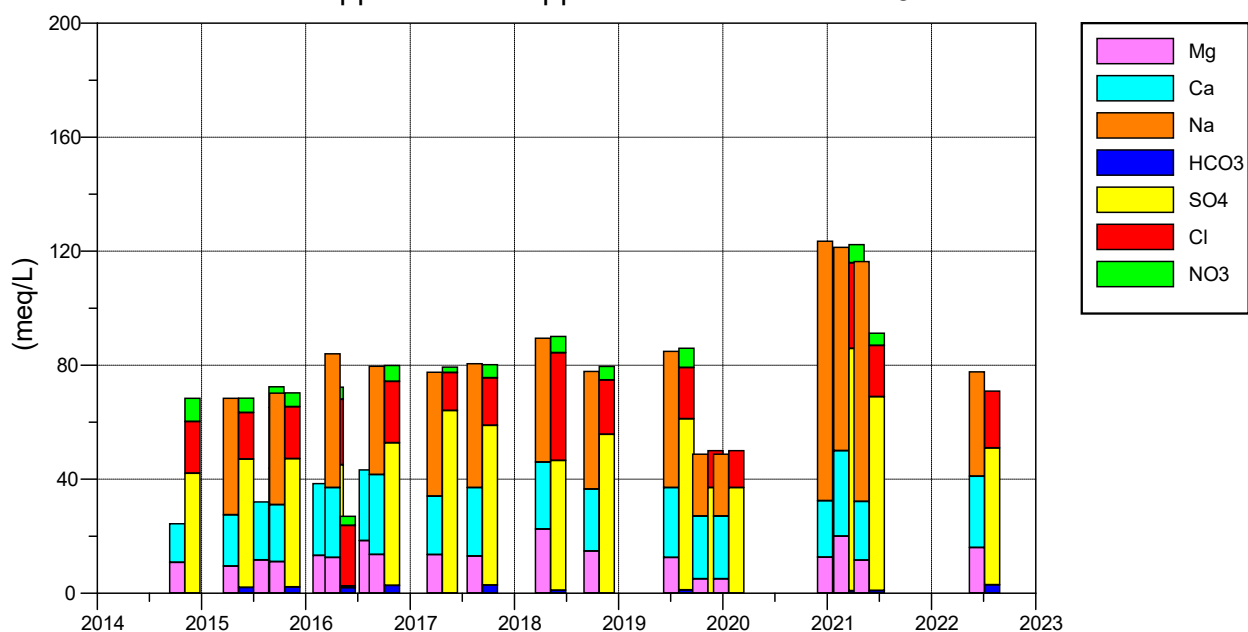


Рисунок 4.31 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 211сн

Пятая группа содержит скважины, которые расположены в зоне дренирующего влияния карьера (002GT, SW-HG-02, 19г). Ниже представлены графики изменения катионного и анионного состава подземных вод по выделенной группе скважин (рис. 4.32- 4.35).

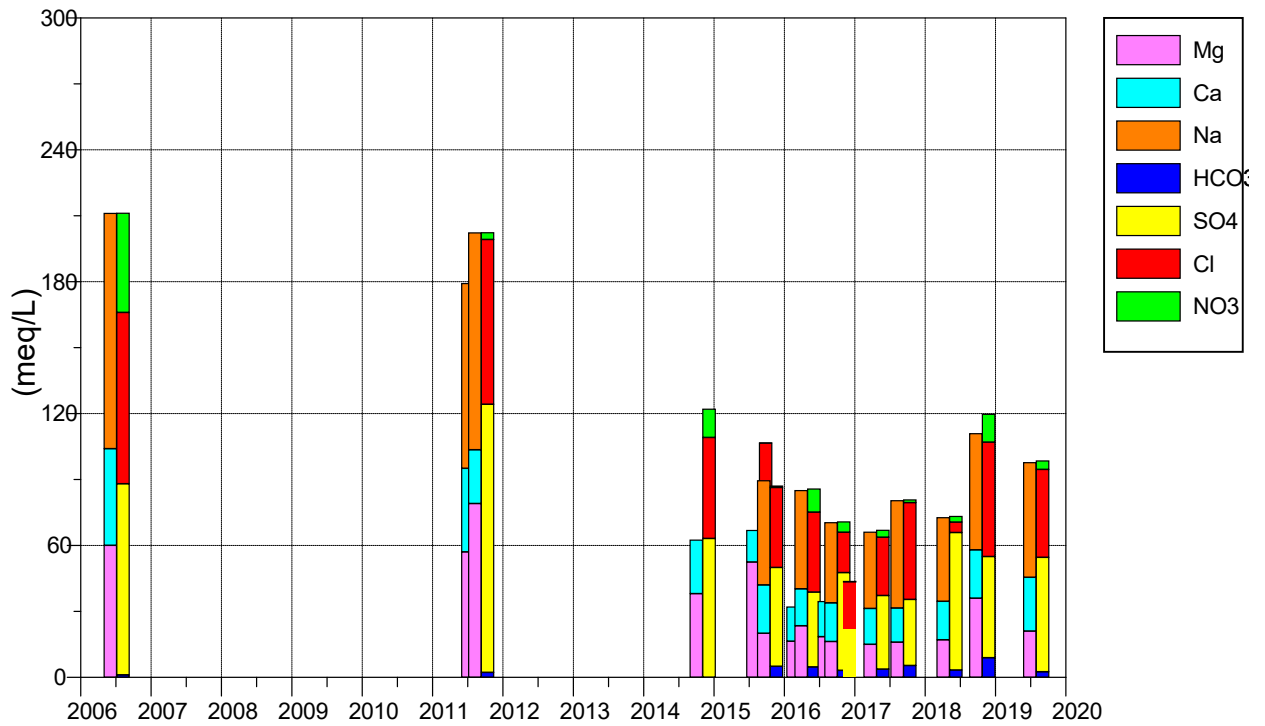


Рисунок 4.32 – График изменения катионного и анионного состава карьерных вод месторождения Пустынное

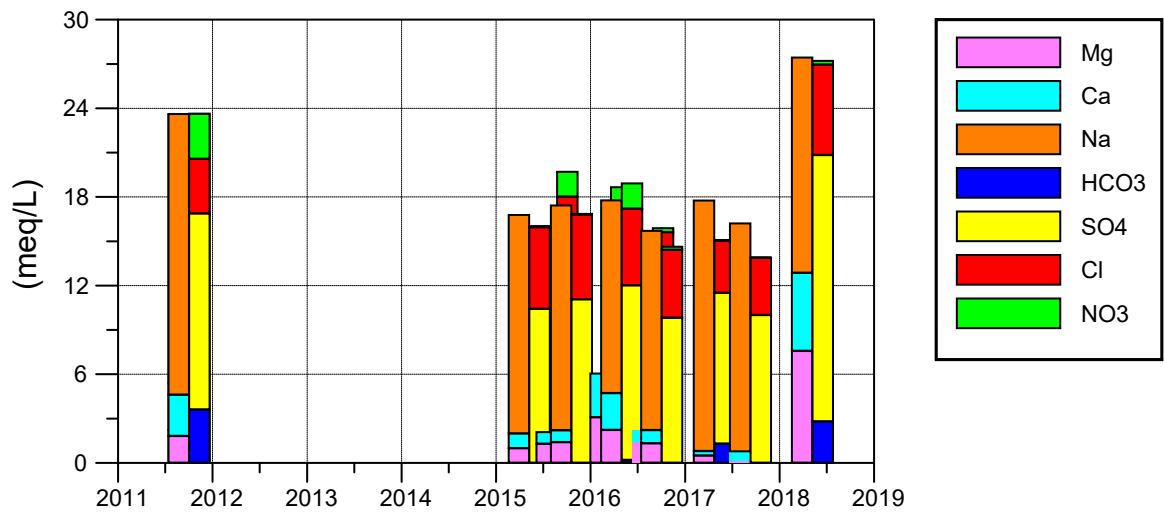


Рисунок 4.33 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 002GT

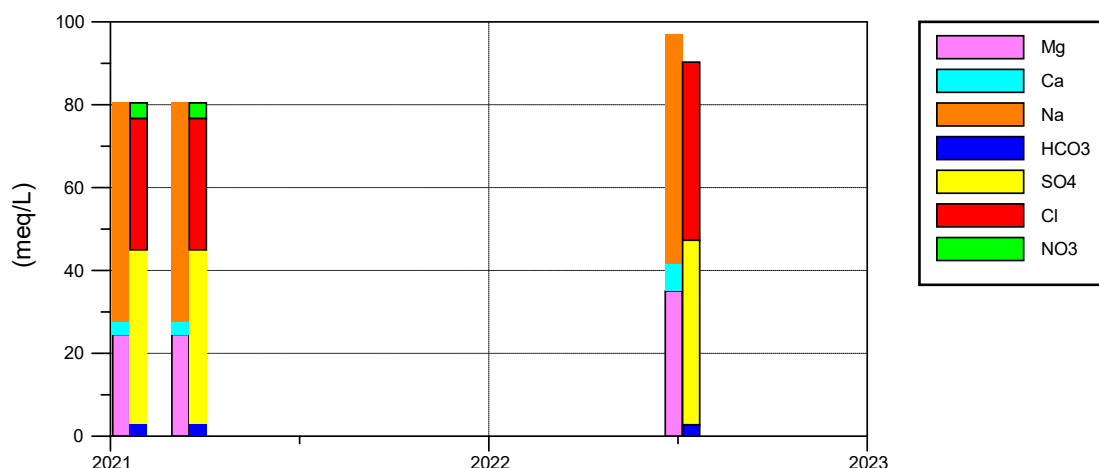


Рисунок 4.34 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № SW-HG-02

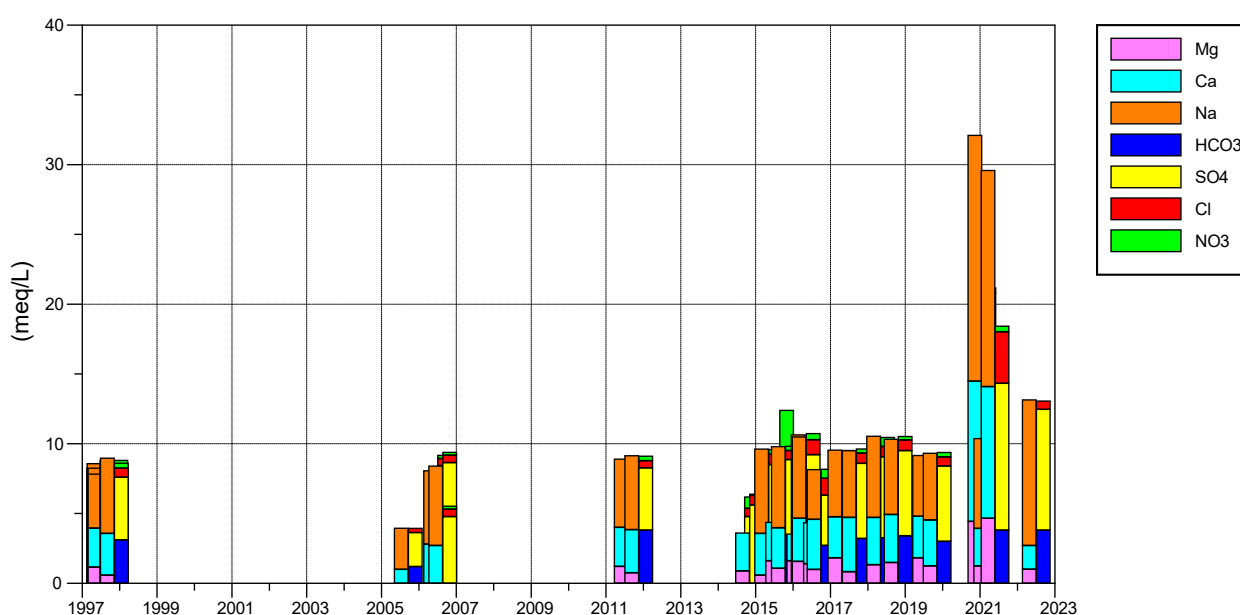


Рисунок 4.35 – График изменения катионного и анионного состава подземных вод по скважине № 19г

Из представленных графиков видно, что химический состав подземных, карьерных и сточных вод первой и второй групп за 25-летний период не претерпел существенных изменений. Отмечаются лишь отдельные случаи увеличения концентраций макрокомпонентов в воде по скважинам № 2г и № 8г, по всей видимости вызванные сменой лабораторий.

По третьей группе скважин, расположенных в пределах влияния хвостохранилища, отмечается рост концентраций катионов и анионов, по всей видимости связанный с процессами вторичного засоления. Сооружение и эксплуатация хвостохранилища обусловили изменение гидродинамической обстановки. Хвостохранилище создало преграду на пути естественного движения подземных вод, увеличило их питание в местах нарушения целостности геомембраны. Это спровоцировало подъём уровней, что, в свою очередь, усилило процессы испарения с поверхности подземных вод.

По четвертой группе скважин также отмечается изменение компонентов химического состава подземных вод. Особенно это отчётливо наблюдается по скважинам №№ 207сн, 208сн, 210сн и 211сн.

Наблюдается противоречие в результатах химических анализов подземных вод по скважинам, расположенным вблизи полигона ТБО и склада металлолома. Концентрация макрокомпонентов в воде увеличилось в скважине 207сн, а в скважине 208сн, напротив, снизилась. Это объясняется неудовлетворительным техническим состоянием скважин. Возможно, отбираемые пробы характеризуют состав воды не в пласте, а в стволе скважины.

В скважинах № 210сн и № 211сн концентрация макрокомпонентов со временем снижается, что, связано с сокращением влияния на подземные воды участка кучного выщелачивания. Подтверждением этому является снижение концентрации нитратов, которое фиксировались в скважинах с 2014 по 2020-2021 гг. Также на составе воды сказываются потери из прудов накопителей технических вод.

Пятая группа скважин расположена в пределах области дренирующего влияния карьера. Состав карьерных вод за 2006-2020 гг. претерпел существенные изменения – концентрации основных катионов и анионов сократились практически вдвое. Это объясняется следующим. При отработке карьера в 2006-2015 гг. среднегодовой водоприток составлял порядка 150-200 м³/сут и формировался преимущественно за счёт сработки естественных запасов трещинных вод. Слабая обводненность пород и низкие емкостные свойства обусловили сокращение водопритоков до 40-50 м³/сут в последние годы. Водопротоки формируются за счет естественных ресурсов трещинных вод, питание которых обеспечивается инфильтрацией атмосферных осадков в пределах площади водосбора карьера. Осадки обладают более высоким качеством, но при взаимодействии со скальными породами они обогащаются минералами, формирующими солевой состав подземных вод.

Сравнение результатов химико-аналитических исследований, выполненных за 25-летний период различными лабораториями, позволяет сделать вывод, что в целом они сопоставимы. Это говорит о достоверности определения компонентов химического состава вод.

Необходимо обратить особое внимание на результаты химико-аналитических исследований, выполненных в 2021 г. Практически по всем опробованным точкам определены нехарактерные концентрации макрокомпонентов в воде, что существенно искажает действительность. По мнению авторов эти результаты не следует принимать во внимание. Они должны быть исключены из базы данных химических анализов. Чтобы избежать повторения подобной ситуации, следует внедрить систему контроля качества отбора, хранения, транспортировки и исследования проб.

5 ХАРАКТЕРИСТИКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОНТРОЛЬНОГО ОПРОБОВАНИЯ

На стадии проведения маршрутного обследования был проведен контрольный отбор проб воды. Химико-аналитические исследования выполнялись в аккредитованных лабораториях.

По результатам выполненных анализов было установлено, что водородный показатель (pH) изменяется от 6,17 до 9,18, т.е. воды в целом являются слабокислыми, нейтральными и слабощелочными.

Наиболее кислые воды зафиксированы скважинами вблизи хвостохранилища (скв. №№ 202сн, 203сн, 205сн), склада ТБО (207сн) и вблизи ЗИФ (скв. №№ 210сн, 211сн и 212сн). Щелочные – в картах хвостохранилищ и в водопроявлениях.

По химическому составу воды преимущественно сульфатные кальциево-натриевые реже хлоридно-сульфатные натриевые с величиной минерализации от 0,97 до 51 г/дм³ (рис. 5.1-5.4).

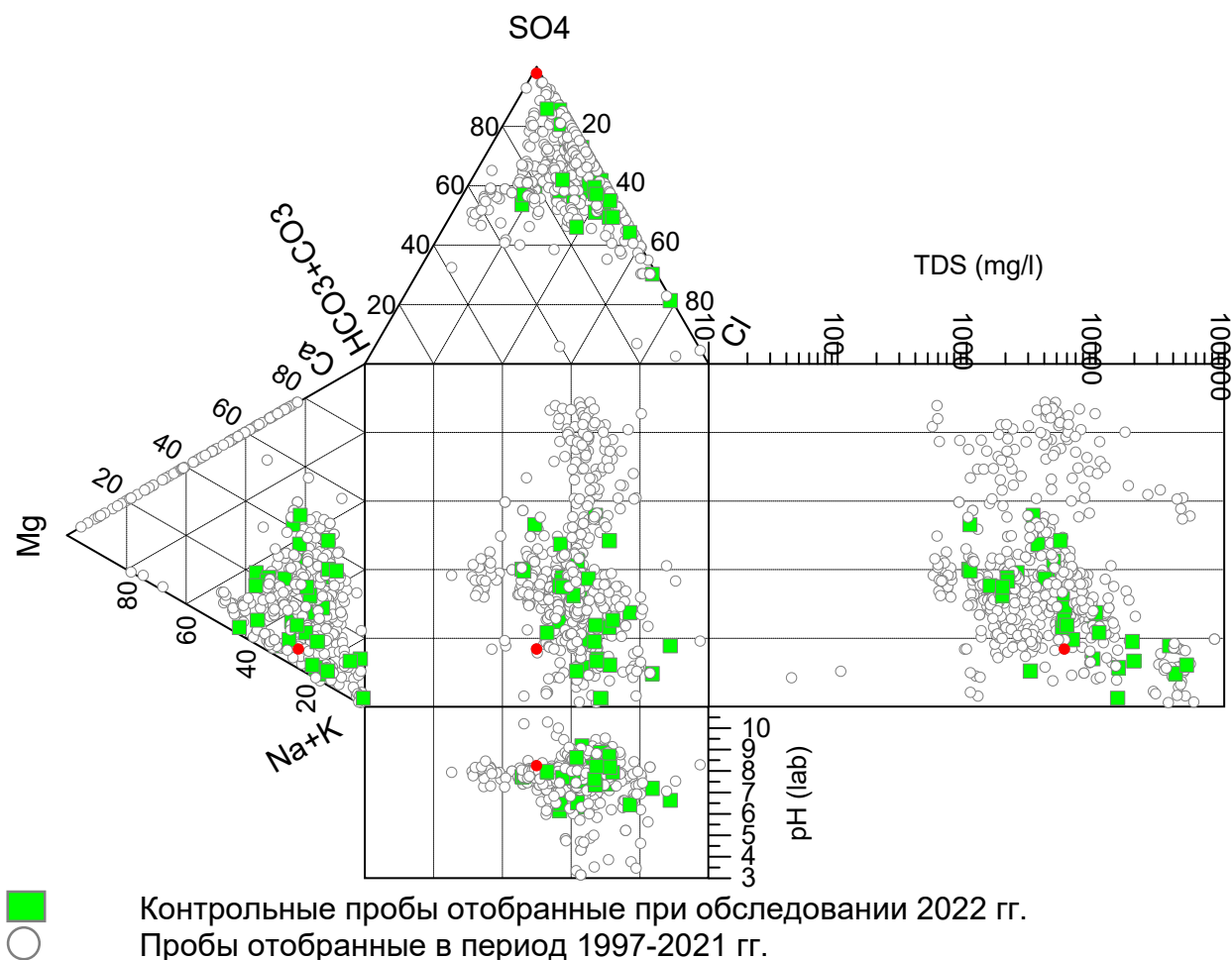


Рисунок 5.1 – Диаграмма Дурова сопоставления химического состава вод отобранных на исследуемой территории за период 1997-2022 гг.

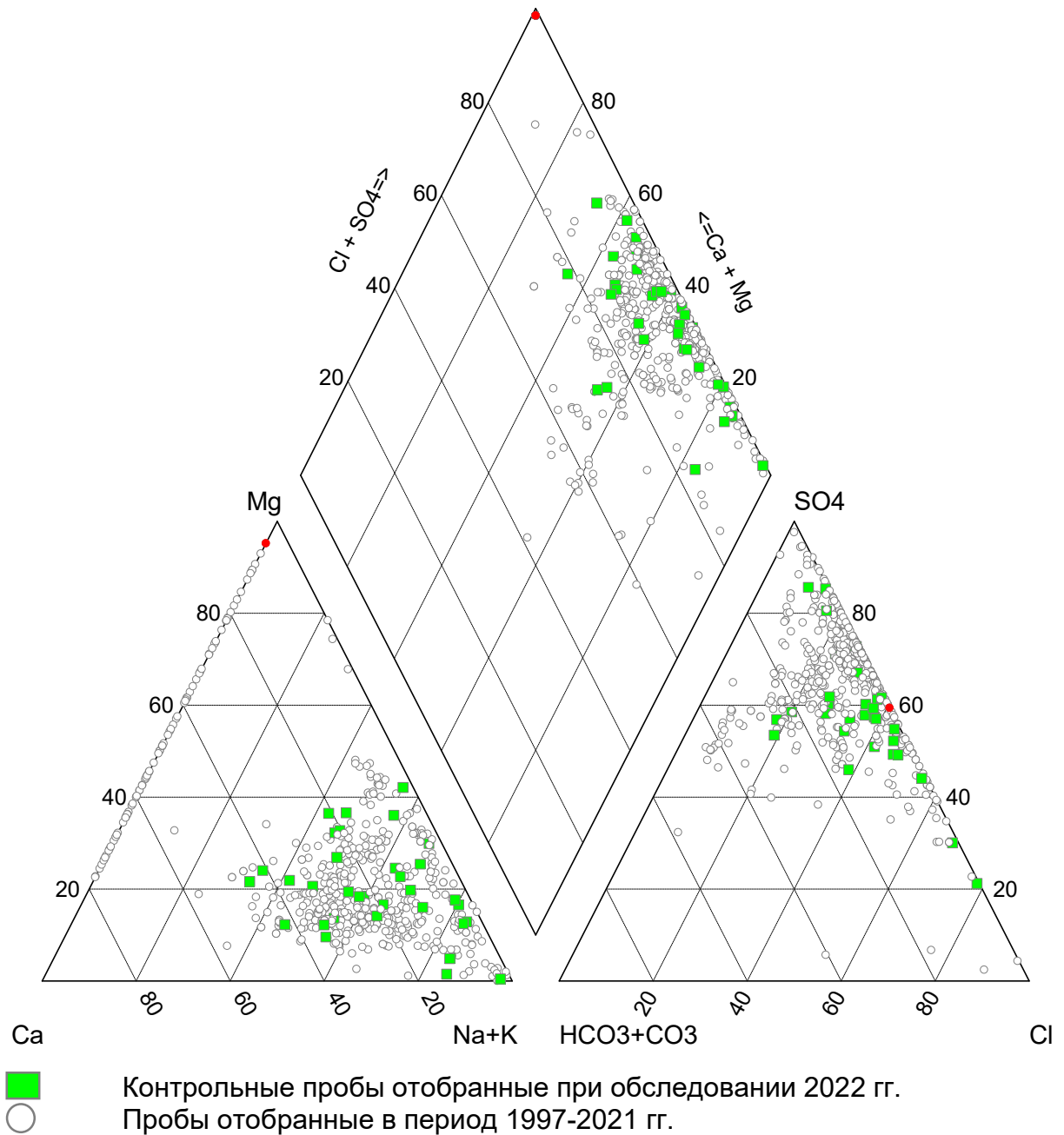


Рисунок 5.2 – Диаграмма Пайпера сопоставления химического состава вод отобранных на исследуемой территории за период 1997-2022 гг.

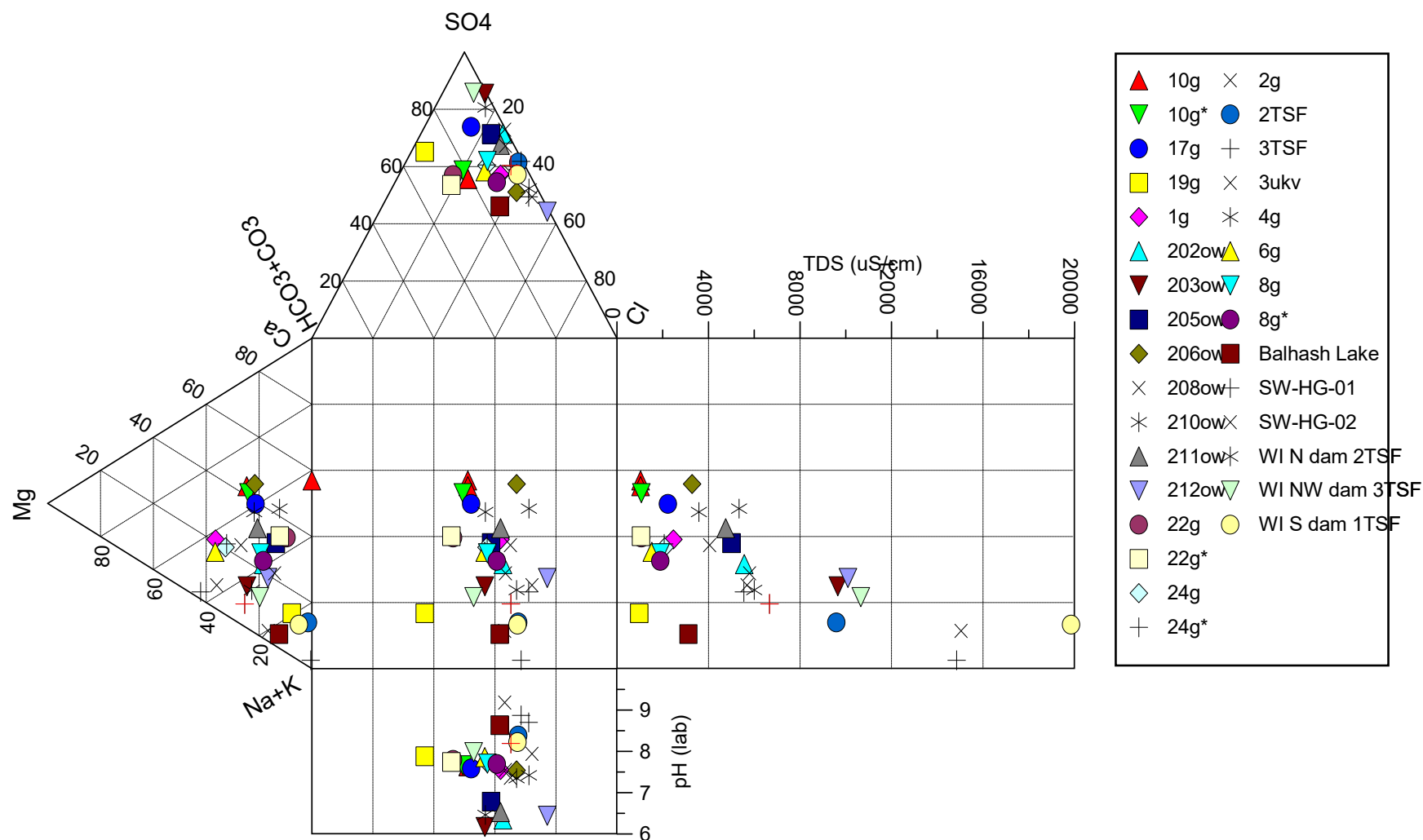


Рисунок 5.3 – Диаграмма Дурова химического состава, водородного показателя и минерализации вод, отобранных при обследовании 2022 г.

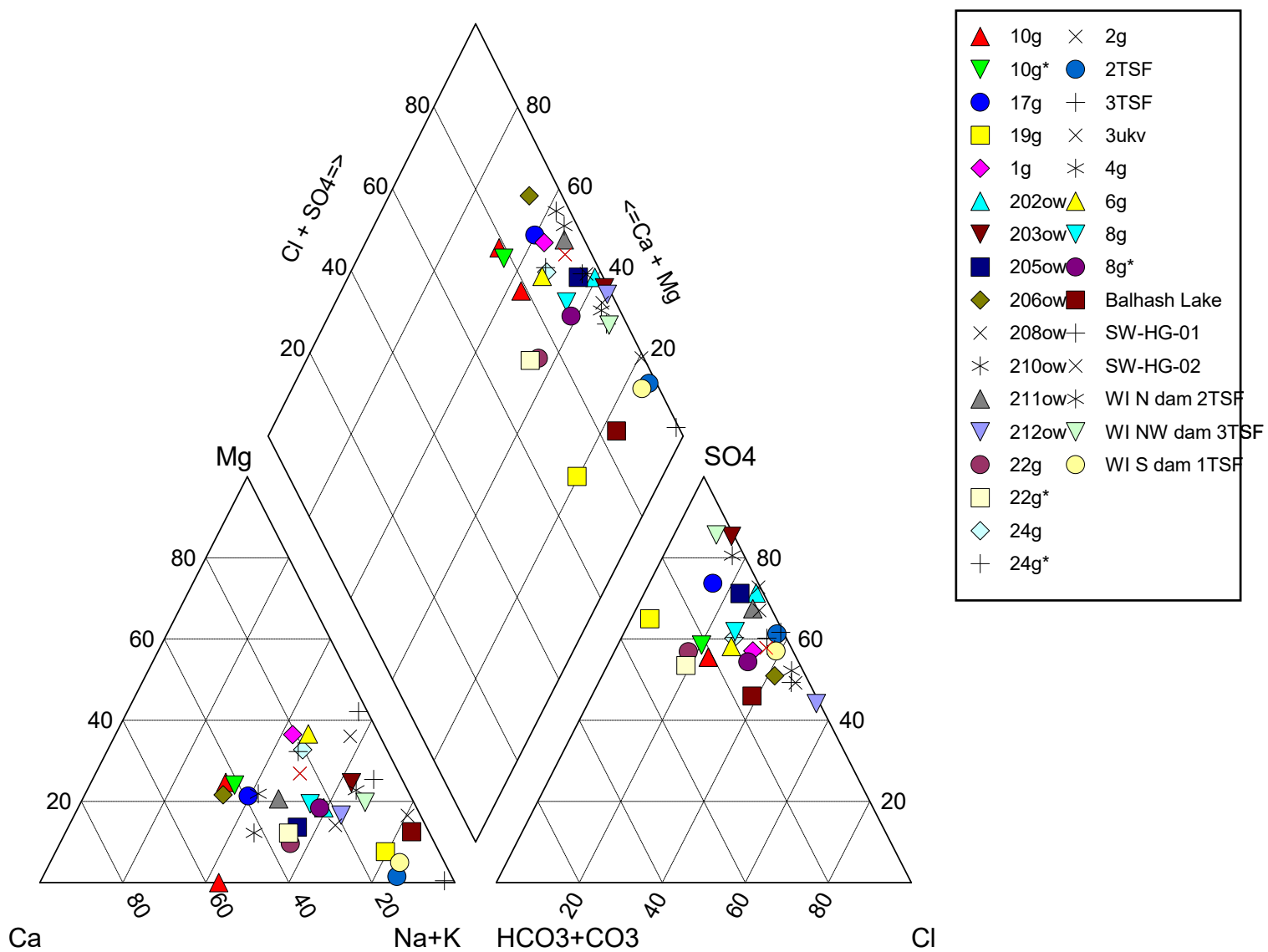


Рисунок 5.4 – Диаграмма Пайпера типов вод отобранных при обследовании 2022 гг.

Максимальные значения минерализации зафиксированы в водопрооявлениях карт хвостохранилища. Наиболее характерная минерализация от 2 до 4 г/дм³.

Величина минерализации имеет линейную зависимость от концентрации сульфатов и натрия в водах ($R^2 > 0.9$) (рис. 5.5-5.7).

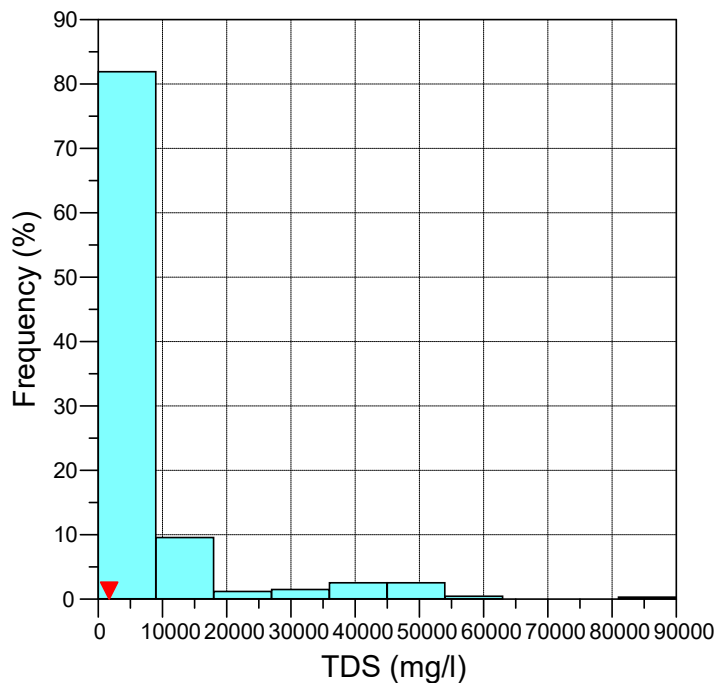


Рисунок 5.5 – Диаграмма наиболее характерной минерализации подземных вод

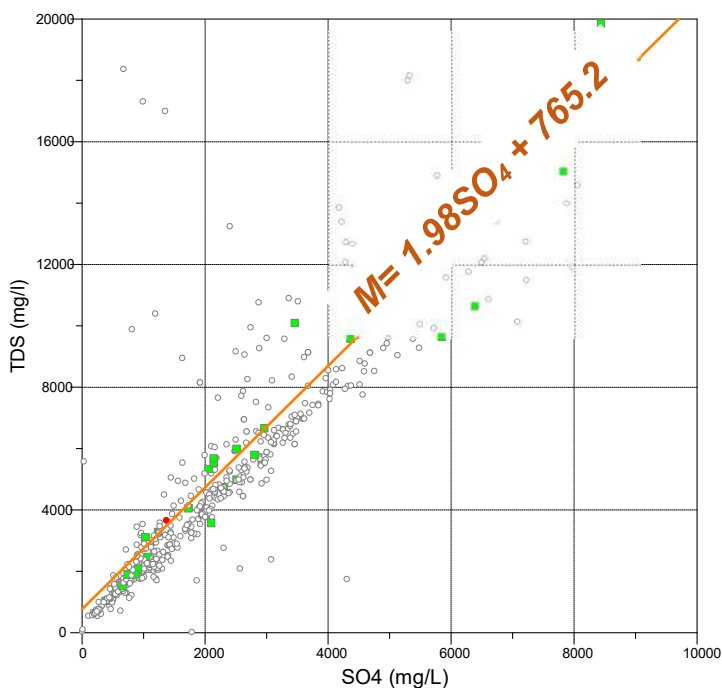


Рисунок 5.6 – Зависимость минерализации вод от концентрации в них сульфатов

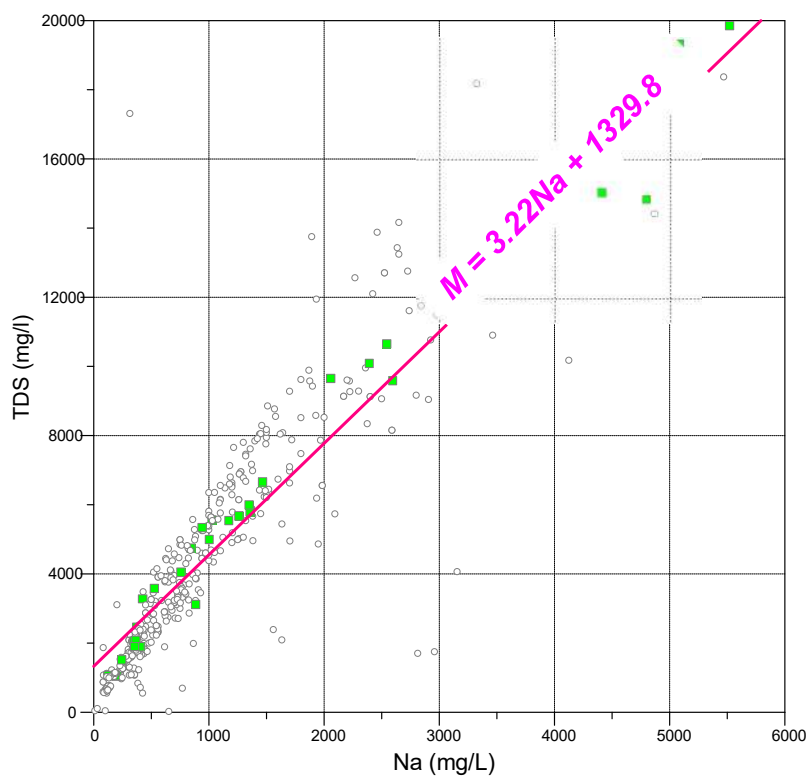


Рисунок 5.7 – Зависимость минерализации вод от концентрации в них натрия

Среди анионов преобладают сульфаты. Содержание их в водах колеблется от 378,7 до 20991 мг/дм³ (рис. 5.8).

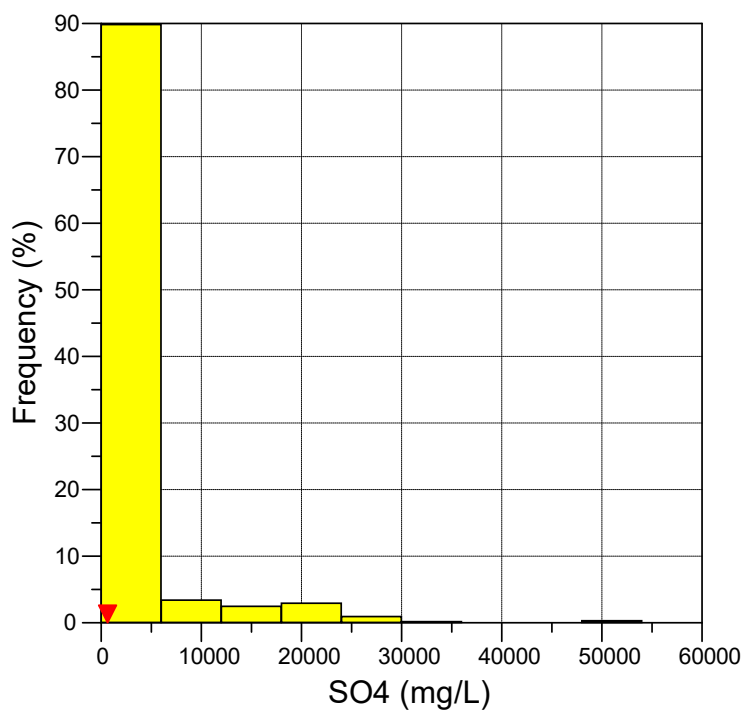


Рисунок 5.8 – Диаграмма наиболее характерной концентрации сульфатов в водах

Содержание хлоридов в водах 21,27-17373 мг/дм³.

В катионном составе вод доминирует натрий, количество которого колеблется от 114 до 14556 мг/дм³ (рис. 5.9-5.11).

Анализ результатов химико-аналитических исследований проб, отобранных в процессе проведения обследования, позволил выделить в пределах исследуемой территории 5 типов вод (рис. 5.12).

Тип I (пресные и слабосоленоватые воды) – характеризуется гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатным магниевым составом. Этот тип зафиксирован скважинами №№ 1г, 2г, 6г, 8г, 10г, 17г, 19г, 22г и 24г и характеризуется наиболее низкой величиной минерализации 0,97-2,2 г/дм³.

Тип II (солончатые) – характеризуется хлоридно-сульфатным кальциевым составом. Этот тип зафиксирован скважинами №№ 3укв, 4г, 205сн, 206сн, 210сн, 211сн, расположенными в районе ЗИФ, участка кучного выщелачивания и характеризуется величиной минерализации 3,58-5,8 г/дм³.

Тип III (солёные застойные воды) – характеризуется хлоридно-сульфатным натриевым составом. Этот тип зафиксирован скважиной № 212сн, опробован в водопроявлении южной дамбы первой карты хвостохранилища, в прудке первой карты хвостохранилища и характеризуется величиной минерализации 10,1-19,8 г/дм³.

Тип IV (солончатые-солёные) – характеризуется сульфатным, реже хлоридно-сульфатным натриево-кальциевым составом. Этот тип зафиксирован скважинами №№ 202сн, 203сн, опробован в водопроявлении северной дамбы второй карты хвостохранилища, в прудках второй и третьей карт хвостохранилища и характеризуется величиной минерализации 5-10 г/дм³.

Тип V (солончатые карьерные воды) – характеризуется хлоридно-сульфатным натриево-кальциевым составом. Этот тип зафиксирован скважинами №№ 208сн, SW-HG-01, SW-HG-02, и характеризуется величиной минерализации 4,9-5,1 г/дм³.

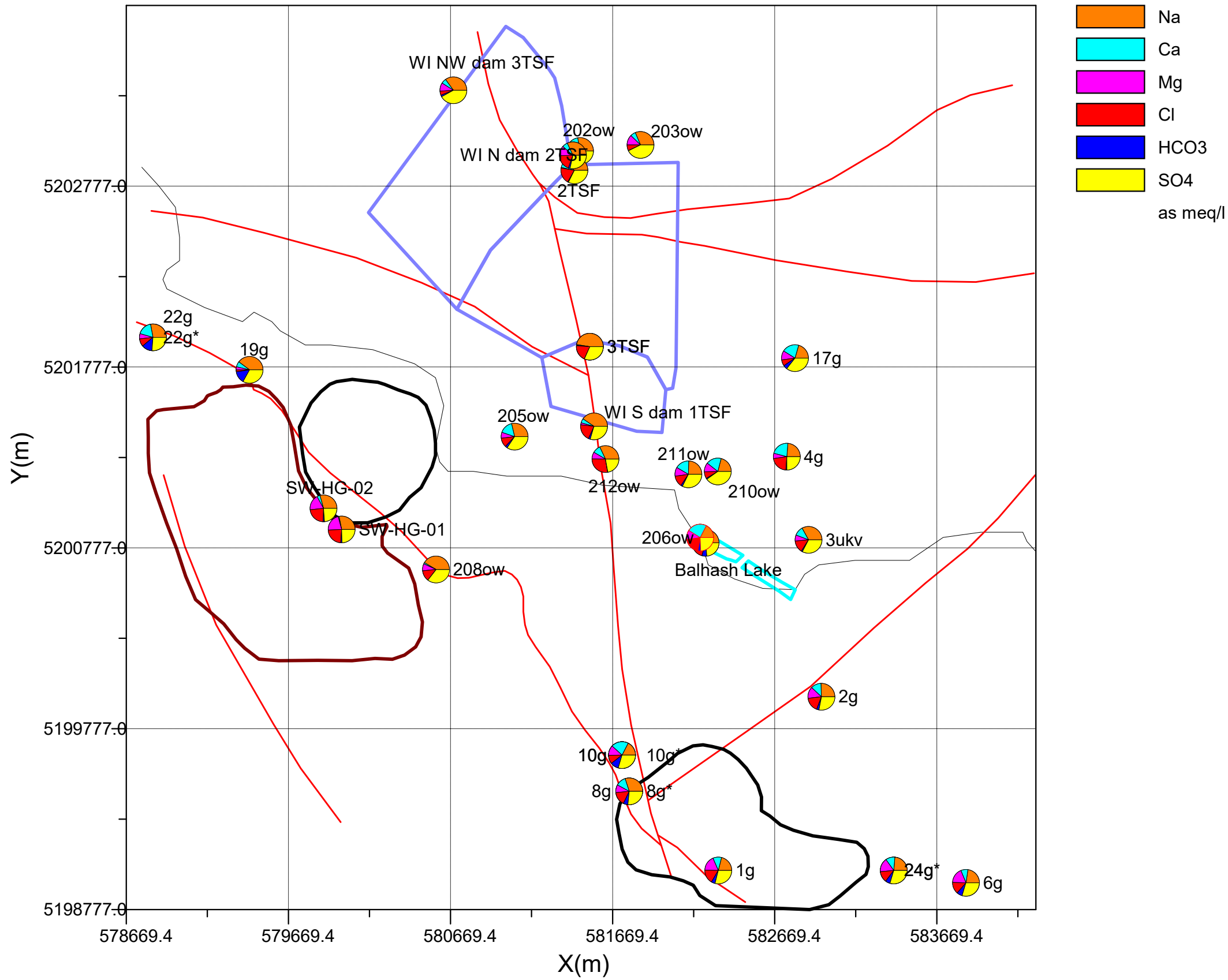


Рисунок 5.9 – Схематическая карта района исследований с круговыми диаграммами основных катионов и анионов химического состава подземных

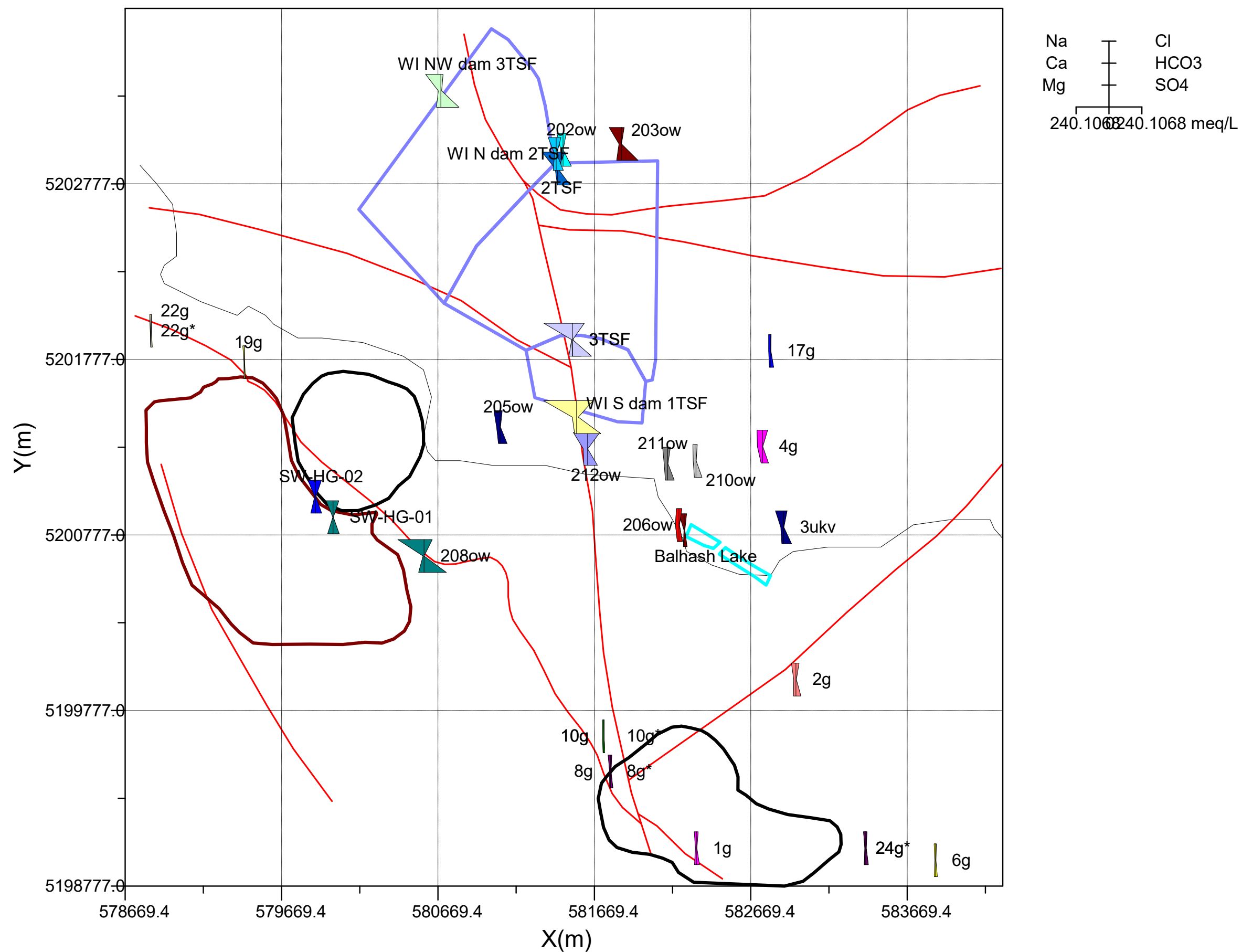


Рисунок 5.10 – Схематическая карта объекта исследований с радиальными диаграммами основных катионов и анионов химического состава подземных вод

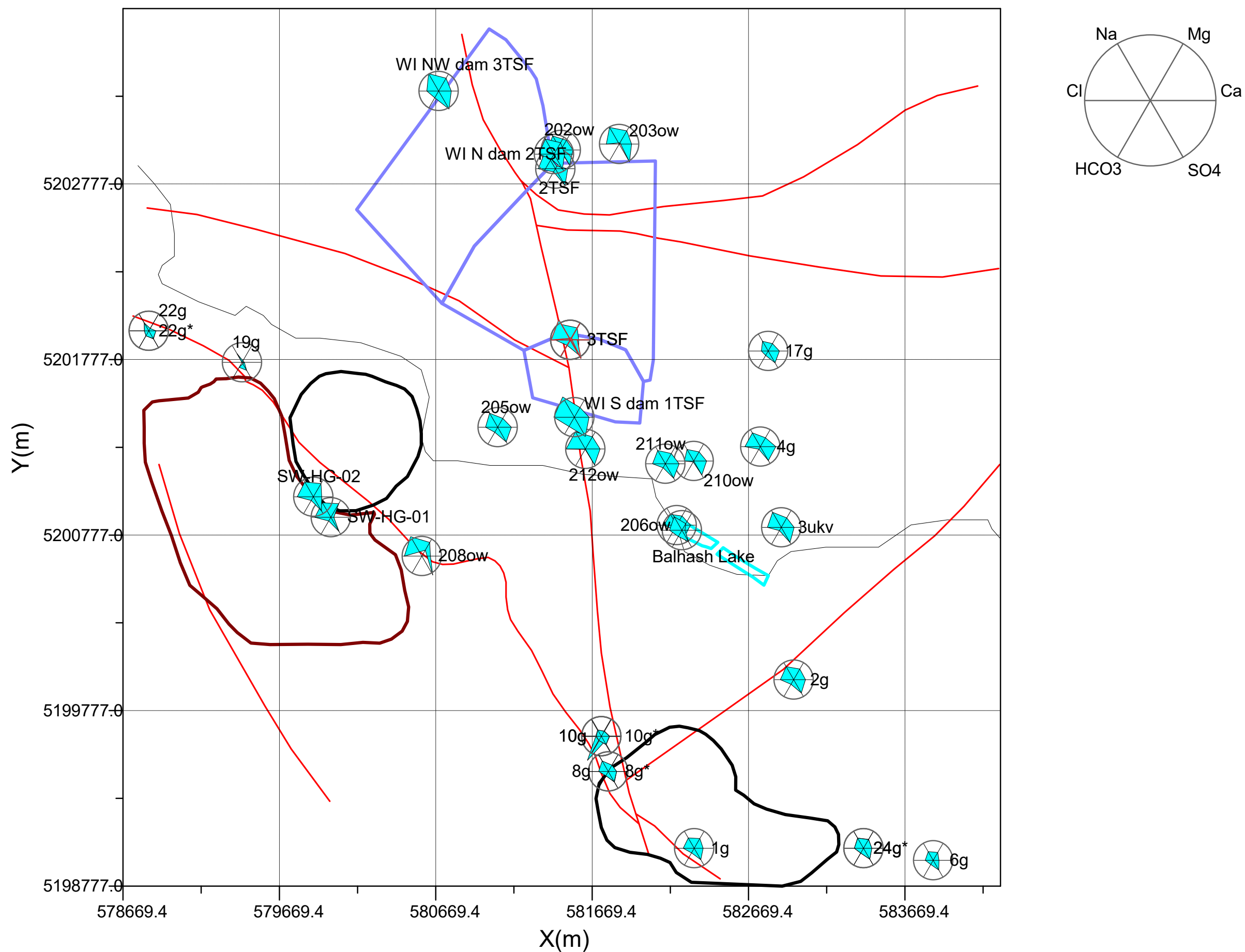


Рисунок 5.11 – Схематическая карта района исследований с розами основных катионов и анионов химического состава подземных вод

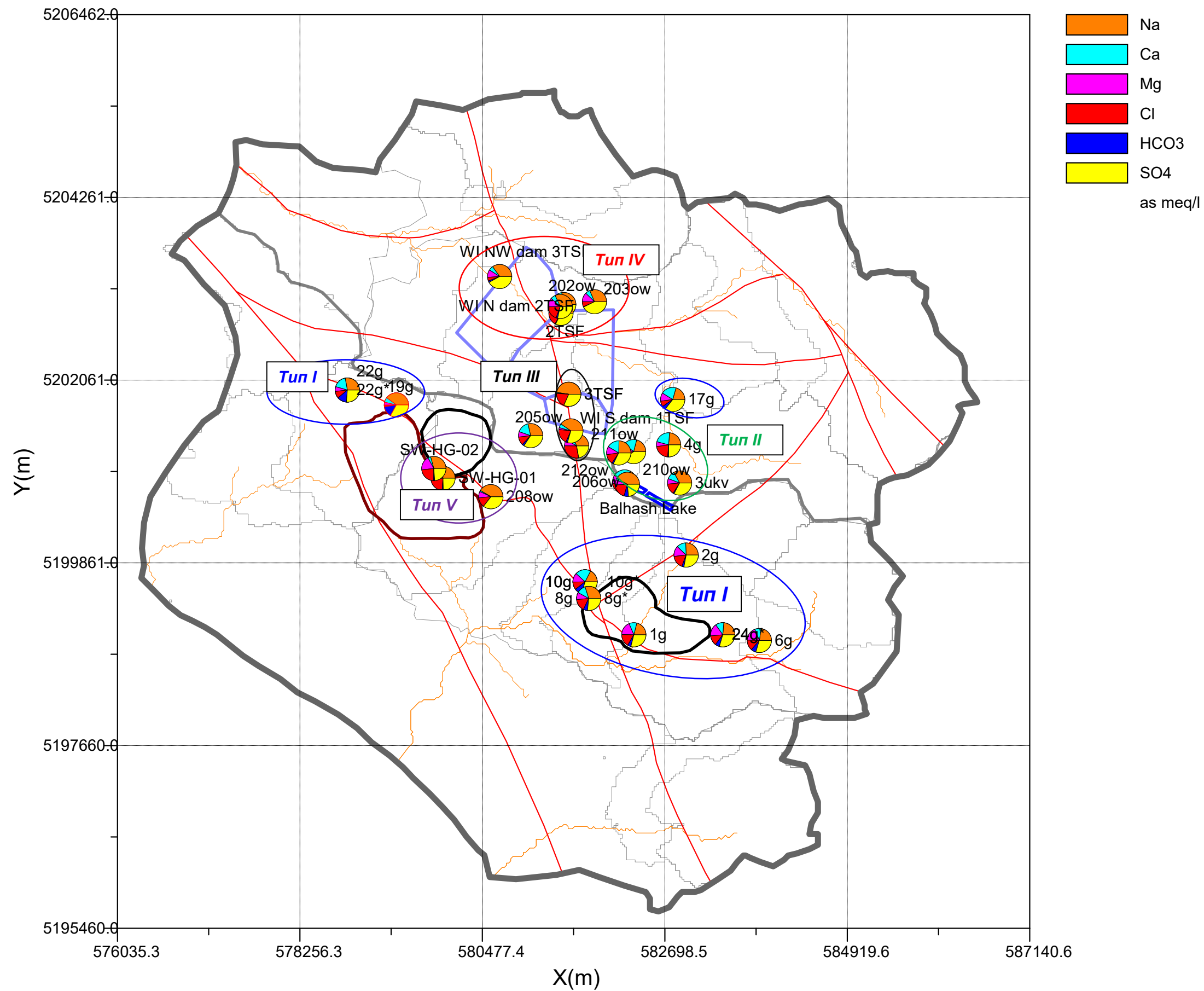


Рисунок 5.12 – Схематическая карта выделенных типов подземных вод в пределах объекта исследований

Содержание кальция и магния в воде изменяется в пределах 34,07-761,52 мг/дм³ и 12,16-2505 мг/дм³. Содержание двухвалентного железа изменяется в пределах 0-180 мг/дм³, трехвалентного 0,2-5,0 мг/дм³. Содержание аммония в подземных водах составляет 0,15-33 мг/дм³.

Концентрации микрокомпонентов: кадмия 0-0,01 мг/дм³ (100 ПДК), марганца 0,01-5,64 мг/дм³ (56 ПДК), меди 0,02-13,7 мг/дм³ (13,7 ПДК), свинца 0-0,03 мг/дм³, бора 0,01-3,71 мг/дм³, цианидов менее 0,01 мг/дм³, цианид свободный 0,01-7,22 мг/дм³, WAD-цианид - 0,01-6,76 мг/дм³, ксантогенат менее 0,025 мг/дм³.

Следует отметить, что на стадии разведки месторождения в 1997 г. были определены природные концентрации бора, хрома и мышьяка в почвах и оконтурены площади.

Высокие концентрации цианидов отмечены в пробах, отобранных непосредственно в прудках карт хвостохранилища, водопроявлений и скважинах, расположенных вблизи хвостохранилища и ЗИФ (рис. 5.13-5.18).

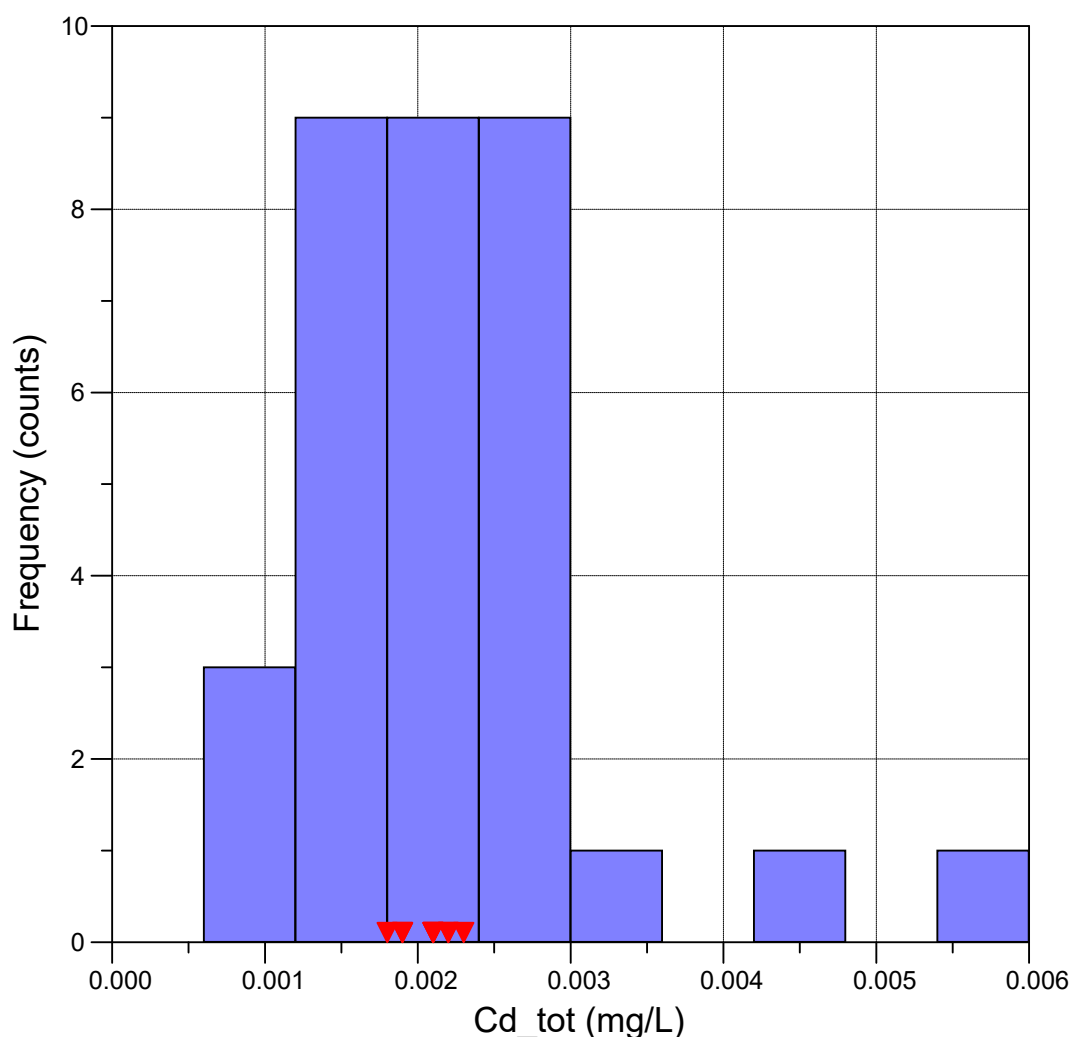
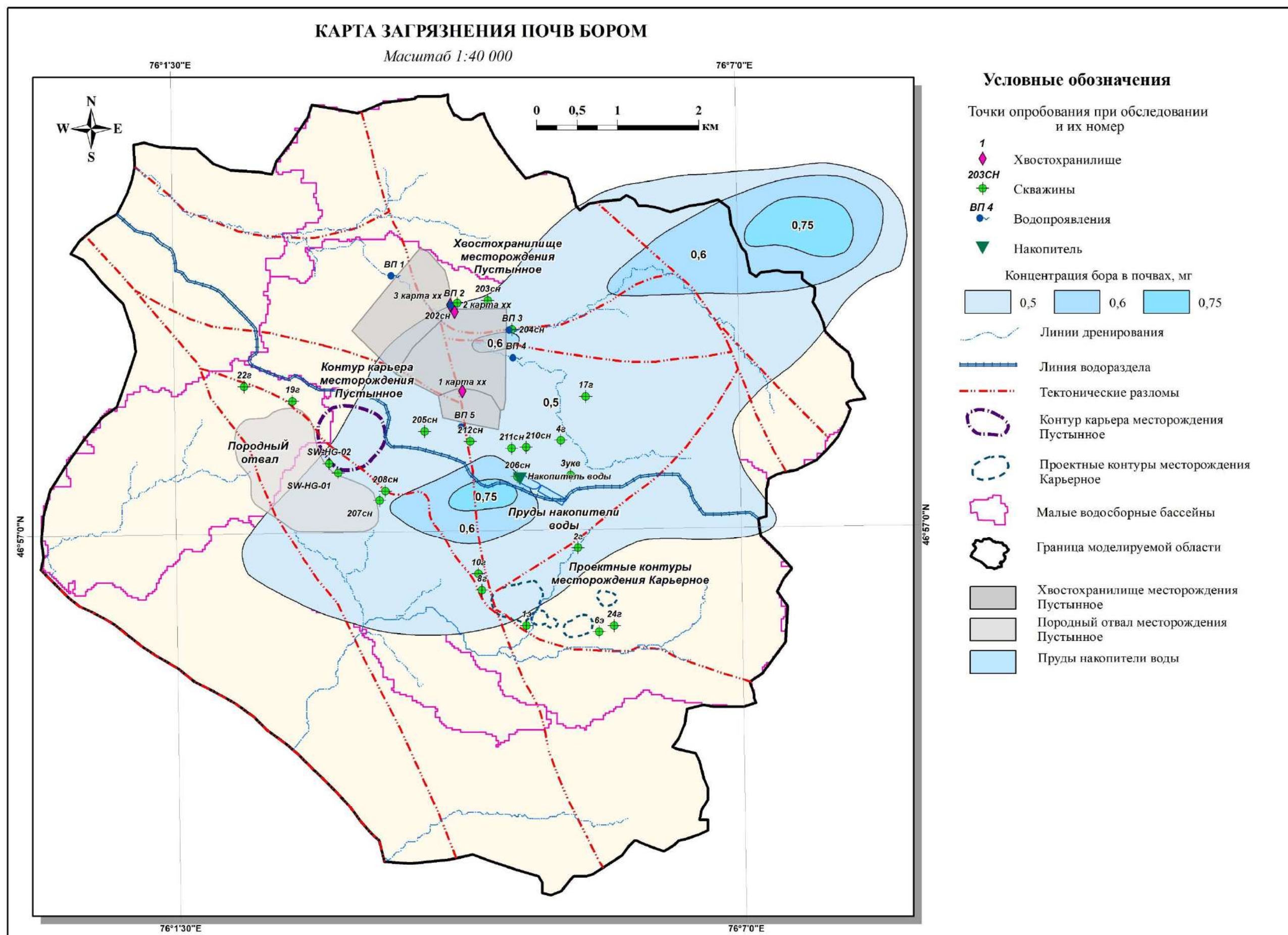


Рисунок 5.13 – Диаграмма наиболее характерной концентрации кадмия в подземных водах



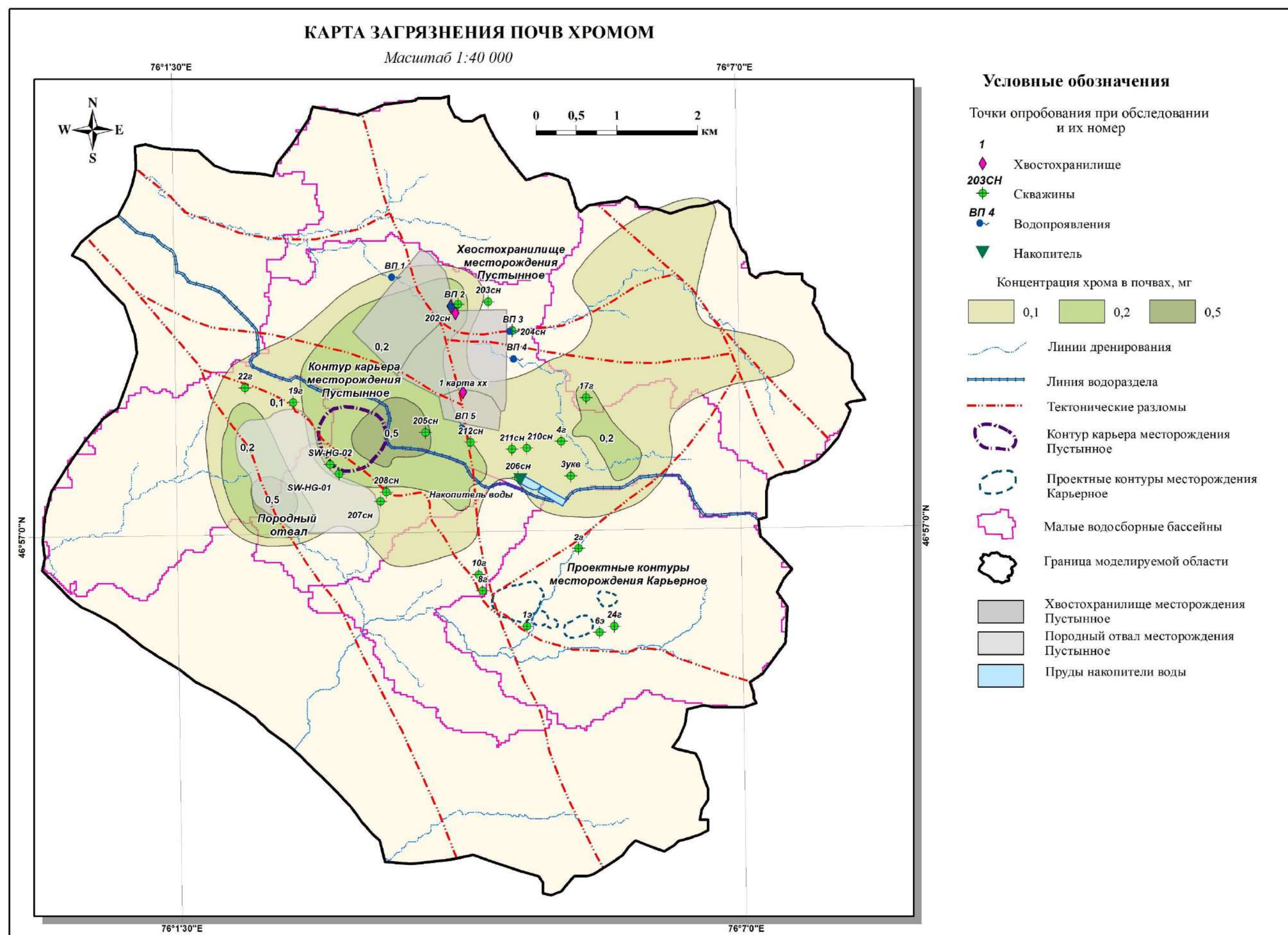


Рисунок 5.15 – Карта области загрязнения почв хромом



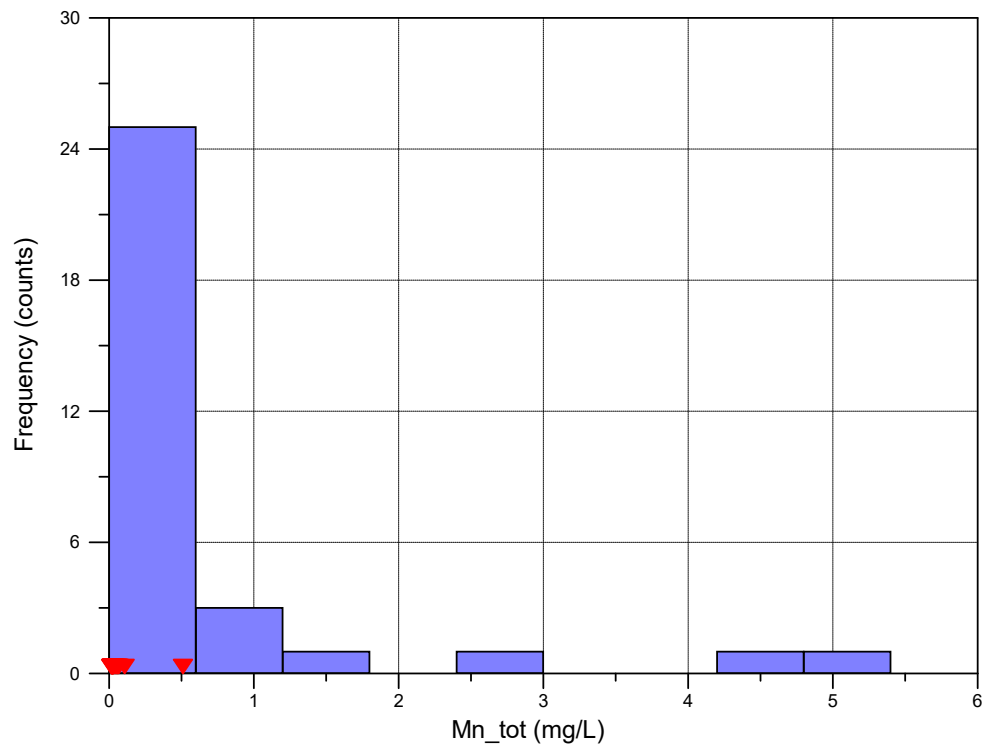


Рисунок 5.17 – Диаграмма наиболее характерной концентрации марганца в подземных водах

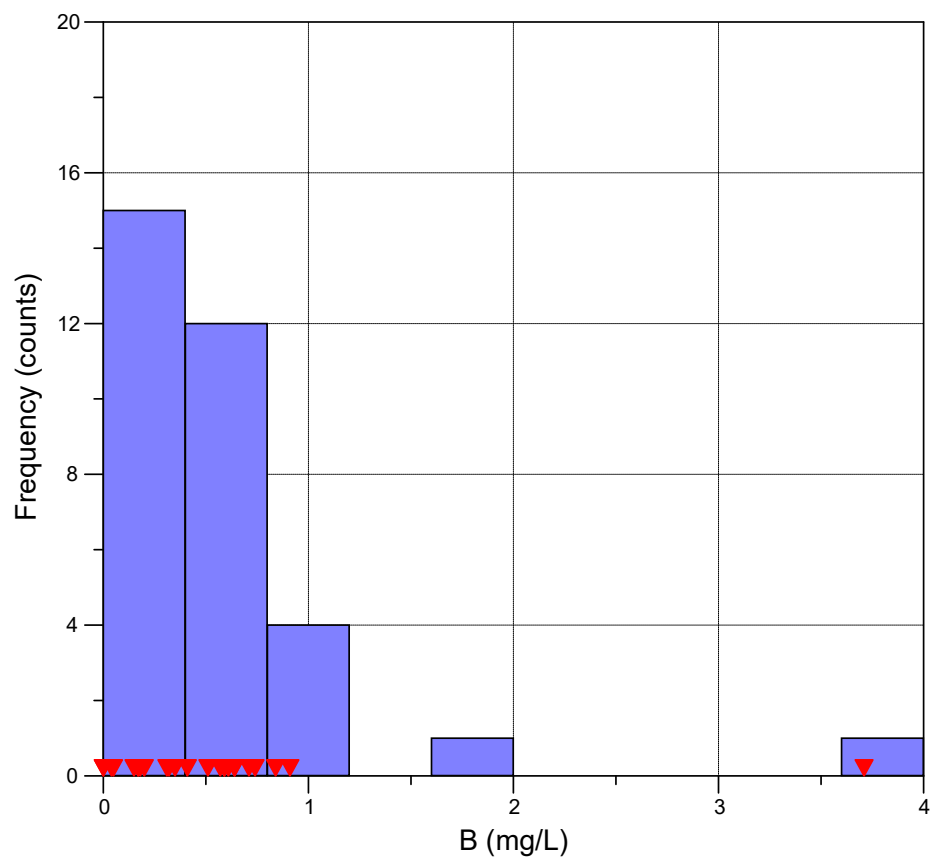


Рисунок 5.18 – Диаграмма наиболее характерной концентрации бора в подземных водах

5.1 Карьерные воды

Спецификой формирования вод в горнодобывающих районах является широкий диапазон изменения pH, наличие разнообразных металлов, железа, содержание которых зачастую превышает типичные для подземных вод катионы – кальций, магний, натрий.

Традиционно для графического представления результатов анализов качества воды применяются такие графики, как диаграммы Пайпера и Дурова (рис. 5.19) и др. [Volkersdorfer, 2008]. По многочисленным анализам проб карьерных вод установлено, что по химическому составу воды хлоридно-сульфатные магниевые-натриевые с минерализацией 4-13 г/дм³.

Для наглядного представления и интерпретации особенностей формирования подземных вод в горнодобывающих районах используется диаграмма У. Фиклина [Plumlee et al., 1992]. Диаграмма Фиклина (рис. 5.20) дает возможность наглядно представить гидрогеохимические особенности различных типов вод месторождений полезных ископаемых, позволяет провести полноценный гидрогеохимический анализ их формирования, выполнить геоэкологическую их оценку и сделать предварительный прогноз с использованием данных на объектах-аналогах как при отработке месторождения, так и на постэксплуатационном этапе.

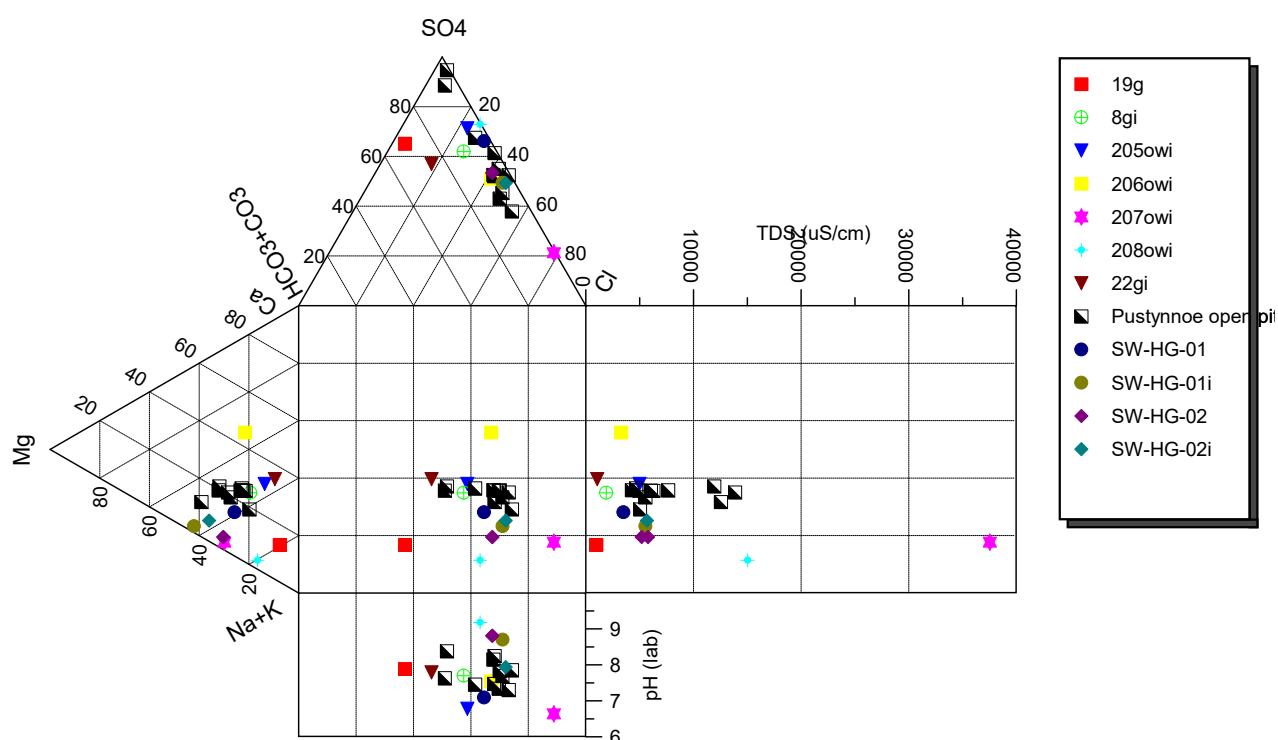


Рисунок 5.19 – Диаграмма Дурова химического состава карьерных и подземных вод по скважинам, расположенным в пределах области дренирующего влияния и удалённых от нее

В работе Дж. Пламли с соавторами [Plumlee et al., 1999] было выполнено обобщение результатов изучения состава шахтных (*AMD – Acid Mine Drainage*) и природных (*ARD – Acid Rock Drainage*) кислых вод для широкого спектра типов месторождений полезных ископаемых и минералогических зон в пределах залежей в различных климатических условиях.

Результаты интерпретации этих данных позволили установить диапазоны изменения показателей в шахтных водах, которые формируются в различных минералогических зонах и при наличии разнообразных типов руд [Plumlee et al., 1999].

Используя выделенные типы, было установлено, что в пределах исследуемой территории воды по соотношению сульфатов и величины водородного показателя преимущественно солёные и нейтральные с величиной pH 6-9, при этом фиксируются и кислые воды, соответственно характеризующиеся величиной pH 3-6,2.

По отношению суммы металлов к pH воды нейтральные металльные – до $n \cdot 10^2$ мг/л и умерено металльные – до $n = 1$ мг/л.

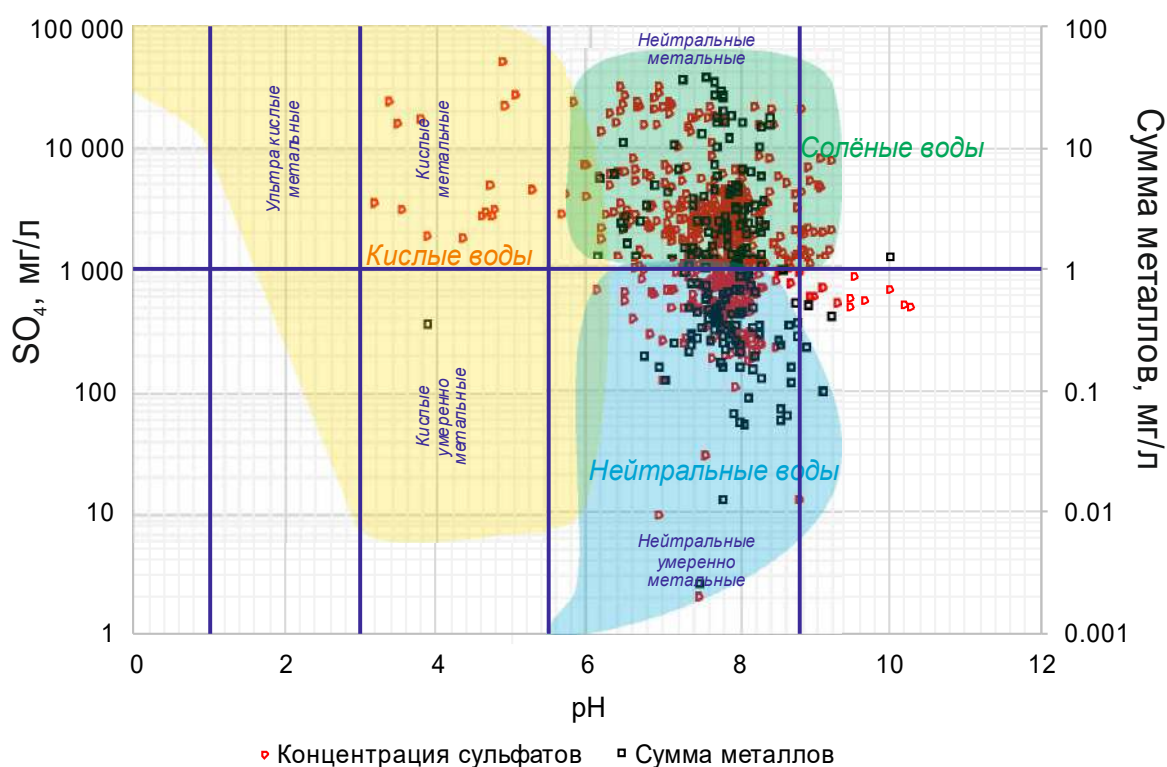


Рисунок 5.20 – Диаграмма У. Фиклина типов вод в пределах объекта исследований по зависимости концентрации сульфатов и суммы металлов от pH

5.2 Изотопный состав подземных вод

В процессе проведения обследования и отбора контрольных проб были отобраны пробы воды на стабильные изотопы ^{18}O дейтерий ^2H с целью оценки условий формирования подземных вод.

Изотопный анализ проводился в филиале Института радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра РК в г. Курчатов.

Согласно полученным результатам изотопного анализа содержание стабильных изотопов в исследуемых водах изменяется в следующих пределах: от 5,2‰ до -15,2‰ по ^{18}O ; от 12,8‰ до -112,0‰ по ^2H (рис. 5.21).

Для уточнения особенностей и условий формирования подземных вод анализируемые пробы наложены на ГЛМВ³ и проведен сравнительный анализ, результаты сопоставления представлены на рисунке 5.22.

Согласно полученным данным, можно выделить 2 типа вод по изотопному составу:

первый тип – воды истощенные в результате процессов испарения (2 и 3 карта хвостохранилища, пруд-накопитель технических вод, скважина №№ 206сн, 210сн и 211сн). Выделенные в этой группе скважины расположены в пределах влияния пруда-накопителя, что также подтверждается динамикой уровней подземных вод;

второй тип – воды не подверженные процессу испарения, питание которых осуществляется за счет атмосферных осадков (скв. №№ 22г, 2г, 8г, 17г, 4г, 19г, 10г, 24г, 6э, 1э, 202сн, 205сн, SW-HG-02, SW-HG-01).

Для проверки выше полученных данных построена гистограмма изменения дейтериевого эксцесса, который показывает степень подверженности вод к процессам фракционирования.

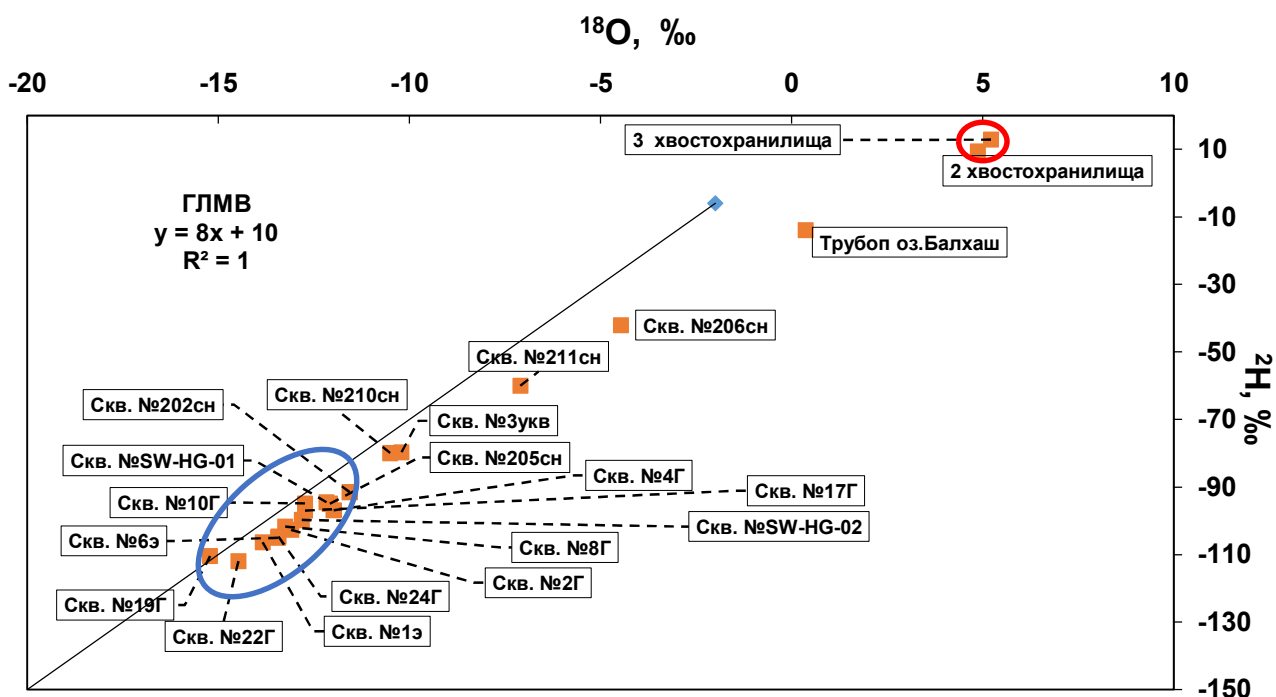


Рисунок 5.21 – Сравнительный изотопный анализ

³ Глобальная линия метеорных вод.

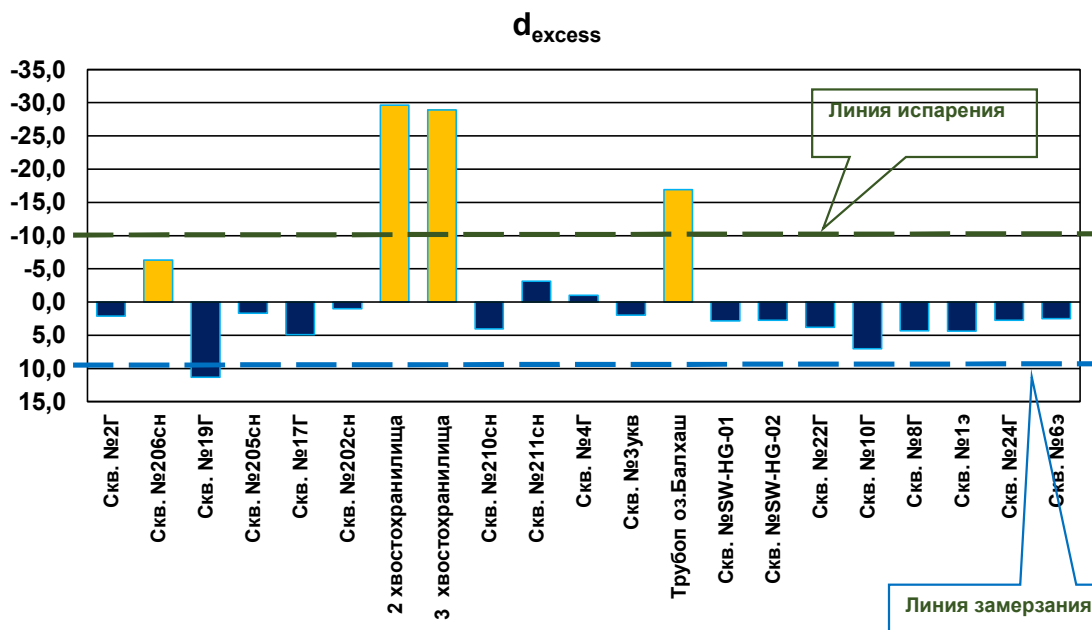


Рисунок 5.22 – Изменение дейтериевого эксцесса в исследуемых водах.

Согласно рисунку 5.22 воды в прудках карт хвостохранилища и воды прудов накопителей подвержены процессу испарения. Остальные же воды не подвержены процессу испарения.

Если учитывать дату отбора образцов, возможно, изотопный состав подземных вод не подвержен изменениям и стабильно сохраняет изотопный баланс.

6 ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РАБОТ

Для оценки влияния техногенных факторов на изменение гидрогеологических условий золоторудного месторождения Пустынное были проведены полевые работы, заключающиеся в обследовании и гидрохимическом опробовании точек наблюдения (мониторинговые скважины, пруд-накопитель, карты хвостохранилища и водопроявления).

Техническим заданием предусматривалось произвести отбор 36 проб воды, из них 32 основные и 4 контрольные пробы на определение нефтепродуктов, фенолов, взвешенных веществ, pH, общей минерализации (сухой остаток), HCO_3 , Cl, SO_4 , Na, K, Ca, Mg, жесткости общей, фосфатов, аммония, нитритов, нитратов, ХПК, БПК, СПАВ, железа, меди, кадмия, свинца, цинка, ртути, марганца, кобальта, магния, хрома (III), хрома (VI), никеля, алюминия, натрия, фтора, бора и цианидов (общего, свободного и WAD-цианида), а также ксантогенатов.

Всего было отобрано 9 проб воды из открытых источников и 27 проб из скважин (из них 23 основные и 4 контрольные пробы).

После отбора пробы воды на цианиды и ксантогенаты подвергались заморозки в течение 2 часов.

Помимо предусмотренного в техническом задании объема проб на компоненты химического состава воды, было отобрано 29 проб на определение стабильных изотопов ^{18}O и ^2H .

Отбор проб подземных вод осуществляется в соответствии инструкциями и методиками [1-3].

6.1 Эколого-гидрогеологическое обследование объекта

Результаты гидрогеологического обследования территории характеризуют рельеф исследованной территории как техногенно-нарушенный, сформированный в результате разработки месторождения Пустынное. Площадь нарушенных земель составляет 6,4 км², из них карьер и породный отвал – 2,2 км², ЗИФ, участок кучного выщелачивания, карты хвостохранилища – 4,2 км².

На формирование режима подземных вод исследуемой территории оказывают влияние как горные работы, так и наземные источники загрязнения, такие как хвостохранилище, породный отвал, инфраструктура ЗИФ.

В результате обследования установлено, что отработка месторождения Пустынное карьерным способом незначительно сказывается на состоянии подземных вод. Большее влияние оказывает хвостохранилище (рис. 6.1-6.2), инфраструктура ЗИФ и участок кучного выщелачивания.



Рисунок 6.1 – Водопроявление у основания северо-западной дамбы третьей карты хвостохранилища



Рисунок 6.2 – Водопроявление у основания северной дамбы второй карты хвостохранилища

В целом техногенное воздействие горнопромышленного предприятия оценивается как незначительное и имеющее локальное расположение.

6.2 Оценка состояния существующей сети мониторинговых скважин

На территории месторождения Пустынное были обследованы и опробованы 23 скважины (рис. 6.3-6.6). При обследовании замерялся уровень воды в скважине и ее глубина. После замеров в скважину устанавливался насос и проводилась прокачка скважины для отбора проб воды.



Рисунок 6.3 – Замер уровня на скважине № 2г

В ходе выполнения полевых работ установлено, что уровень подземных вод в скважинах колеблется от 1,95 до 23,75 метров от оголовка скважины, температура воды – от 10,8 до 16,9⁰С. Глубина скважин находится в пределах от 5,92 до 120 м (таб. 6.1).

При обследовании мониторинговых скважин было выявлено, что 60% скважин находятся в неудовлетворительном техническом состоянии. Особенно это касается скважин, пробуренных в 2014 г. по программе в рамках расширения сети.

При проведении прокачек скважин их ствол осушался за несколько секунд или минут, что приводило к остановке насоса. Откачиваемая вода была с высоким содержанием механических примесей. По всей видимости фильтры скважин забиты.

Для получения достоверной информации техническое состояние скважин в обязательном порядке должно соответствовать установленному.

Таблица 6.1 – Данные по скважинам полученные при маршрутном обследовании

№№ п/п	№ скважины	Уровень, м	Глубина, м	Температура, С°	Водородный показатель рН	μS
1	2г	2,8	47,95	10,9	6,4	5430
2	206сн	4,78	20,05	13,5	7,4	4940
3	19г	23,75	57	12,8	8,8	902
4	208сн	5,45	19	13	9,2	- ⁴
5	207сн	3,55	21,28	12,6	7,7	-
6	205сн	3,65	19,55	11,5	7,5	5470
7	17г	2,8	17,25	11,4	7,8	2980
8	204сн		18,35	13,7	7,6	-
9	203сн	5,84	19,91		6,3	9080
10	202сн	2,56	16,93	16,9	6,2	6460
11	210сн	5,52	20,46	16,5	7,1	4360
12	212н	1,95	19,36	11,4	7	-
13	211н	4	19,16	11,2	6,9	5150
14	15укв	2,35	6,4	-	-	
15	4г	2,93	33,87	11,2	7	7340
16	3укв	1,96	5,92	-	7,6	5880
17	SW-HG-01	11,4	120	-	8,3	6600
18	SW-HG-02	-	120	-	7,8	6730
19	22г	9,2	57	10,8	7,8	1440
20	10г	3,92	44,87	10,8	7,8	1170
21	8г	2,78	38,79	10,9	7,9	2260
22	5г	3,7	7,5	-	-	-
23	1э	3,64	53,55	10,9	7,7	3340
24	24г	11,3	30,65	11,9	7,9	2620
25	6э	9,13	36,4	11,9	-	2020

Скважины должны быть прокачаны эрлифтной установкой с использованием буровой установки. Промывка должна осуществляться от забоя до устья. При необходимости необходимо провести свабирование скважин.

Данные по опробованию водопроявлений, прудов-накопителей и прудков хвостохранилища при маршрутном обследовании приведены в табл. 6.2.

⁴ Из-за высокой минерализации воды электропроводность не определена

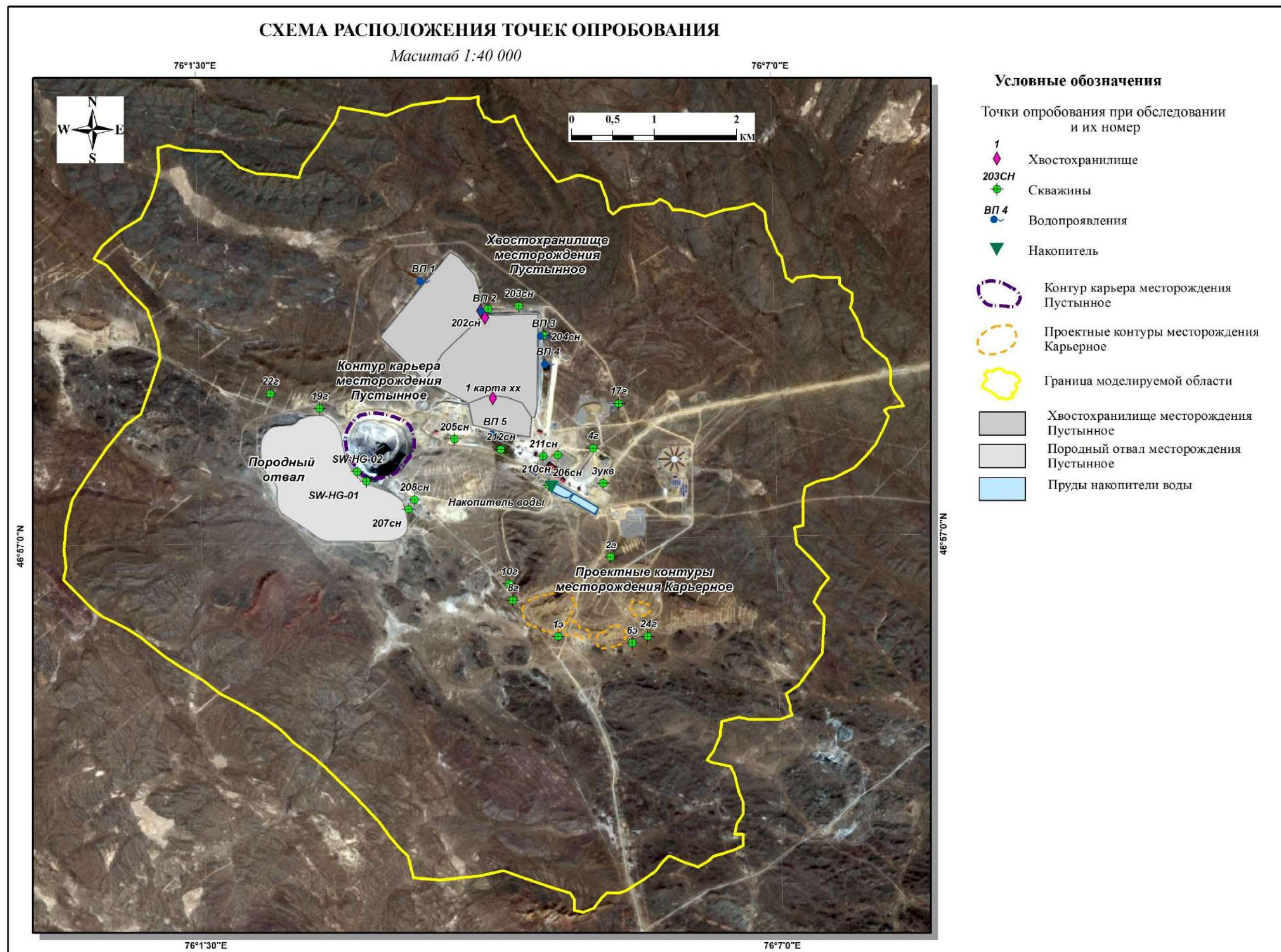


Рисунок 6.4 – Схема расположения точек опробования в пределах территории объекта исследований



Рисунок 6.5 – Прокачка скважины № 212сн

Таблица 6.2 – Данные по опробованию водопроявлений, прудов-накопителей и прудков хвостохранилища при маршрутном обследовании

Наименование	Температура, °C	Водородный показатель, pH	μS
ВП Восточная дамба 2 карты хвостохранилища	20,3	7,8	-
ВП Восточная дамба 2 карты хвостохранилища (2)	18,2	7,3	-
ВП Северная дамба 2 карты хвостохранилища	16,4	7,1	8340
2 карта хвостохранилища	18,8	7,5	-
3 карта хвостохранилища	19,1	8	8310
1 карта хвостохранилища	22,3	8,5	-
Трубопровод с оз. Балхаш (пруд Балхаш)	-	8,1	4030
ВП Северо-западная дамба 3 карты хвостохранилища	-	8,1	-
ВП Южная дамба 1 карты хвостохранилища	-	8	-

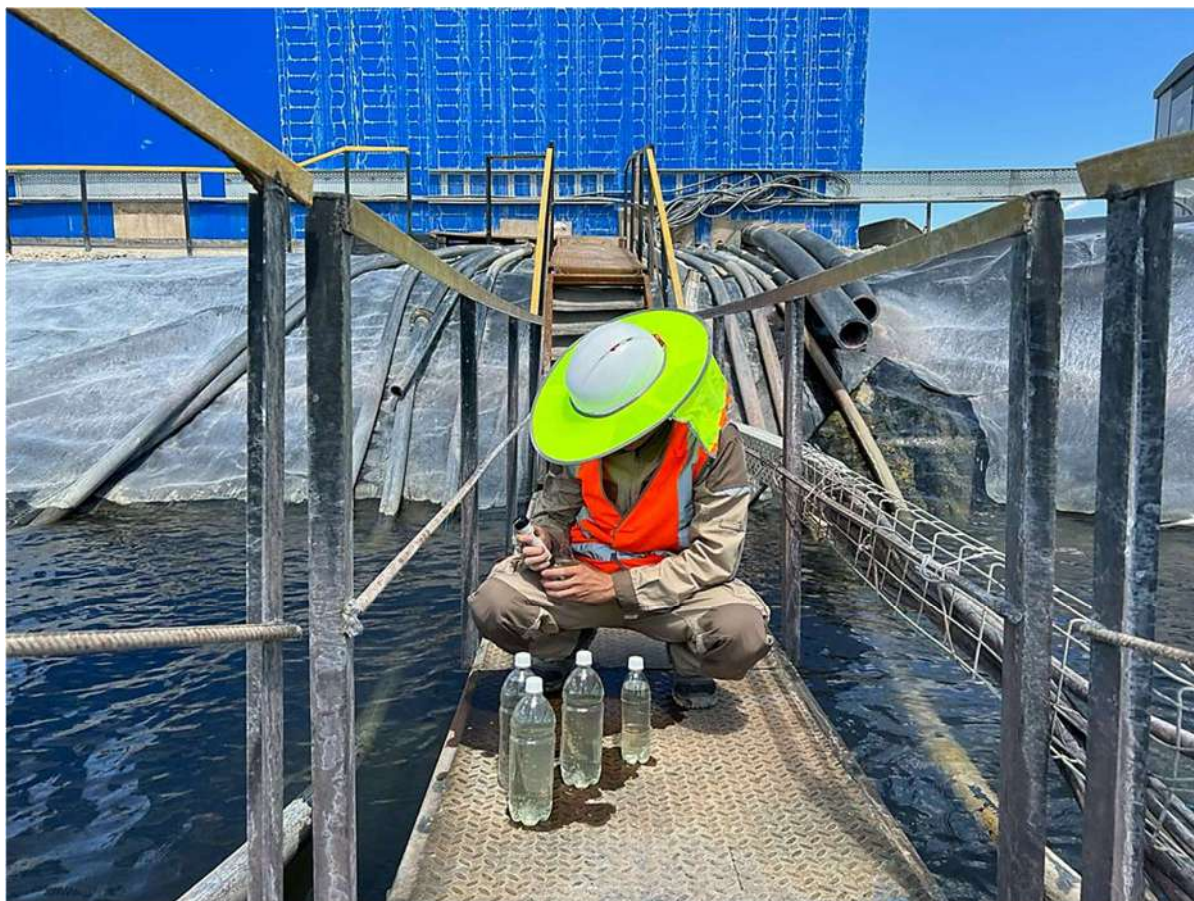


Рисунок 6.6 – Измерение водородного показателя pH на 2-ой карте хвостохранилища

Отобранные в процессе обследования пробы на СХА, ПХА и металлы были исследованы в лаборатории ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина».

Химико-аналитические исследования проб воды на цианиды и ксантогенаты были выполнены в испытательной лаборатории ТОО «НАУЧНЫЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР», г. Алматы.

Результаты исследований позволили охарактеризовать качество подземных вод и определить участки их загрязнения.

7 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью создания математической модели гидрогеологических условий золоторудного месторождения Пустынное является исследование влияния техногенных факторов на подземные воды.

Исходными данными для создания модели являются результаты ранее выполненных работ (архивные данные 1997-2021 гг.), результаты мониторинга подземных вод, а также результаты обследования, выполненного специалистами Hydrogeology Consulting Group в 2022 г.

7.1 Геофильтрационная схематизация объекта

На основе всей имеющейся геологической и гидрогеологической информации, полученной в процессе проведения гидрогеологических исследований и наблюдений за карьерным водоотливом, эксплуатации водозабора, хвостохранилища, участка кучного выщелачивания разработана геофильтрационная модель объекта исследований. При создании этой модели проведены:

- схематизация природной гидрогеологической обстановки, включая фильтрационную схематизацию толщи водовмещающих отложений на основе анализа литолого-фациальных данных и данных о фильтрационных параметрах;
- обоснование граничных условий для потоков подземных вод и уточнение фильтрационных параметров (плановых и вертикальных) водовмещающих отложений;
- дискретизация моделируемой области по горизонтали и в вертикальном разрезе по данным анализа особенностей геологической и гидрогеологической стратификации и литологии водоносных зон трещиноватости;
- построение модельных карт параметров и создание расчетной схемы модели;
- калибровка геофильтрационной модели для уточнения гидрогеологических параметров.

Для создания геофильтрационной модели необходимы (и достаточны) следующие исходные данные:

- геолого-гидрогеологический разрез области фильтрации;
- поля фильтрационных и емкостных параметров водоносного пласта;
- геометрические очертания области фильтрации;
- особенности водоприемной системы (карьера) и ее изменений на всем протяжении разработки месторождения.

Моделируемая область представлена зоной трещиноватости осадочных, вулканогенно-осадочных, терригенно-осадочных, метаморфических и интрузивных пород.

Исследуемая территория характеризуется техногенными нарушениями гидрогеологических условий. Основными объектами, оказывающими существенное влияние на состояние подземных вод, являются: карьер, породный отвал, карты хвостохранилища, пруды накопители технических вод, водозаборные скважины месторождения Пустынное.

Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и потерь воды под хвостохранилищем, прудами накопителями. Расходные статьи баланса – испарение с поверхности земли, отток в карьер и отбор воды из водозаборных скважин.

7.2 Схематизация природных условий в плане

Внешние границы модели проведены по результатам анализа данных цифровой модели рельефа, данных топографии, геологическим элементам.

Внешними границами модели являются юго-западная и часть западной границы модели в соответствии с геологическим строением схематизированные граничными условиями I рода (*Specified Head*), предполагающими задание уровней подземных вод, и III рода (*General Head*), отражающими взаимосвязь подземных вод с внешней фильтрационной средой. Остальные внешние границы соответствуют водоразделу. Они характеризуются отсутствием потока подземных вод и заданы граничными условиями II рода (*Specified Flow*) с нулевым расходом.

Карьер схематизирован граничными условиями II рода *Drain*, предусматривающими задание зависимости абсолютной отметки дна карьера от времени. Линия местного водораздела задана граничным условием II рода *Barrier* с нулевой проводимостью. Линии разломов представлены граничным условием II рода (*Barrier*). Часть внутренних границ модели, соответствующих границам малых водосборных бассейнов, схематизированы как линейные объекты *Drain*. Для водозаборных скважин использованы граничные условия II рода (*Well*), представляющие стоки с заданным расходом.

Инфильтрационное питание и испарение задавались по всей площади модели. Для участков расположения породного отвала, хвостохранилища и прудов накопителей задавалось дополнительное площадное питание, величина которого корректировалась в процессе калибровки модели.

7.3 Схематизация природных условий в разрезе

По данным опытно-фильтрационных работ, проведённых на данной территории в разрезе выделено пять слоев. Мощность первого

слоя, соответствующего покровным отложениям, задана равной 2 м. Зона активной трещиноватости выделена во второй слой мощностью 20 м. Залегающая ниже зона трещиноватости разделена на слои мощностью 50 и 100 м. Нижняя граница модели проведена на уровне - 50 м Балтийской системы высот.

Площади загрязнения подземных вод, оконтуренные по фактическим данным, отображены на модели граничными условиями I рода *Specified Concentration*, подразумевающими задание концентраций микрокомпонентов (кадмия, марганца, бора, нефтепродуктов и цианидов).

Для решения задачи прогнозирования влияния техногенеза на изменение гидрогеологических условий месторождения Пустынное на модели были решены гидродинамические и геомиграционная задачи.

Трехмерная стационарная фильтрация потока подземных вод в общем случае описывается уравнением

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - W = 0 \quad (7.1)$$

с начальными условиями

$$h(x, y, z) = H_0(x, y, z) \quad \text{на } \Omega$$

с граничными условиями

$$h(x, y, z) = H(x, y, z) \quad \text{на } \Gamma_1$$

$$K_n \frac{\partial h(x, y, z)}{\partial n} = Q(x, y, z) \quad \text{на } \Gamma_2$$

$$K_n \frac{\partial h(x, y, z)}{\partial n} = \psi[h(x, y, z)] \quad \text{на } \Gamma_3$$

где, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} – коэффициенты фильтрации по направлению координатных осей x, y и z (Lt^{-1}); h – напор (L); W – объемный поток на единицу объема, представляет источники и/или стоки воды (t^{-1}); S_s – коэффициент водоотдачи пористого материала (L^{-1}). В общем случае функции $S_s, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}, W$ могут быть функциями пространственных координат ($S_s = S_s(x, y, z), K_{xx}(x, y, z)$ и т.д.). Ω – моделируемая область, $H_0(x, y, z)$ – известное распределение напора в начальный момент времени; Γ_1 – граница с заданным напором, $H(x, y, z, t)$ – значение напора вдоль границы Γ ; Γ_2 – граница с заданным расходом воды, K_n – коэффициент фильтрации по нормали к границе Γ_2 , $Q(x, y, z)$ – расход воды на единицу объема, $\psi[h(x, y, z)]$ – функция, характеризующая взаимосвязь гидрогеологического объекта с внешней средой.

Трехмерная нестационарная фильтрация потока подземных вод в гетерогенной и анизотропной среде в общем случае описывается уравнением

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (7.2)$$

с начальными условиями

$$\begin{aligned}
h(x, y, z, t) &= H_0(x, y, z) && \text{на } \Omega, t = 0 \\
&\text{с граничными условиями} \\
h(x, y, z, t) &= H(x, y, z, t) && \text{на } \Gamma_1, t \geq 0 \\
K_n \frac{\partial h(x, y, z, t)}{\partial n} &= Q(x, y, z, t) && \text{на } \Gamma_2, t \geq 0 \\
K_n \frac{\partial h(x, y, z)}{\partial n} &= \psi[h(x, y, z)] && \text{на } \Gamma_3, t \geq 0
\end{aligned}$$

где, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} – коэффициенты фильтрации по направлению координатных осей x, y и z (Lt^{-1}); h – напор (L); W – объемный поток на единицу объема, представляет источники и/или стоки воды (t^{-1}); S_s – коэффициент водоотдачи пористого материала (L^{-1}); t – время (t). В общем случае функции $S_s, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$ могут быть функциями пространственных координат ($S_s = S_s(x, y, z), K_{xx}(x, y, z)$ и т.д.) и W – функцией пространственных координат и времени ($W = W(x, y, z, t)$). Ω – моделируемая область, $H_0(x, y, z)$ – известное распределение напора в начальный момент времени; Γ_1 – граница с заданным напором, $H(x, y, z, t)$ – значение напора вдоль границы Γ_1 ; Γ_2 – граница с заданным расходом воды, K_n – коэффициент фильтрации по нормали к границе Γ_2 , $Q(x, y, z, t)$ – расход воды на единицу объема, $\psi[h(x, y, z)]$ – функция, характеризующая взаимосвязь гидрогеологического объекта с внешней средой.

Миграция растворенных в подземных водах компонентов в общем случае описывается уравнением:

$$\frac{\partial(\theta C^k)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta D_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C^k) + q_s C_s^k + \sum R_n \quad (7.3)$$

где, C^k – концентрация растворенного k -го компонента (ML^{-3}); θ – пористость фильтрационной среды, безразмерная величина; t – время; x_i – координата, соответствующая i -ой декартовой оси координат, (L); D_{ij} – тензор коэффициента гидродинамической дисперсии ($L^2 T^{-1}$); v_i – скорость фильтрации ($L T^{-1}$); она определяется как поток Дарси через отношение $v_i = q_i / \theta$; q_s – объемный поток на единицу объема водоносного горизонта, представляющий источник (положительный) или сток (отрицательный) (T^{-1}); C_s^k – концентрация растворенного k -го компонента в источнике или стоке (ML^{-3}); $\sum R_n$ – член, отражающий процессы сорбции.

Для решения приведенных выше уравнений стационарной и нестационарной фильтрации (7.1) и (7.2) использовался модуль MODFLOW, для уравнения массопереноса (7.3) – модуль MT3DMS системы моделирования GMS.

7.4 Создание математической модели

Исходные данные подготовлены с помощью географической информационной системы ArcGIS [26]. Решение задач фильтрации

подземных вод и миграции растворенных загрязняющих веществ осуществлялось с помощью системы математического моделирования подземных вод GMS [27].

Моделируемая область в плане аппроксимирована равномерной ортогональной сеткой размером 112x109 с шагом 100 м, в разрезе – в виде 5 слоев мощностью от 2 до 100 м (рис. 7.1).

Поверхность земли задавалась на основе топографических карт, цифровой модели высот земли Copernicus GLO-30 Digital Elevation Model [28] и космоснимков Sentinel-2A (10 м) [29]. Отметки каждого слоя рассчитывались с помощью встроенного в GMS инструмента *Data Set Calculator* (рис. 7.2)

Для всех выделенных слоев сформированы карты фильтрационных параметров на основе результатов проведенных опытно-фильтрационных работ и анализа архивных материалов (рис. 7.3-7.6). Коэффициент фильтрации для зоны трещиноватости уменьшается с глубиной от 0,15-0,5 (местами 1,0-2,0) до 0,001 м/сут. Для отдельных участков коэффициент фильтрации задан 0,0001-0,0005. Коэффициенты упругой и гравитационной водоотдачи заданы в пределах 0,01-0,03 и 0,00001-0,00004 соответственно.

Необходимо отметить, что фильтрационные параметры и величины дополнительных фильтрационных потерь для породного отвала, хвостохранилища и прудов накопителей уточнялись в процессе калибровки модели.

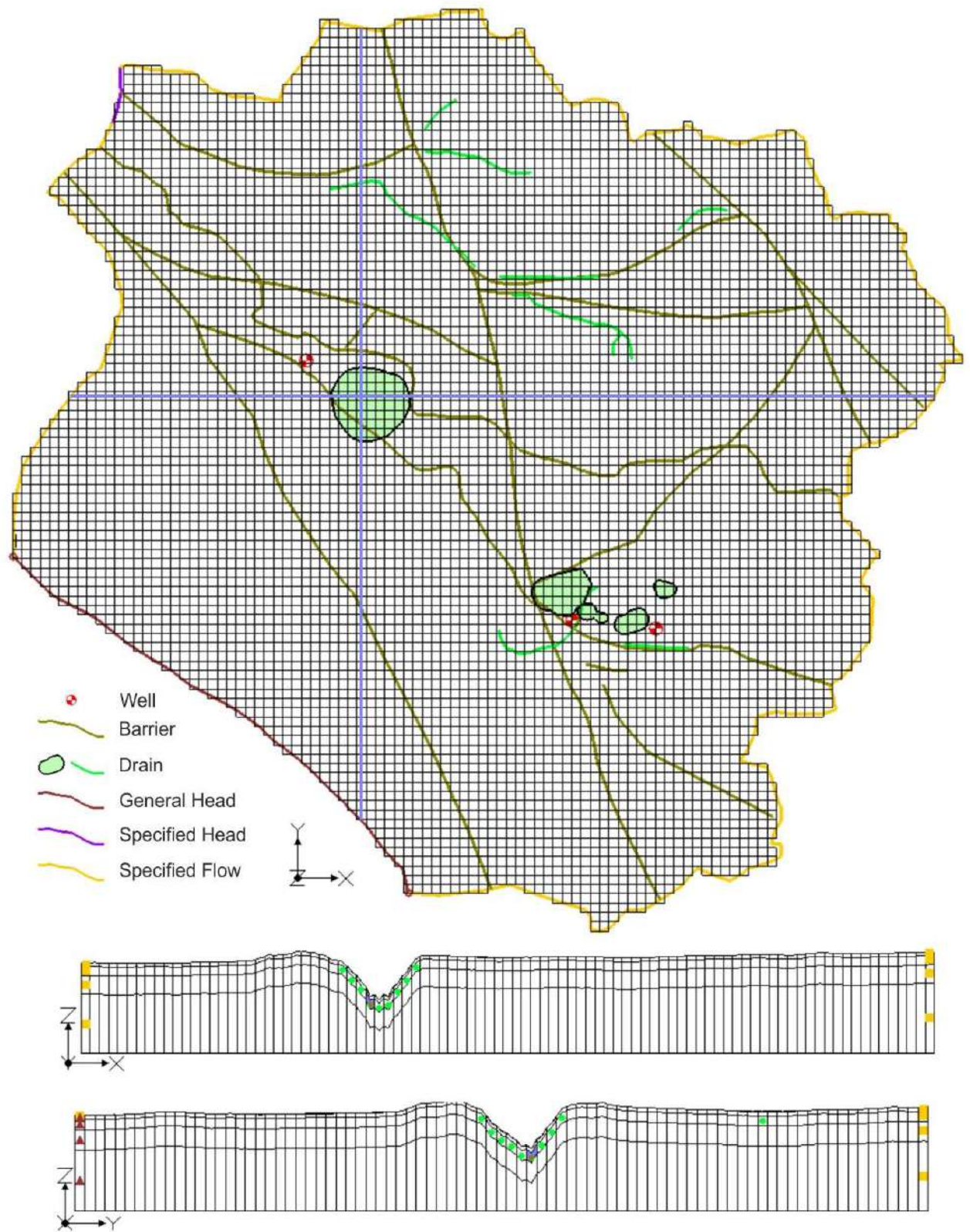


Рисунок 7.1 – Схематизация гидрогеологических условий в плане и разрезе

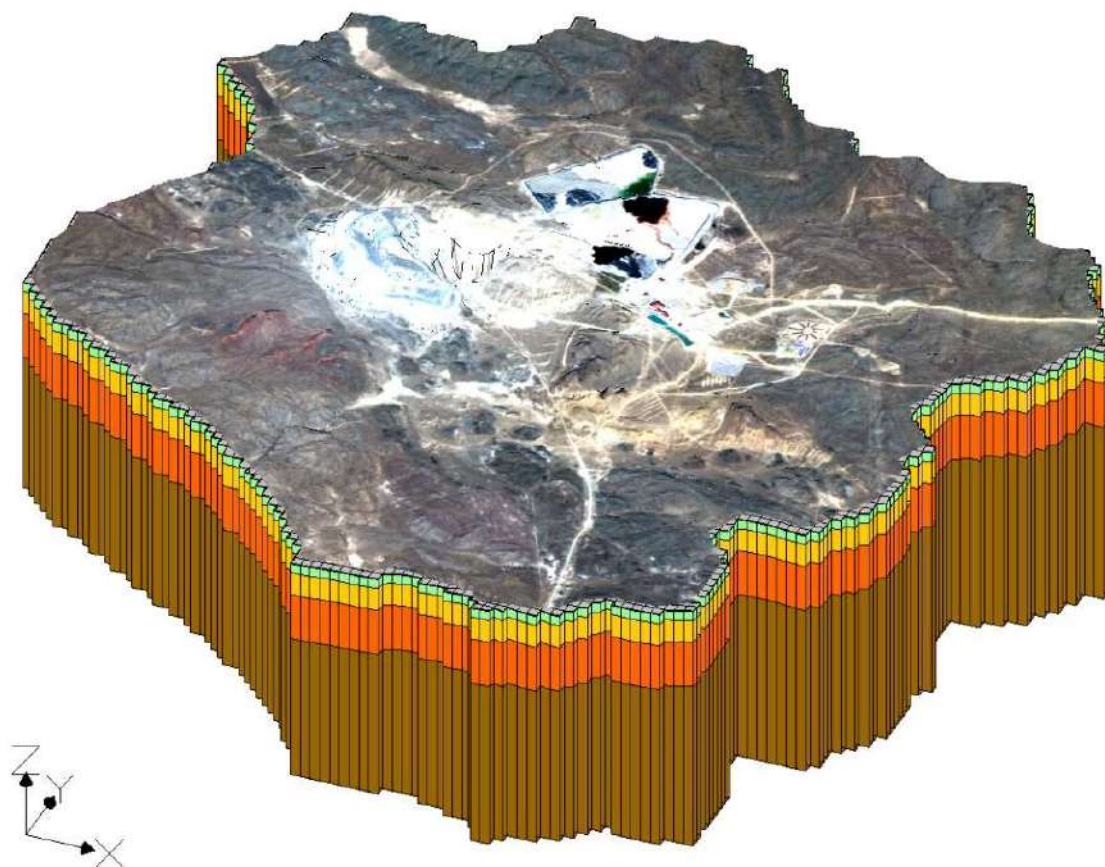


Рисунок 7.2 – Трехмерное отображение области моделирования

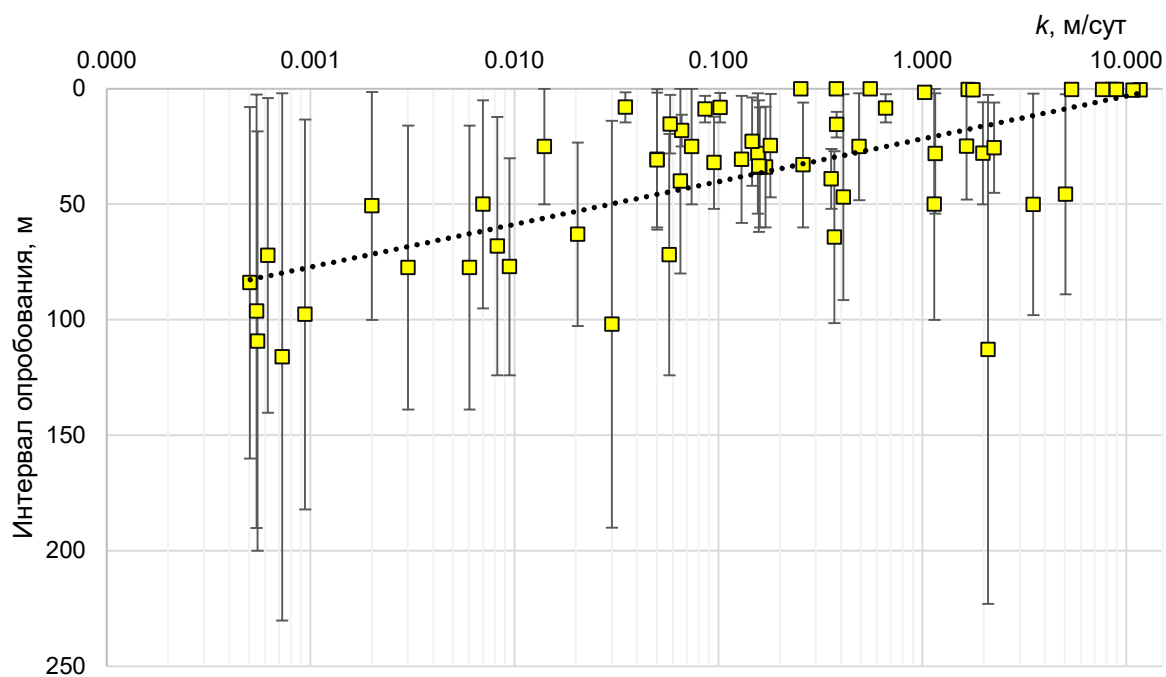


Рисунок 7.3 – Величины коэффициента фильтрации водоносной зоны трещиноватости по данным опробования

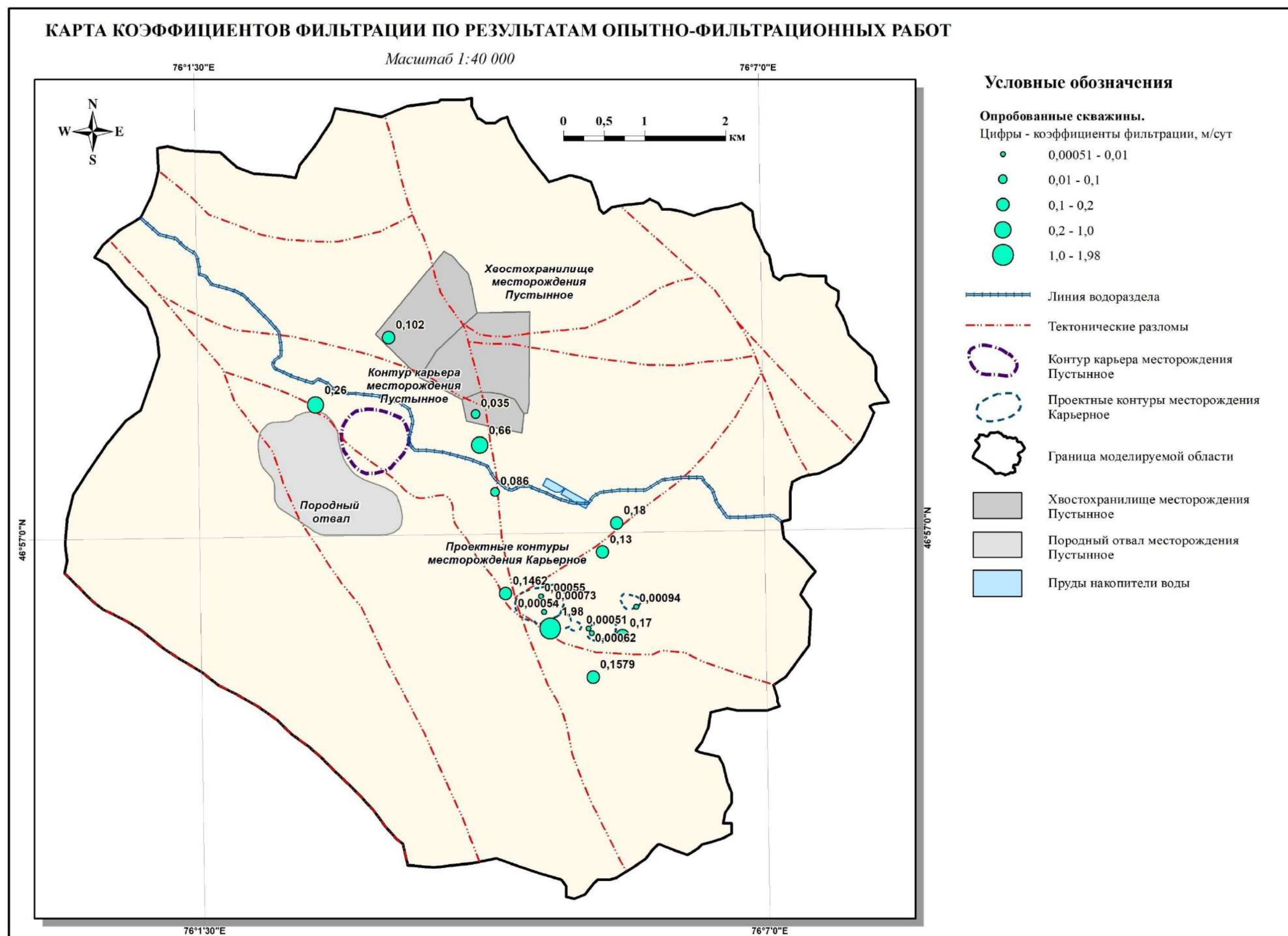


Рисунок 7.4 – Распределение коэффициента фильтрации в плане

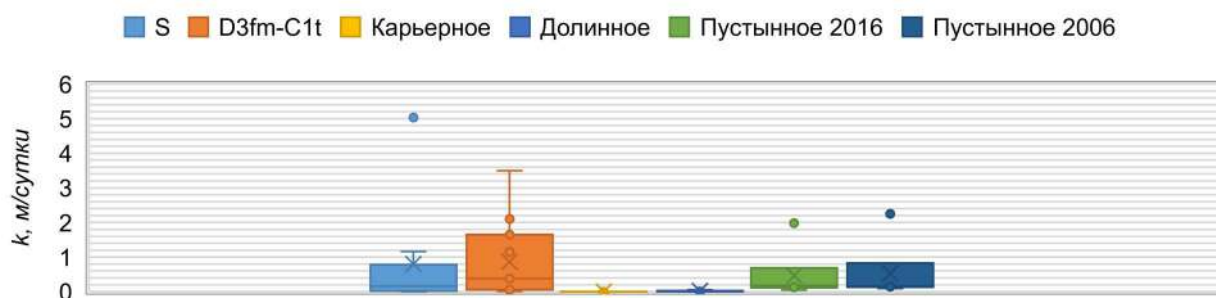


Рисунок 7.5 – Диаграмма размаха коэффициента фильтрации по результатам опробования водовмещающих пород

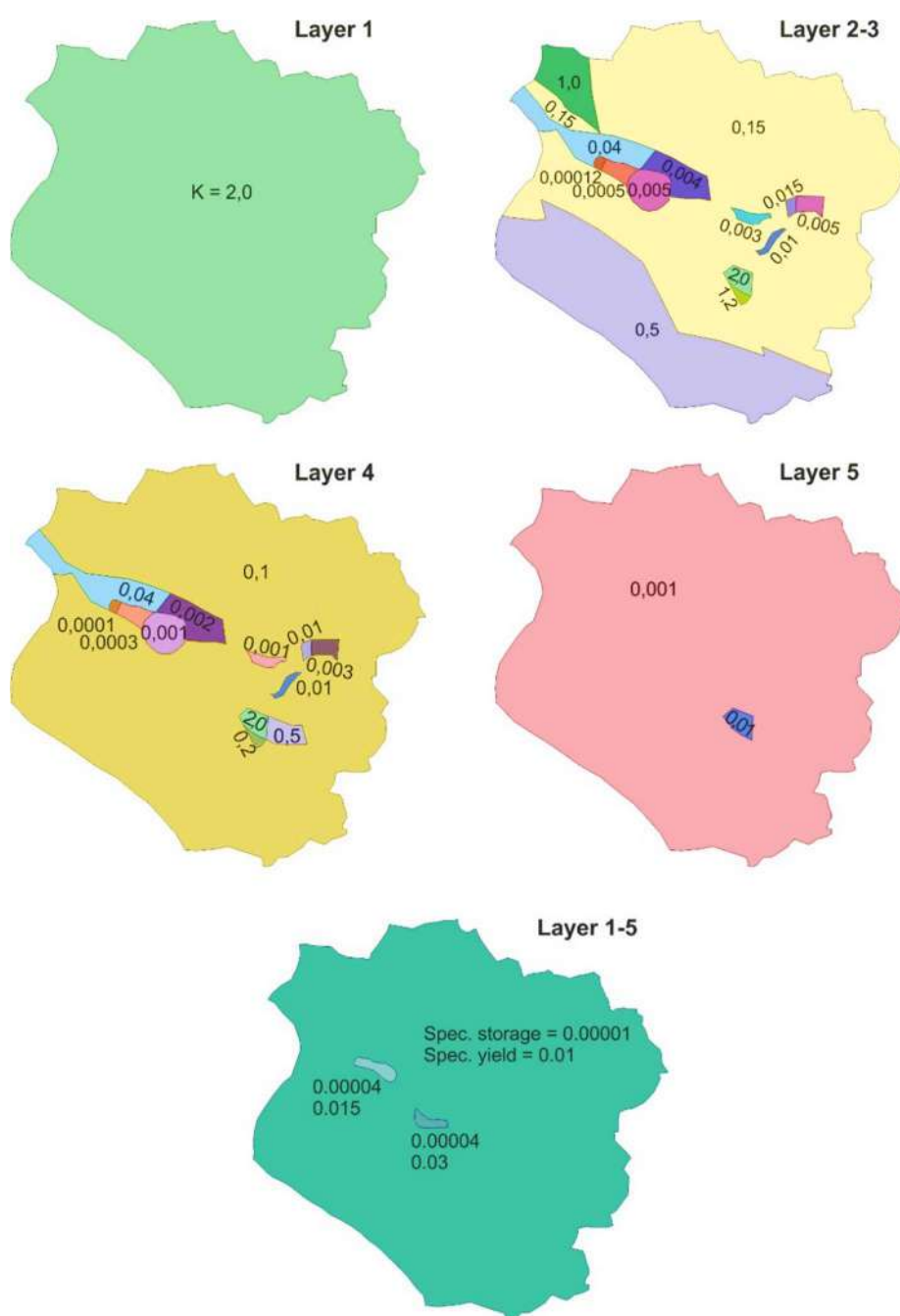


Рисунок 7.6 – Значения фильтрационных параметров, заданные на модели послойно

Величина площадного питания для стационарной задачи задавалась равной 0.00003 м/сут по данным режимных наблюдений. Для нестационарной задачи питание определялось с использованием месячных осадков по метеостанции Балхаш. Величина эффективных осадков распределялась на год, причем значительная их часть задавалась на март и апрель и соответствовала питанию за счёт инфильтрации атмосферных осадков (рис. 7.7).

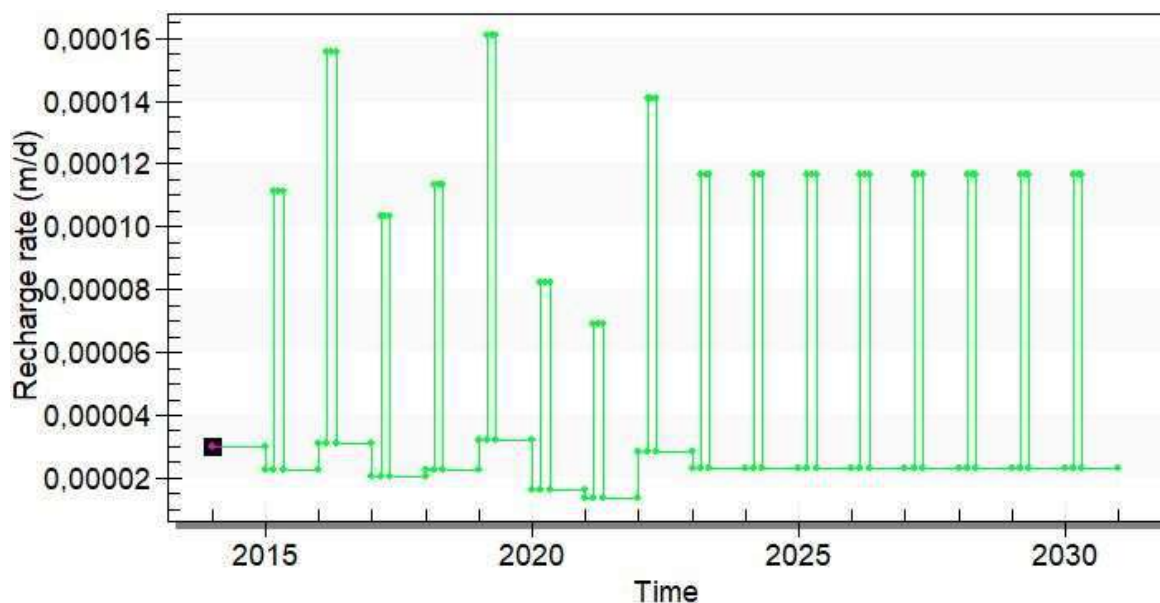


Рисунок 7.7 – График зависимости площадного питания от времени, заданный на модели

7.5 Калибровка модели

Калибровка модели проводилась для доказательства идентичности модели существующим на гидрогеологическом объекте природным условиям. Она заключалась в решении обратной стационарной и эпигнозной гидродинамических задач.

Решение обратной стационарной задачи в классической постановке, предполагающей воспроизведение гидрогеологических условий на ненарушенный период, нельзя осуществить вследствие отсутствия исходных данных.

Регулярные наблюдения за состоянием подземных вод начаты в 2014 г., до этого момента проводились периодические замеры уровней в скважинах. Учитывая, что стабилизация гидродинамических возмущений в трещиноватых породах, развитых в ограниченных гидрогеологических структурах, происходит достаточно быстро (в течение 3-5 лет), большую часть фильтрационных задач можно решать в стационарной постановке [Боревский и др., 1976]. В связи с этим задача рассматривалась в квазистационарной постановке на период глубокой межени 2015 г. (рис. 7.8).

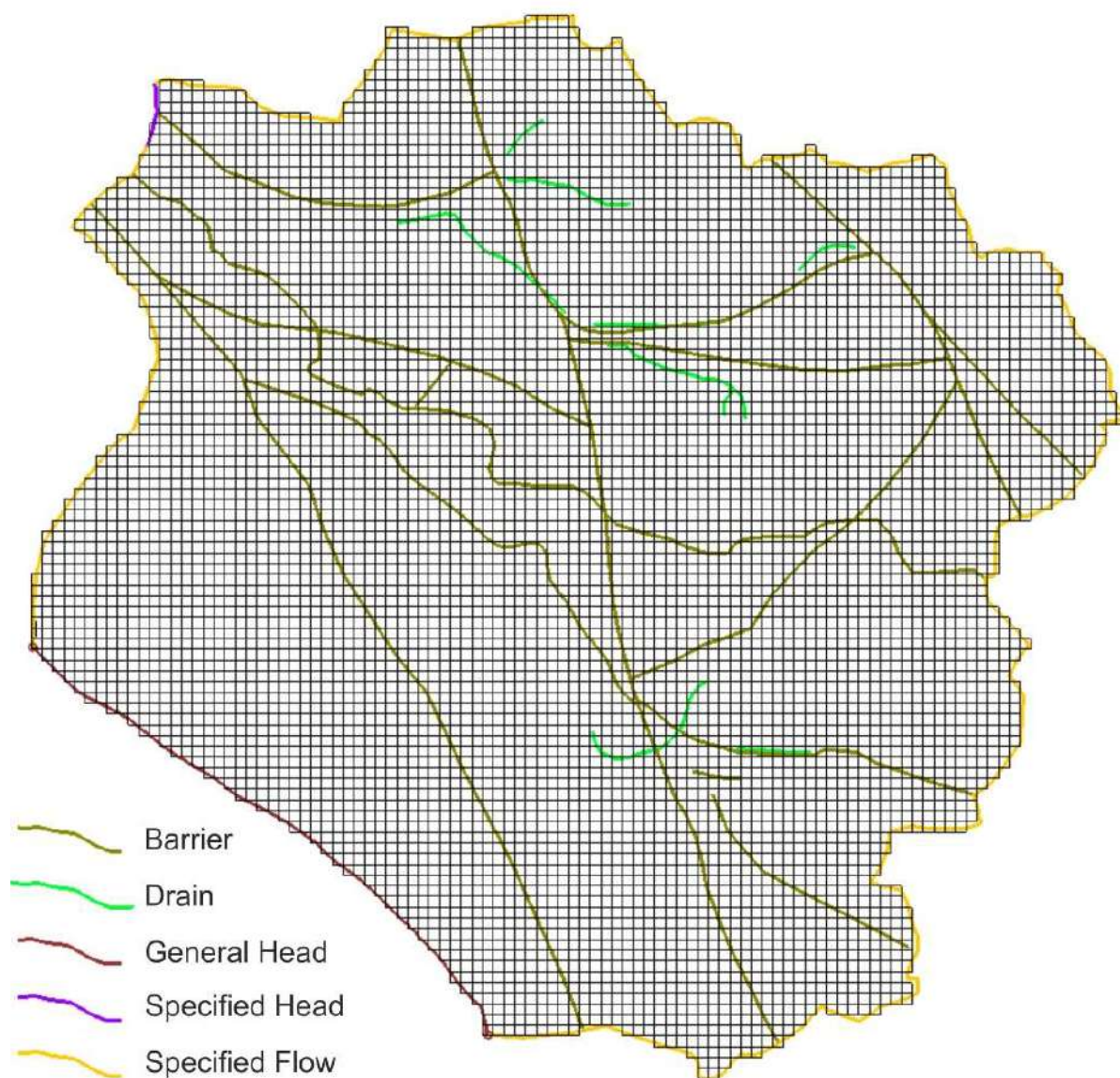


Рисунок 7.8 – Постановка стационарной задачи

В процессе калибровки уточнялись фильтрационные параметры, площадное питание, специфические характеристики объектов типа *Drain*, *Barrier* и *General Head*. Критерием калибровки являлось соответствие рассчитанных на модели значений уровней подземных вод данным мониторинга.

Столбчатые диаграммы рядом с наблюдательными скважинами отображают величину погрешности решения. В целом по модели были рассчитаны среднее значение ошибки, средний модуль отклонения и среднеквадратичное отклонение, которые составили – 0,05, 0,91 и 1,07м соответственно.

$$\text{Mean error} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i) = -0.05$$

$$\text{Mean absolute error} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| = 0.91$$

$$\text{Root squared error} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} = 1.07$$

Таким образом, было получено совпадение уровней в пределах допустимой точности, что позволяет сделать вывод о соответствии созданной математической модели природным условиям (рис. 7.9, 7.10).

Результаты решения конвертированы в геоинформационную систему ArcGIS и представлены на карте гидроизогипс, построенной по результатам решения обратной стационарной задачи (рис. 7.11).

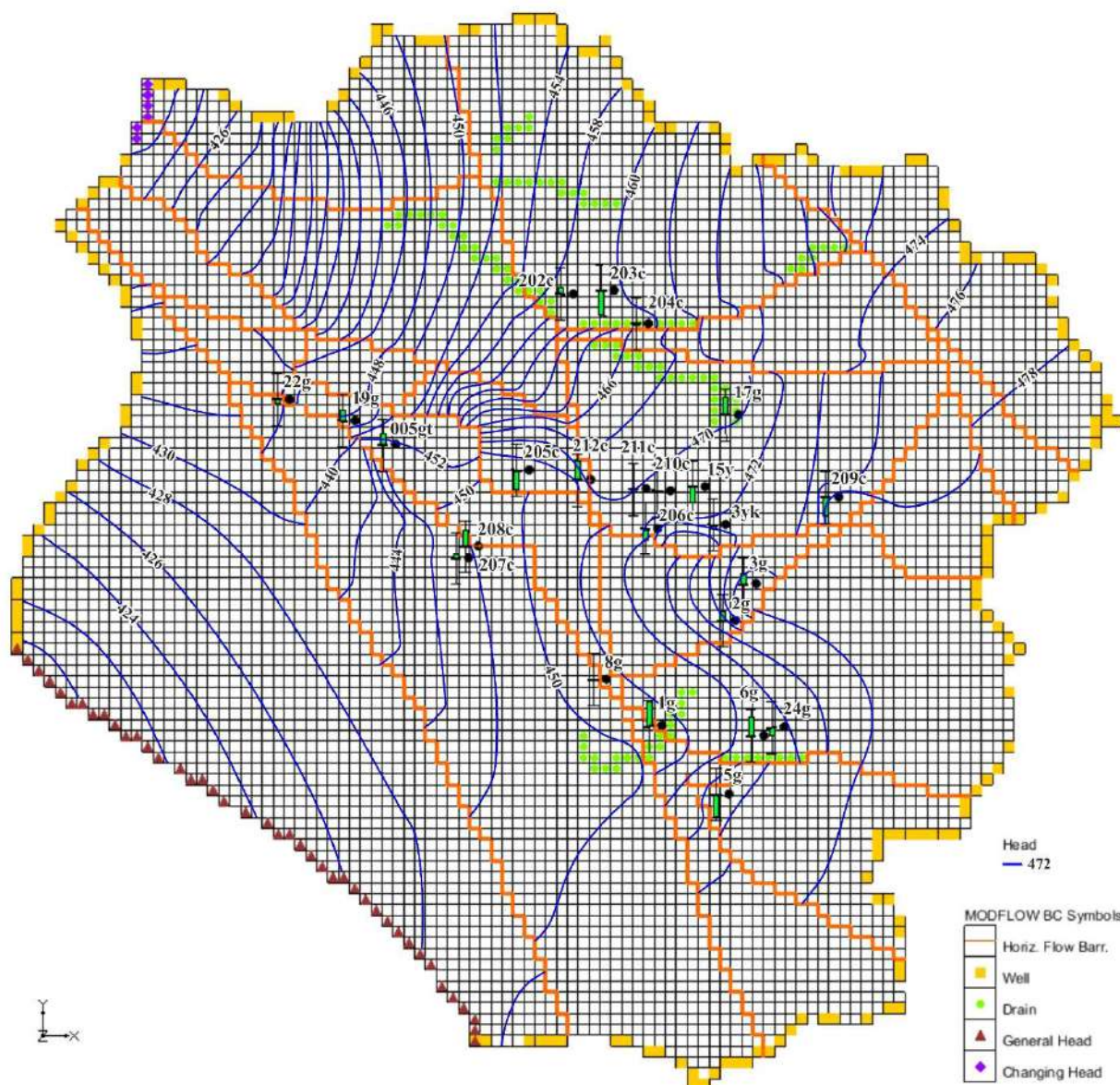


Рисунок 7.9 – Результат решения обратной стационарной задачи

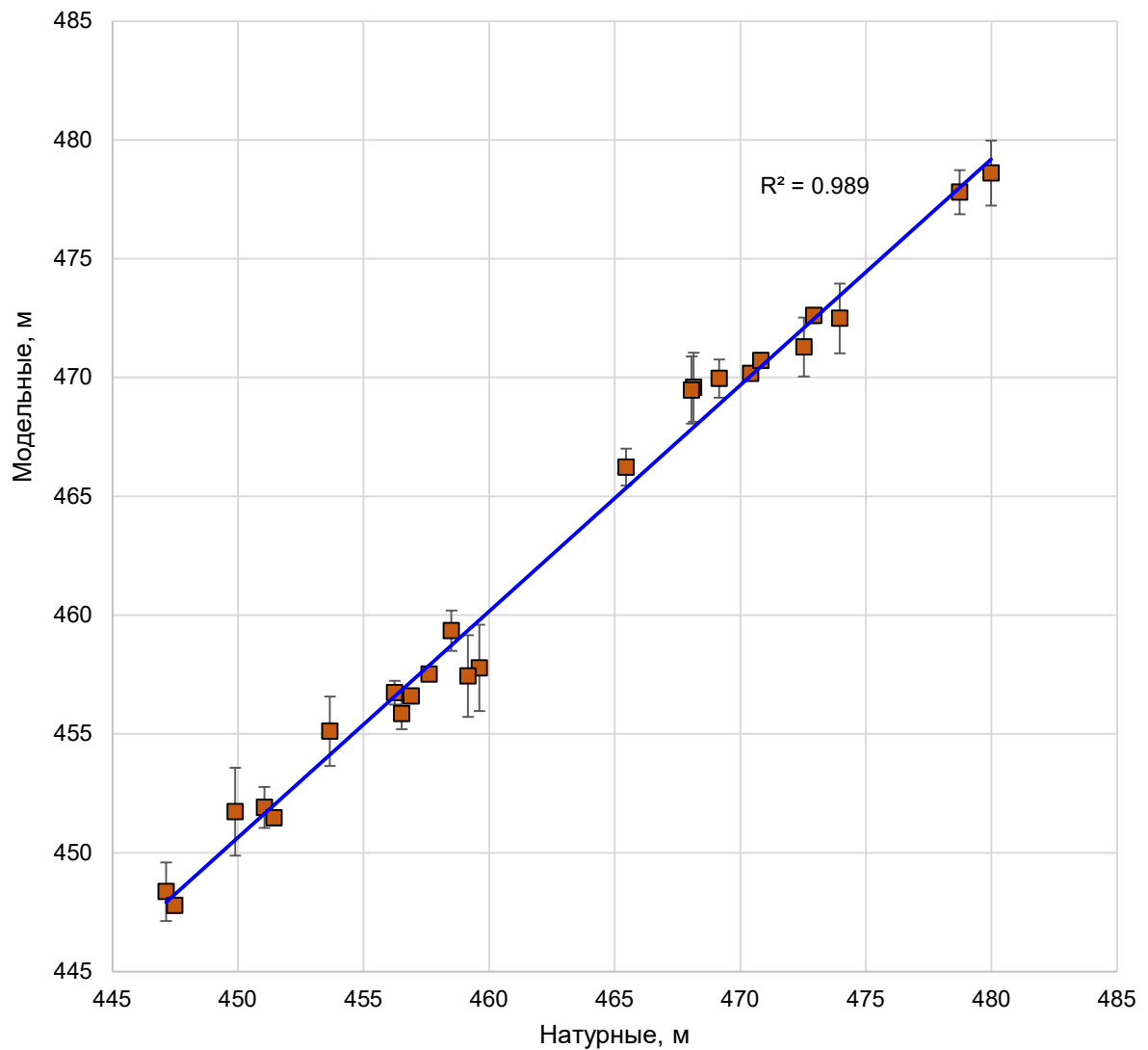
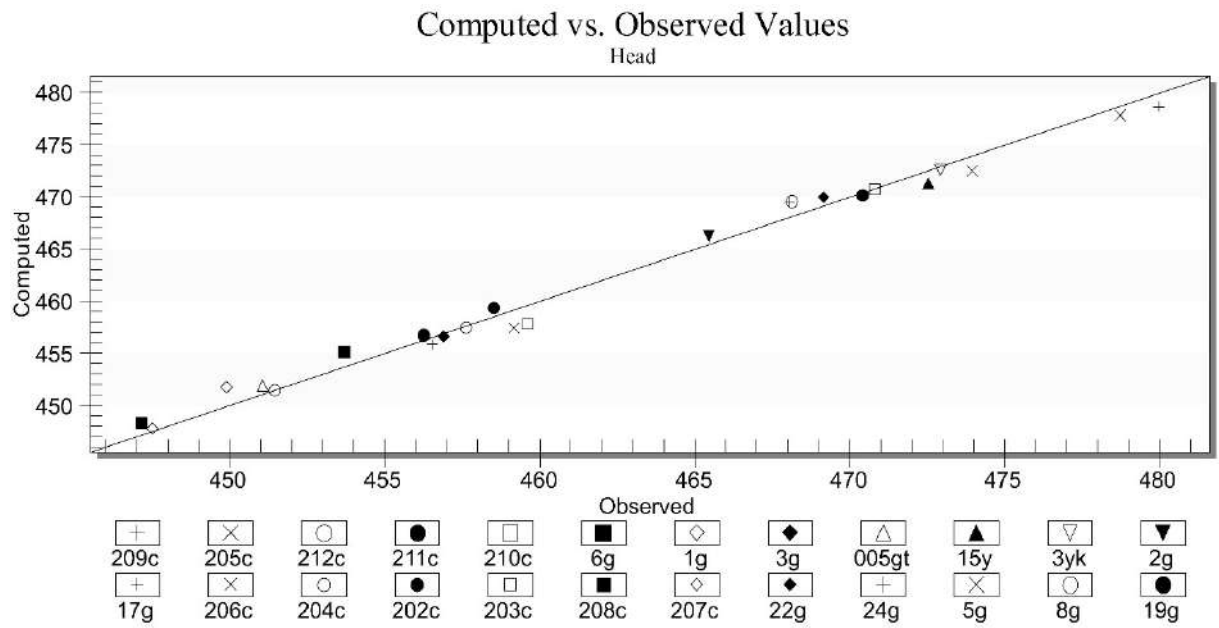


Рисунок 7.10 – Графики соотношения фактических и модельных уровней по результатам решения обратной стационарной задачи

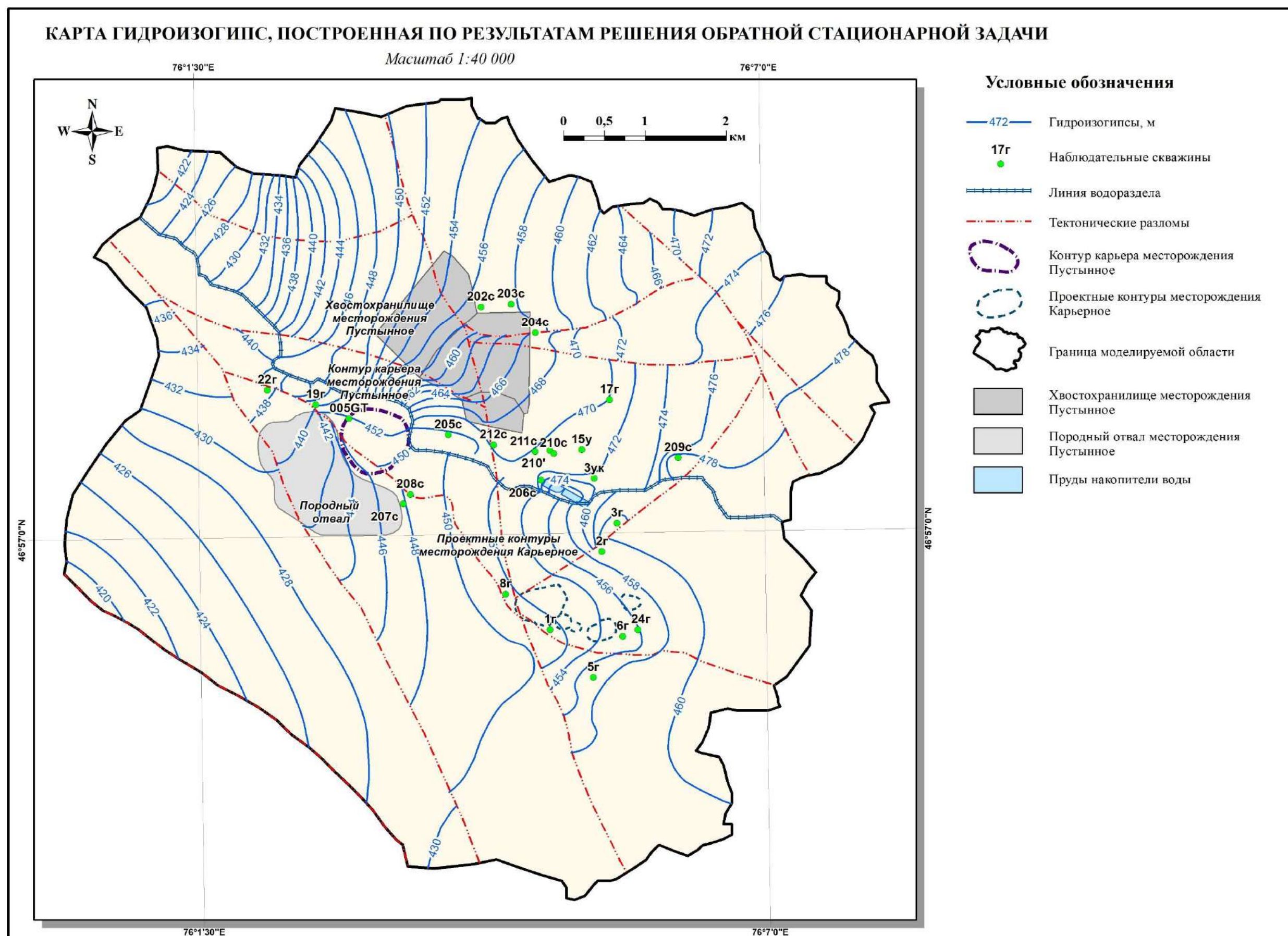


Рисунок 7.11 – Карта гидроизогипс, построенная по результатам решения обратной стационарной задачи на февраль 2015 г.

Решение эпигнозной, или обратной нестационарной задачи заключалось в воспроизведении техногенно нарушенных гидрогеологических условий за период 2015-2022 гг. В процессе решения симитирован карьерный водоотлив и работа водозаборных скважин. Область карьера схематизирована граничным условием типа *Drain* с заданием графика снижения абсолютных отметок дна карьера в процессе его отработки. Калибровка модели заключалась в подборе проводимости трещиноватых пород бортов и дна карьера. Водозаборные скважины заданы точечными объектами со связанными графиками отбора воды. Также уточнялись коэффициенты водоотдачи. (рис. 7.12-7.15).

Следует отметить, что при решении эпигнозной задачи также выполнена корректировка значений коэффициентов фильтрации, что потребовало возврата к стационарной задаче.

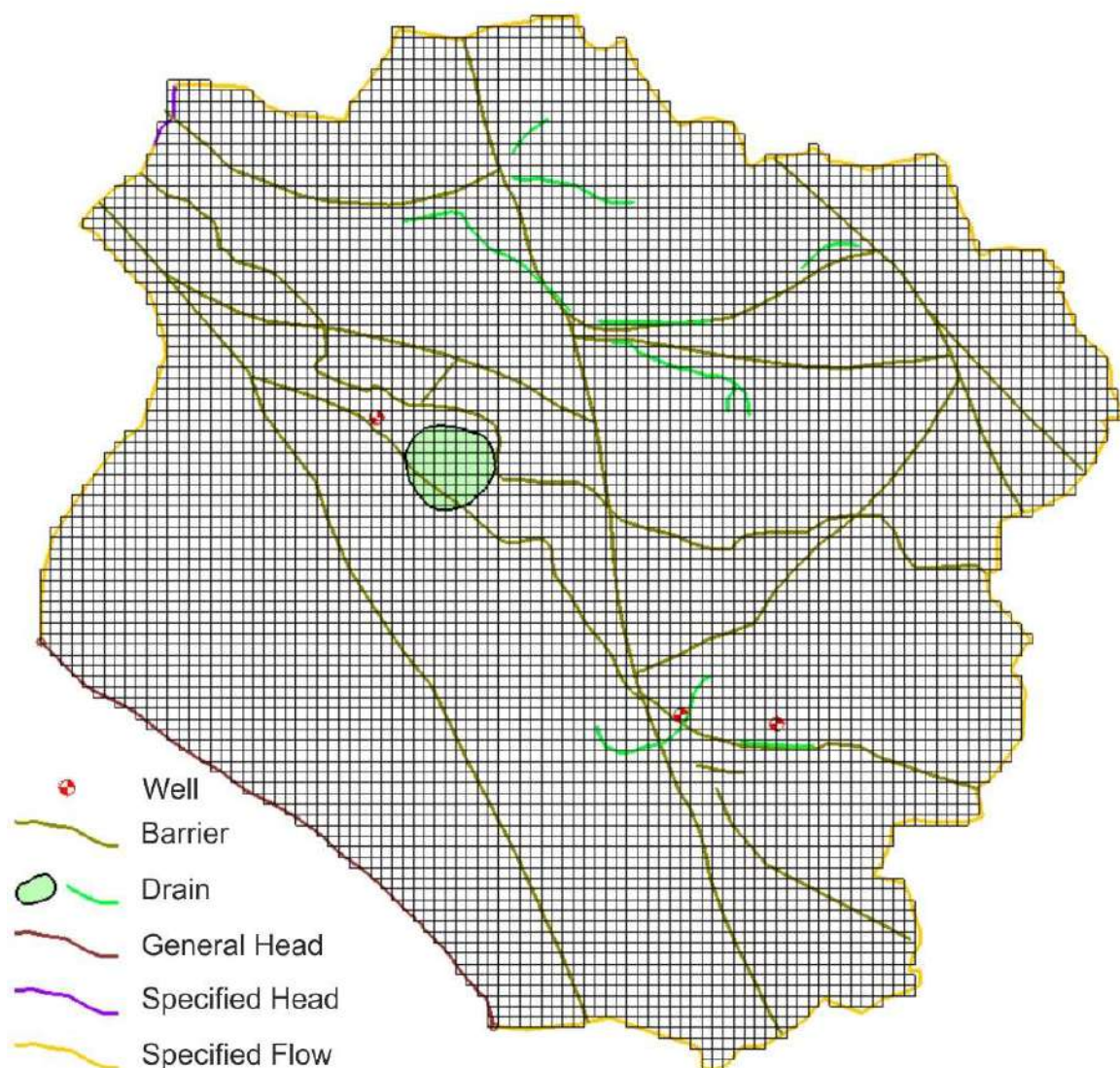


Рисунок 7.12 – Постановка эпигнозной задачи

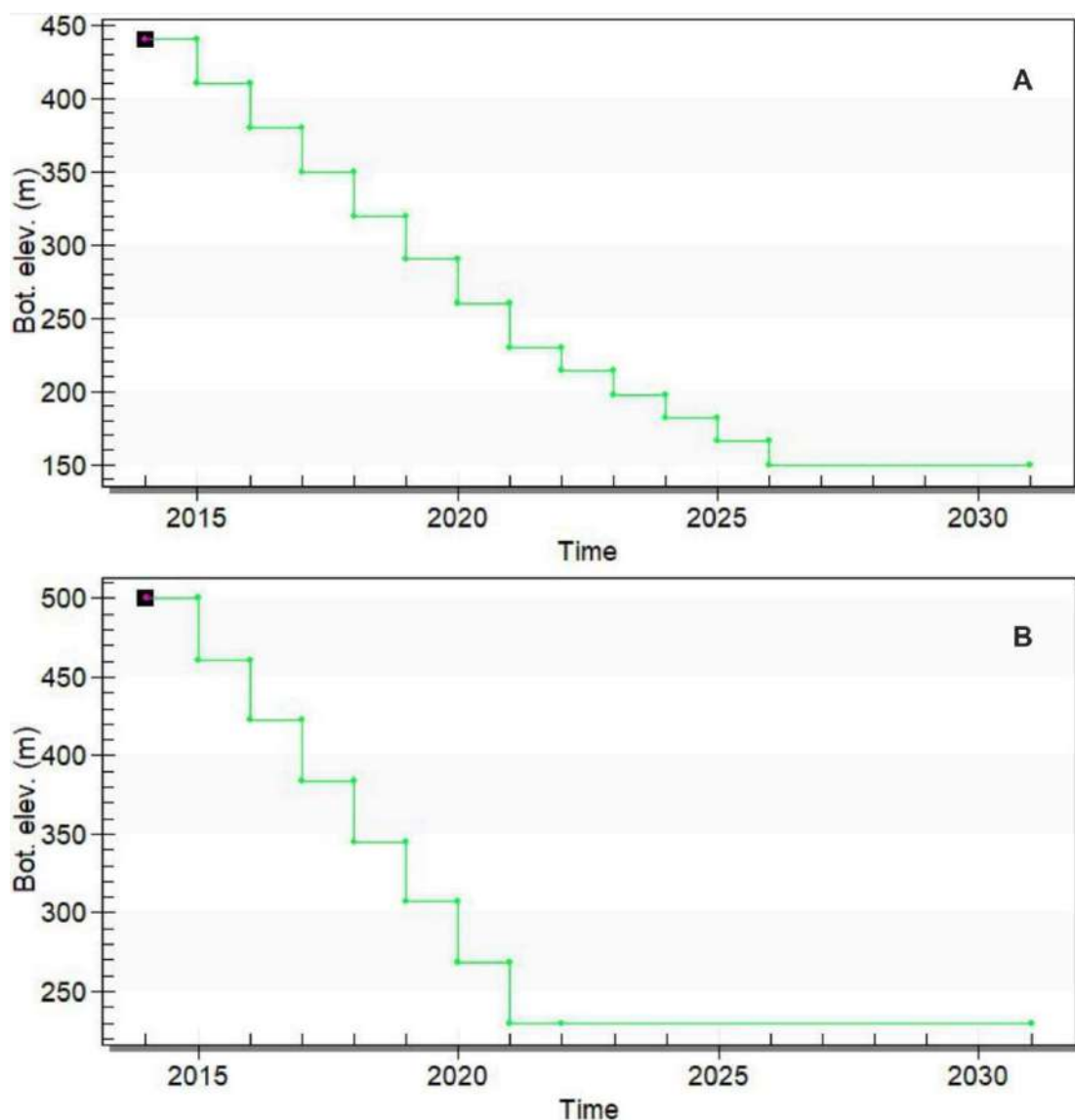


Рисунок 7.13 – Заданные на модели графики снижения абсолютных отметок центральной (А) и периферийной (В) частей карьера

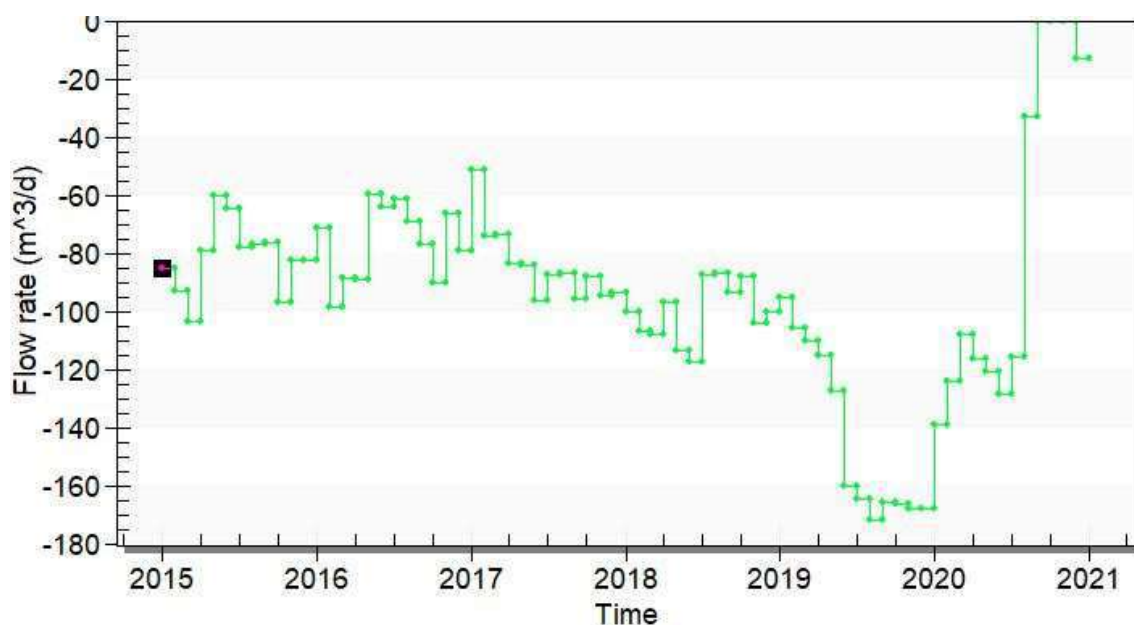


Рисунок 7.14 – Заданный на модели график водоотбора из скважины 1г

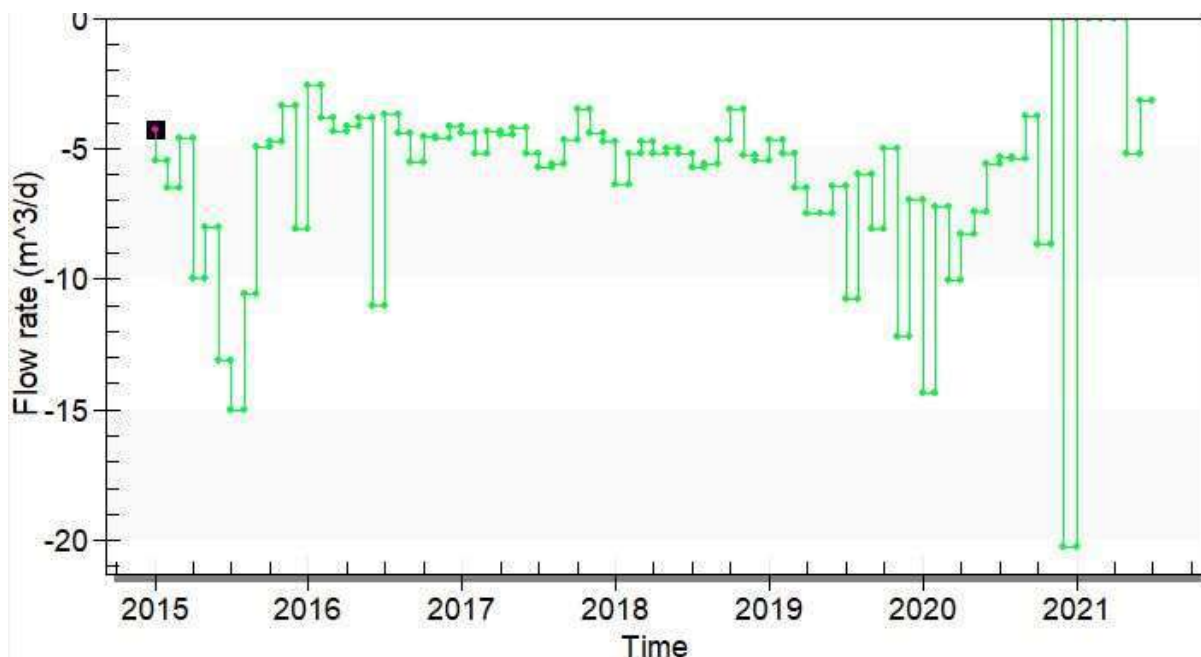


Рисунок 7.15 – Заданный на модели график водоотбора из скважины 6г

Кроме того, при решении эпигнозной задачи учитывалось, что в 2020-2022 гг. осуществлялся отбор воды из скважины 19г, расположенной недалеко от карьера (рис. 7.16).

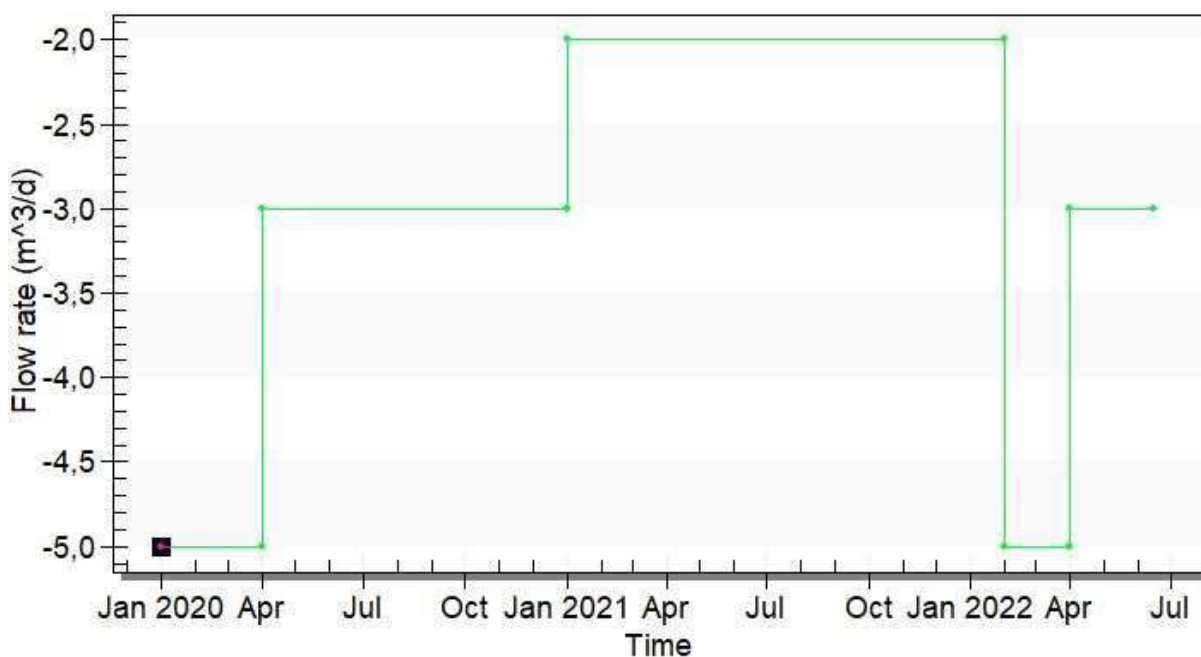


Рисунок 7.16 – Заданный на модели график водоотбора из скважины 19г

Критерием калибровки модели являлась степень соответствия рассчитанных на модели значений уровней подземных вод в наблюдательных скважинах данным мониторинга (рис. 7.17-7.26). Хорошее совпадение позволяет говорить об адекватности созданной математической модели гидрогеологическому объекту.

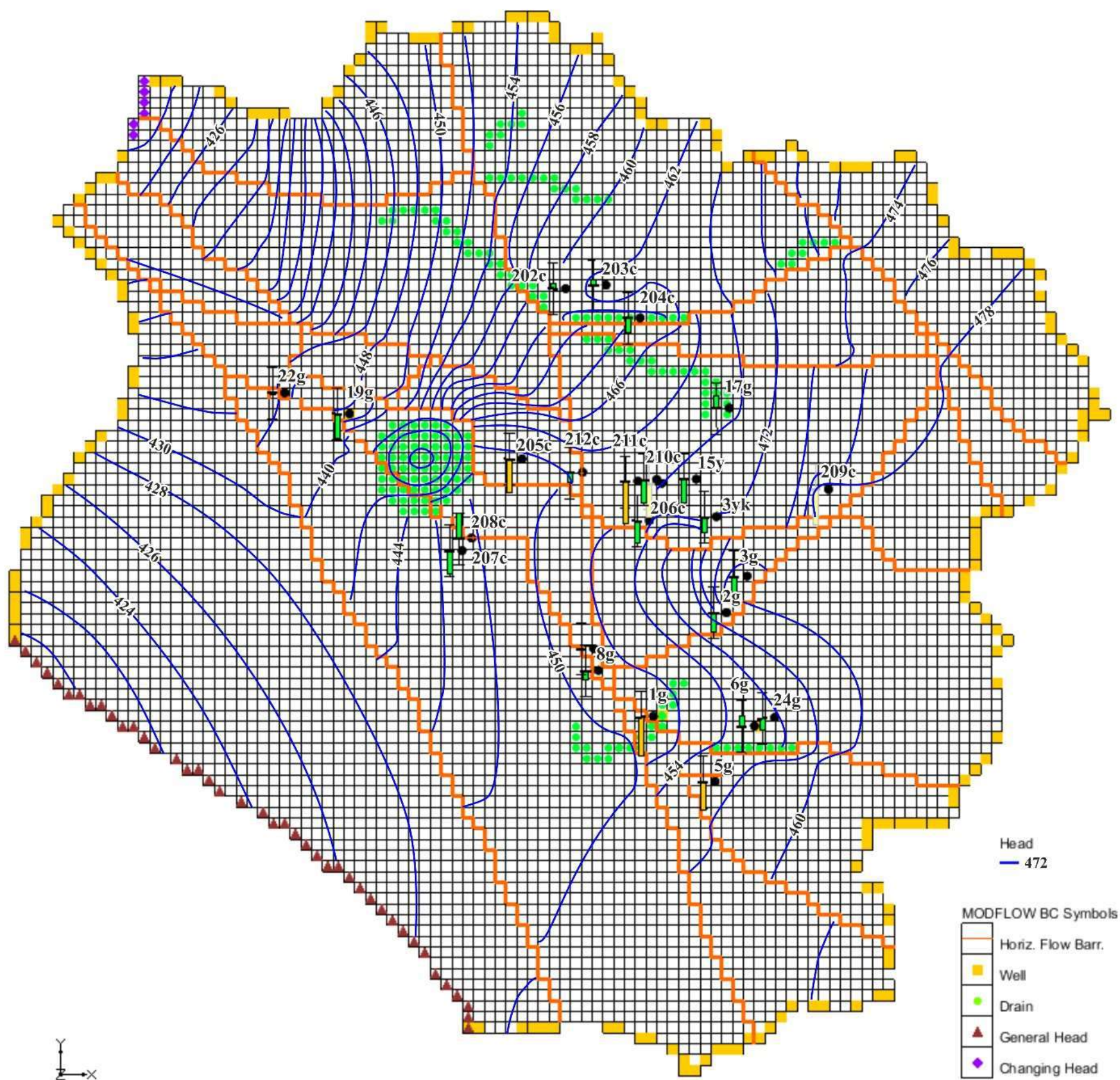


Рисунок 7.17 – Результат решения обратной нестационарной (эпигнозной) задачи

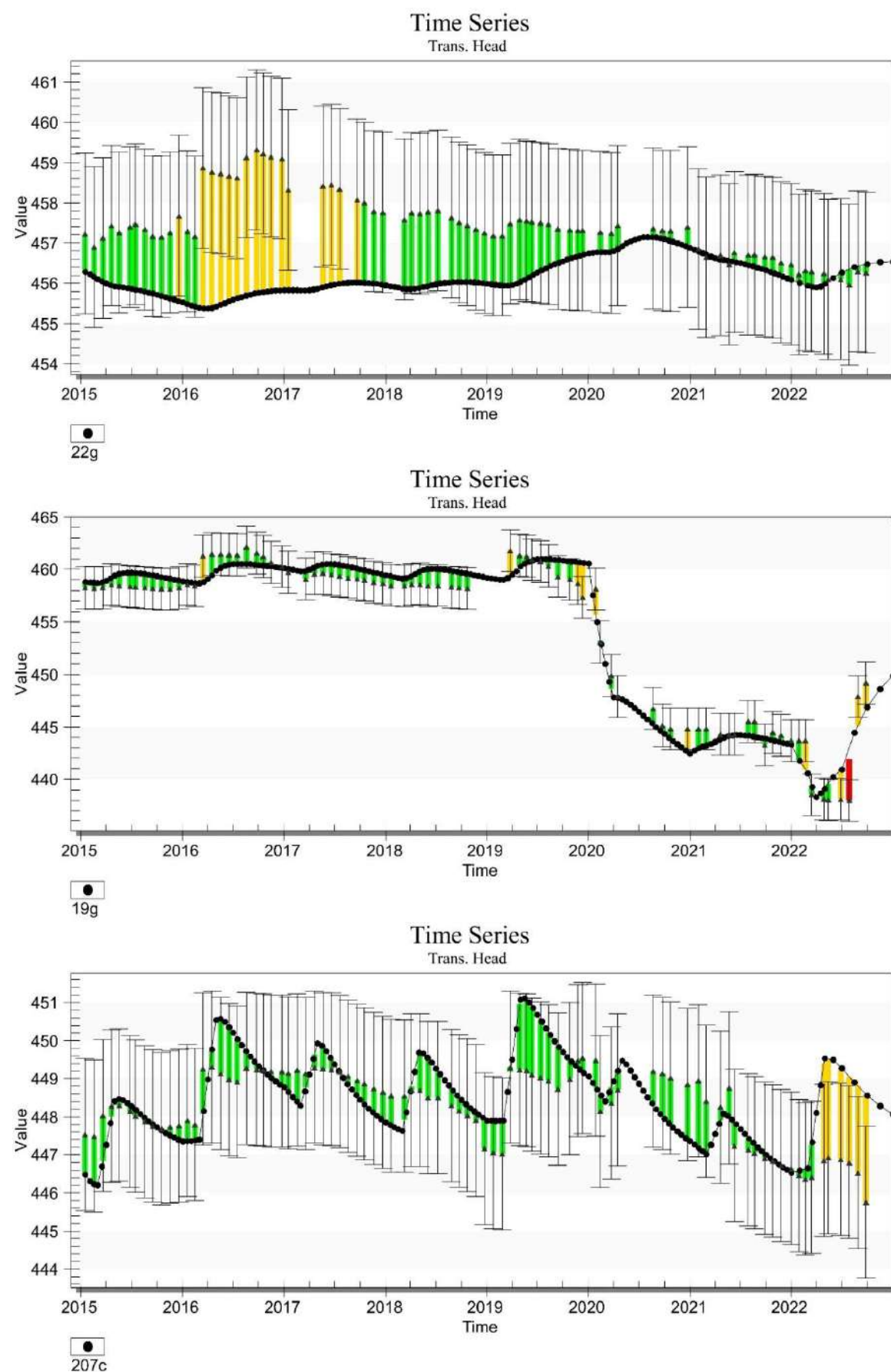


Рисунок 7.18 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 22г, 19г и 207г, рассчитанных на модели и по данным мониторинга

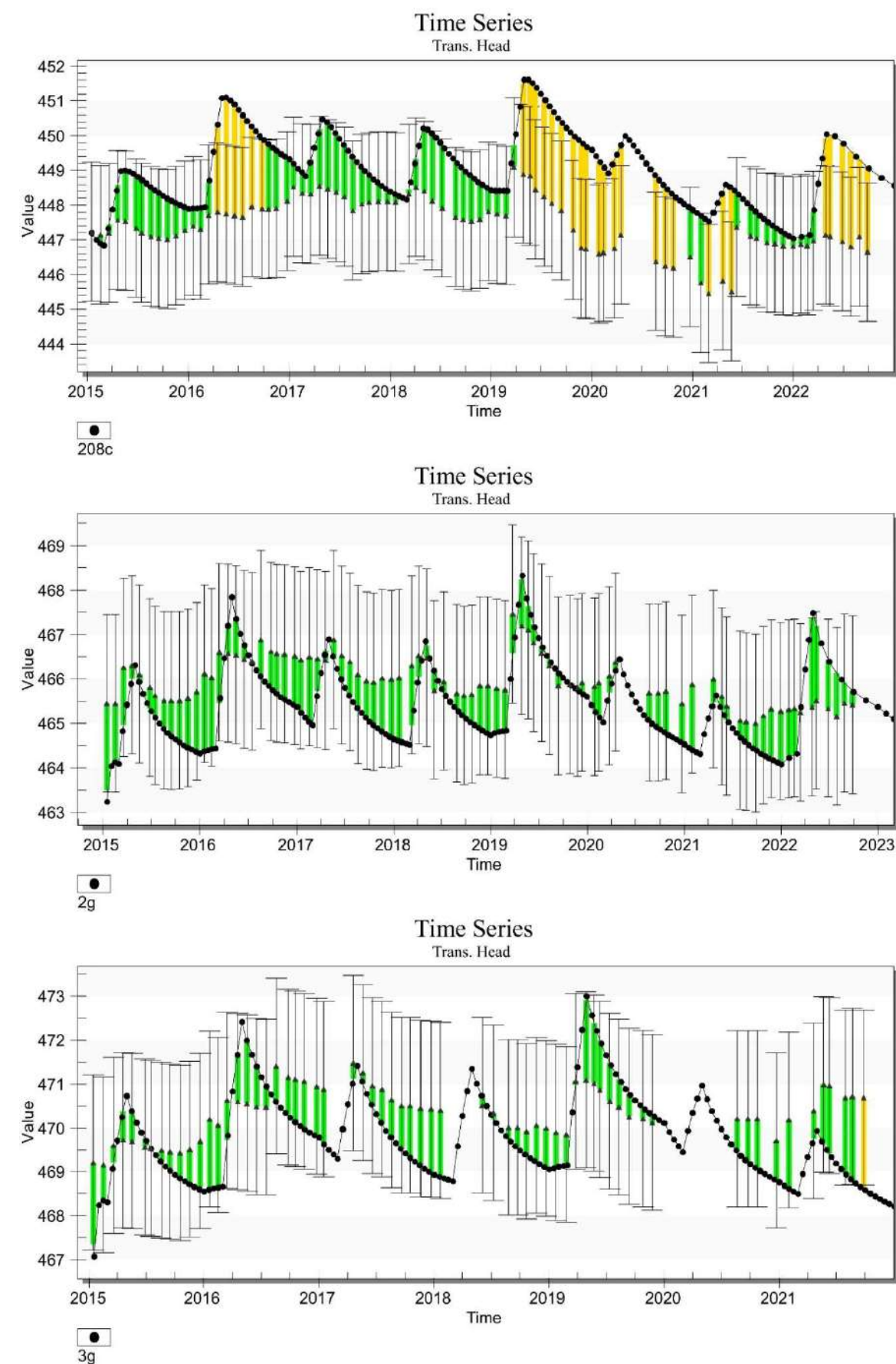


Рисунок 7.19 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 208с, 2г и 3г, рассчитанных на модели и по данным мониторинга

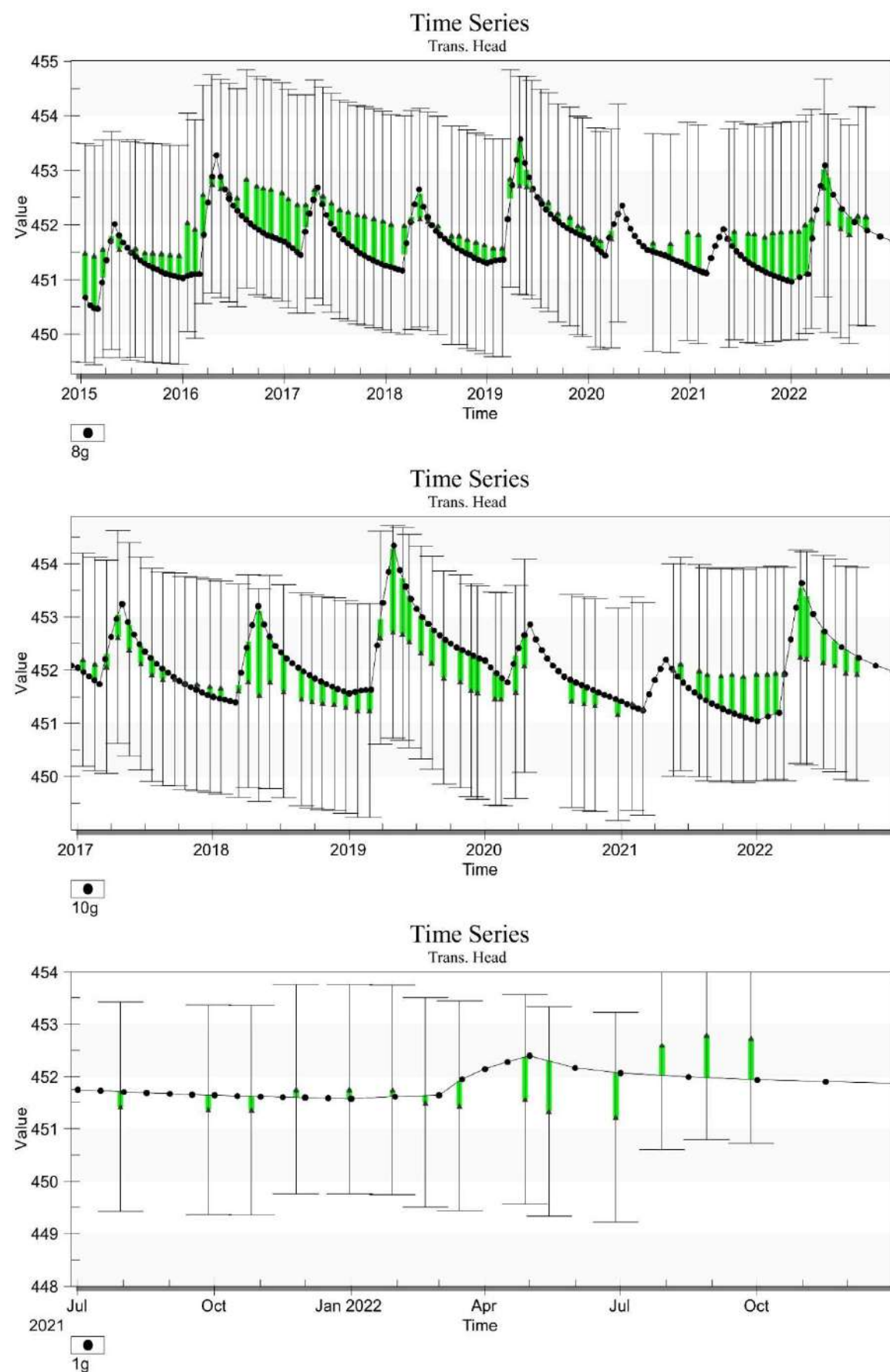


Рисунок 7.20 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 8г, 10г и 1г, рассчитанных на модели и по данным мониторинга

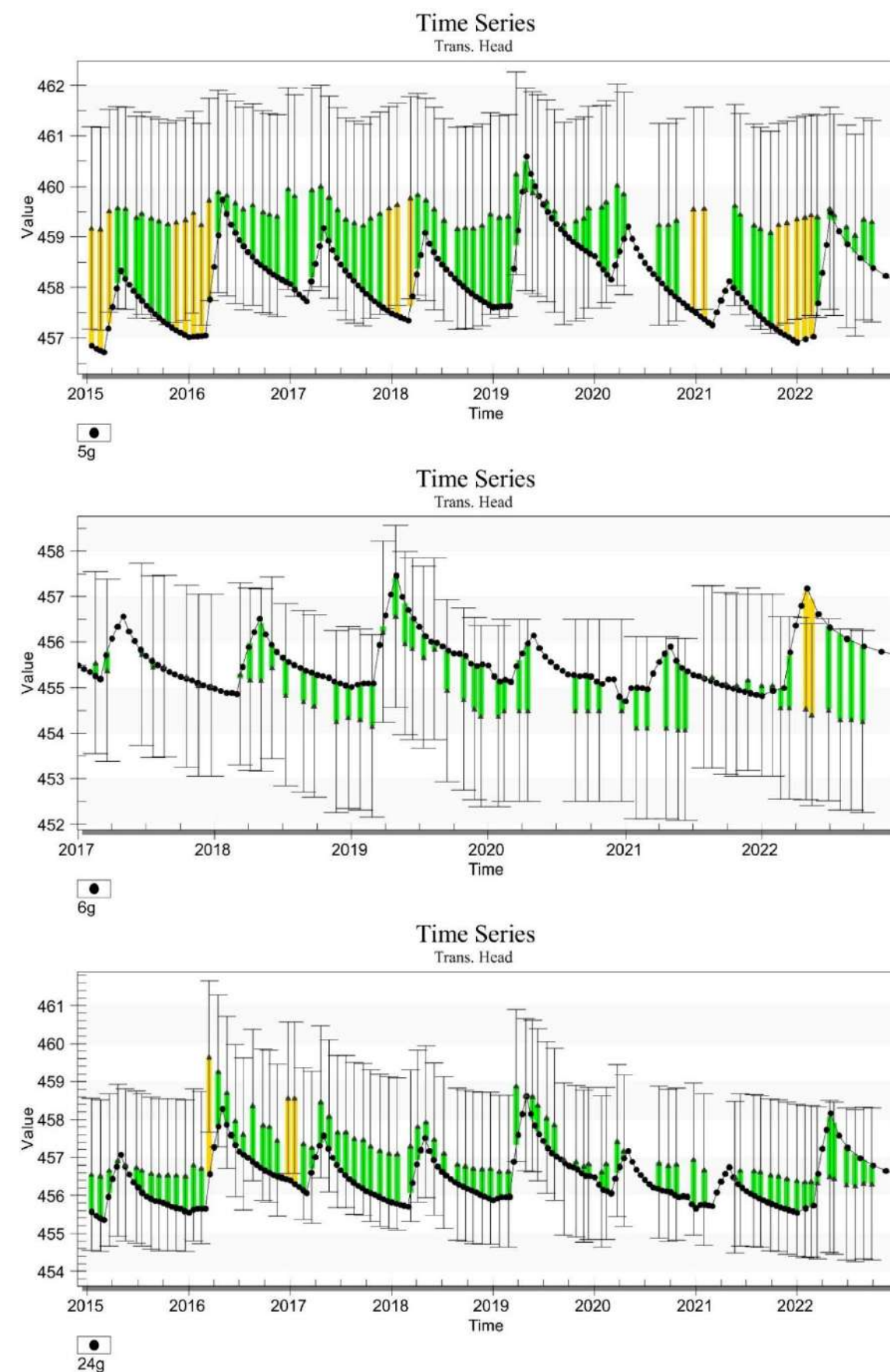


Рисунок 7.21 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 5г, 6г и 24г, рассчитанных на модели и по данным мониторинга

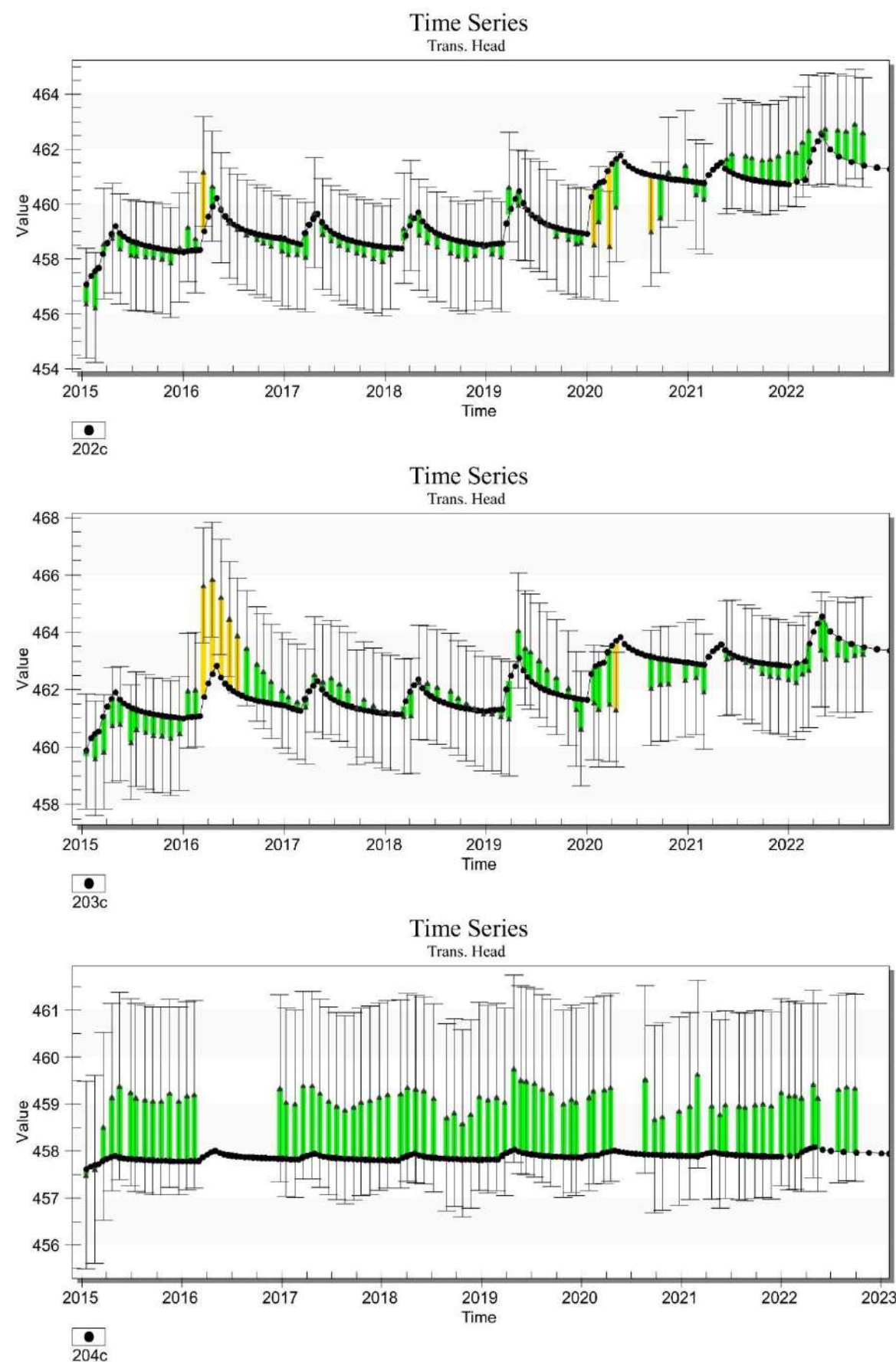


Рисунок 7.22 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 202с, 203с и 204с, рассчитанных на модели и по данным мониторинга

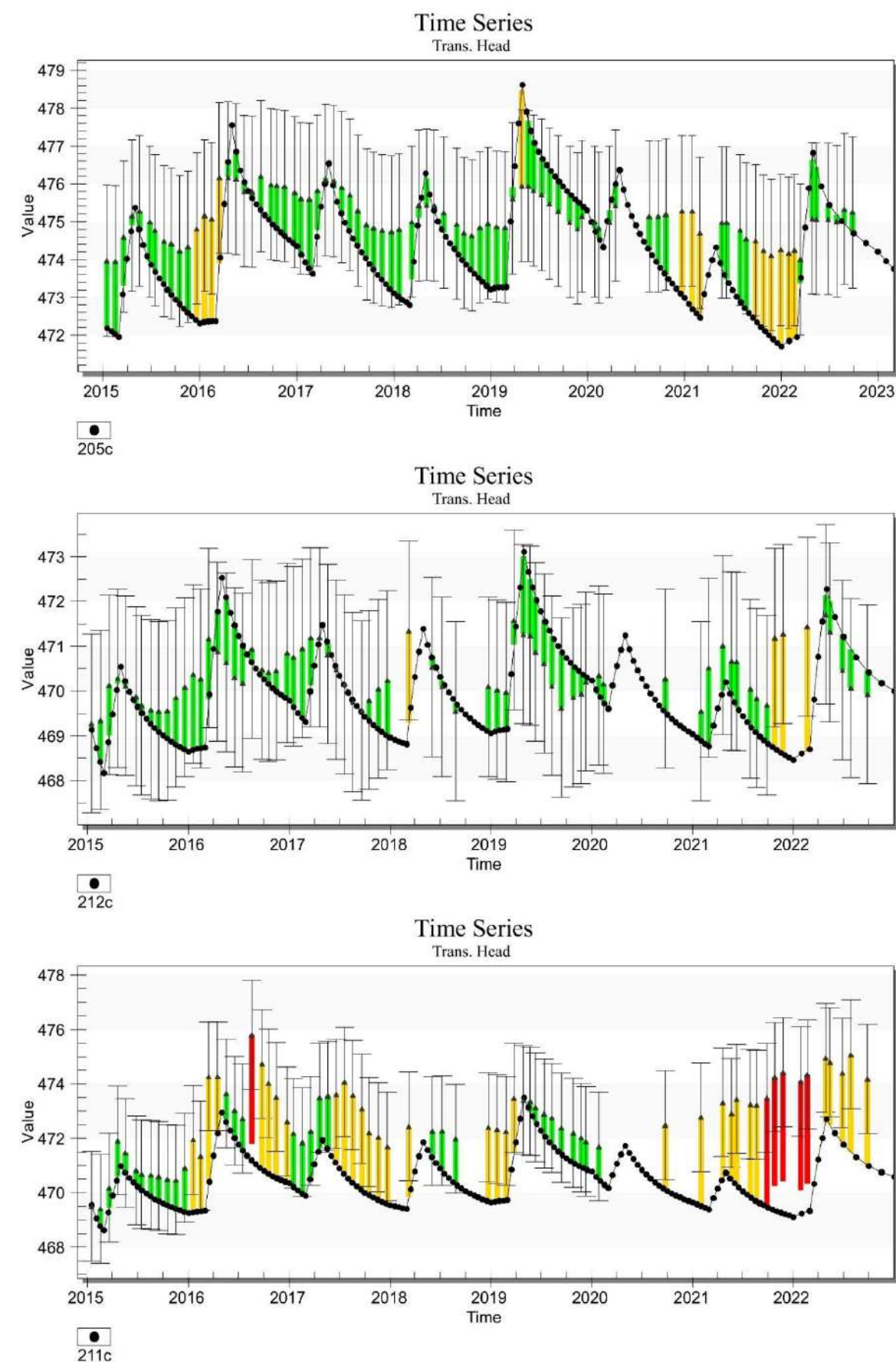


Рисунок 7.23 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 205с, 212с и 211с, рассчитанных на модели и по данным мониторинга

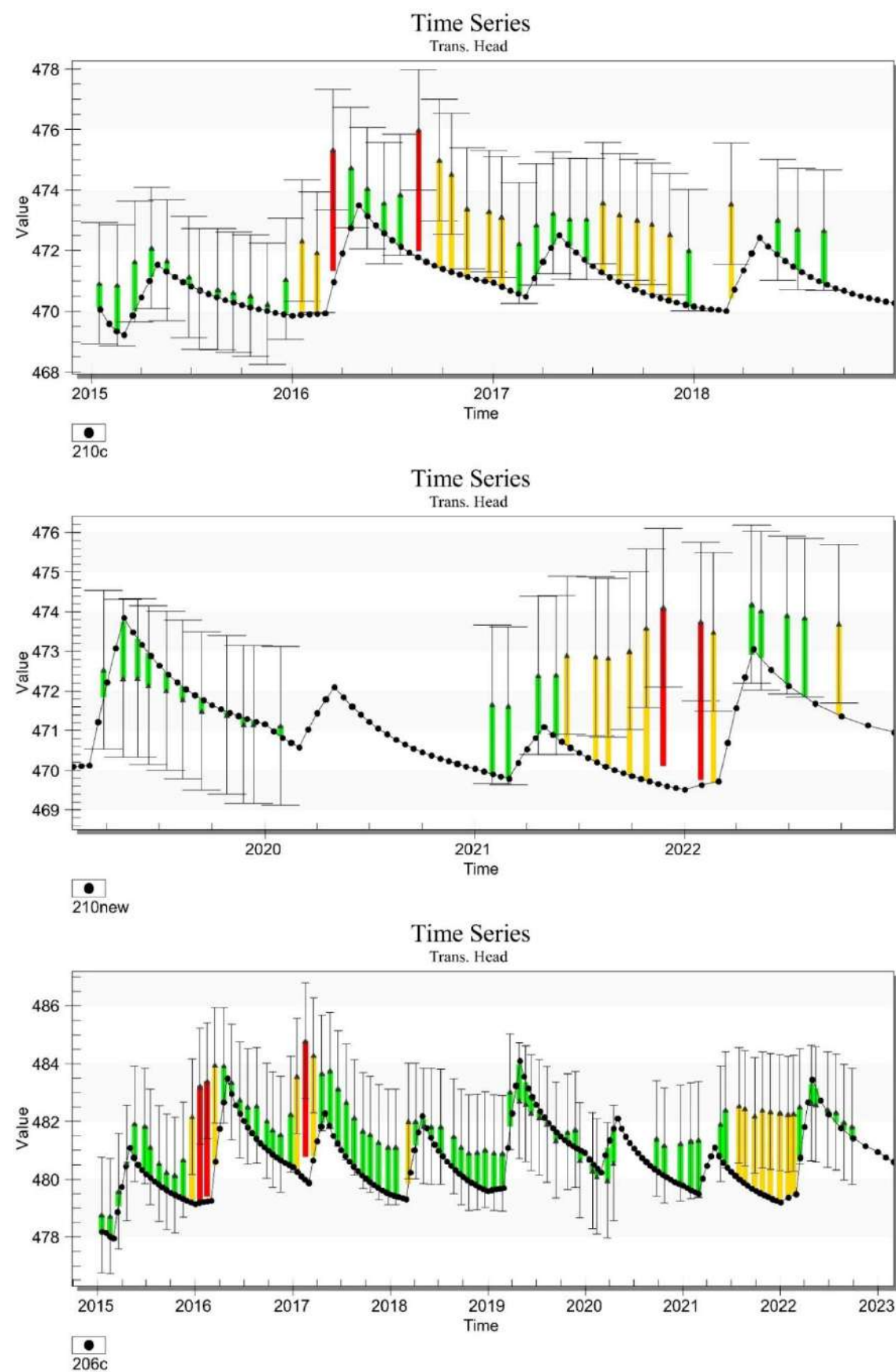


Рисунок 7.24 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 210с (до и после 01.01.2019) и 206с, рассчитанных на модели и по данным мониторинга

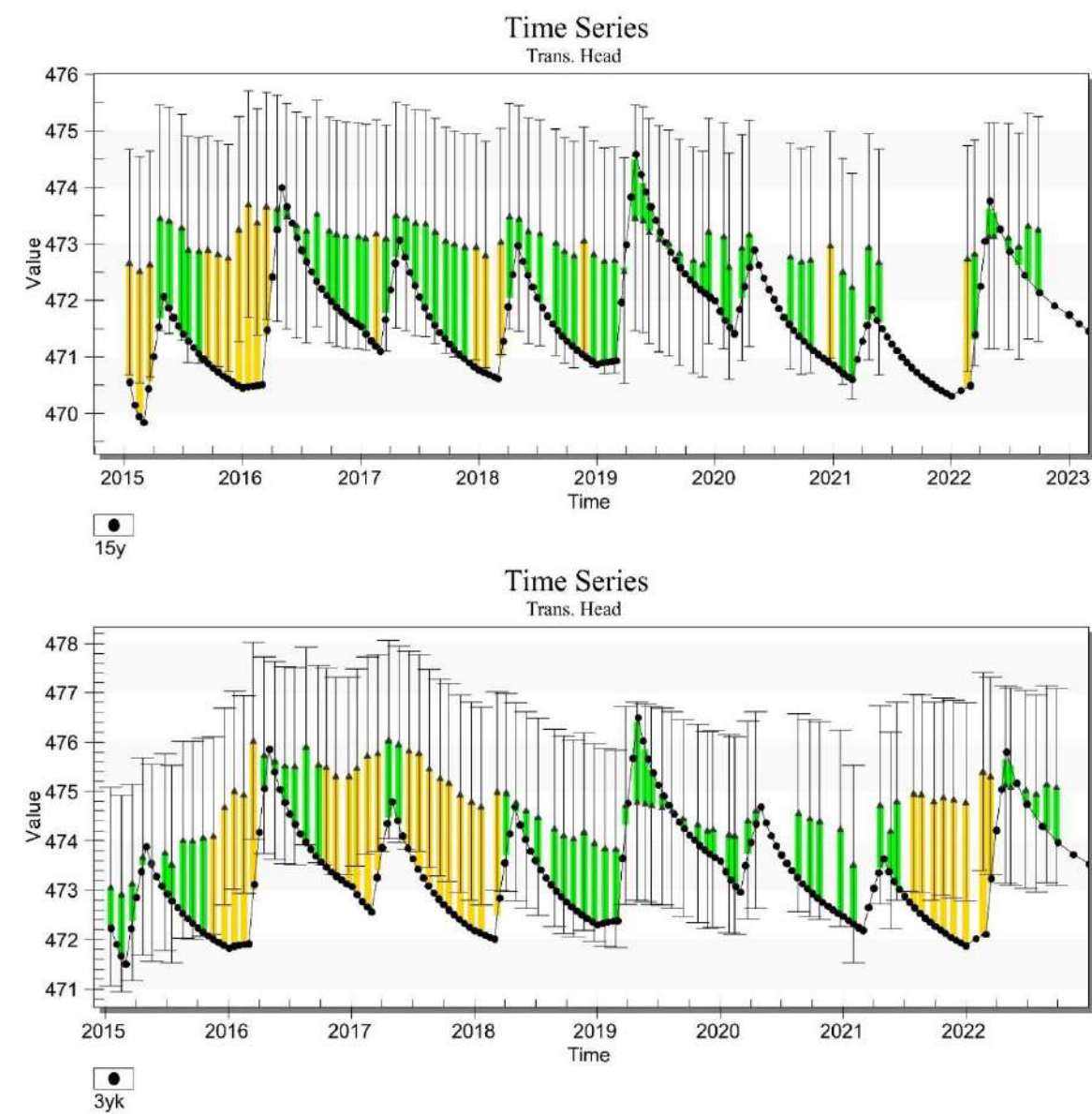


Рисунок 7.25 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 15у и 3ук, рассчитанных на модели и полученных по данным мониторинга

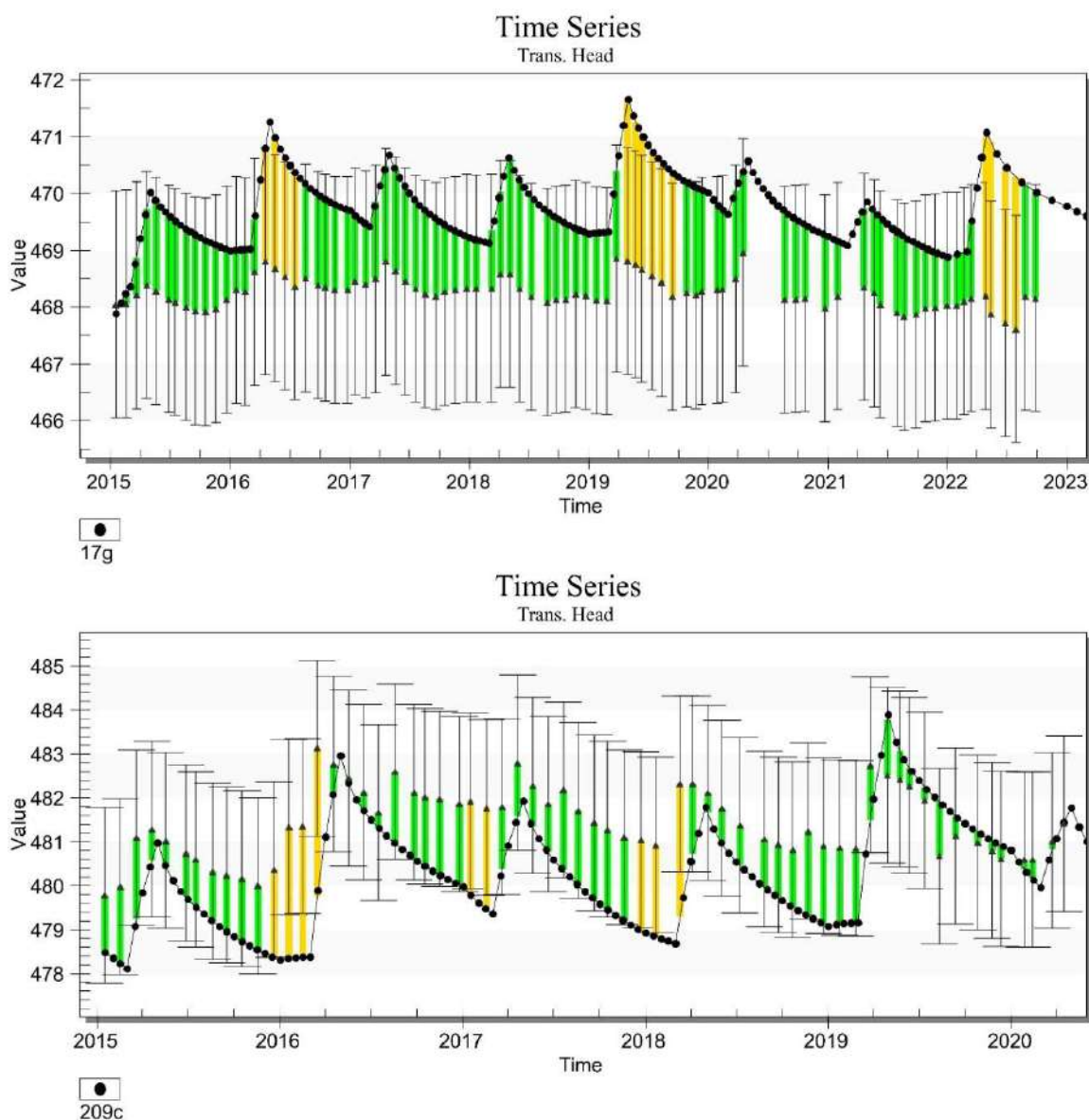


Рисунок 7.26 – Совмещенные графики уровней подземных вод в скважинах №№ 17г и 209с, рассчитанных на модели и полученных по данным мониторинга

По результатам решения эпигнозной задачи построены карты гидроизогипс на различные моменты времени (рис. 7.27-7.28).

По результатам калибровки можно сделать заключение о возможности использования созданной математической модели для решения задач прогнозирования изменения гидрогеологических условий под воздействием техногенных факторов.

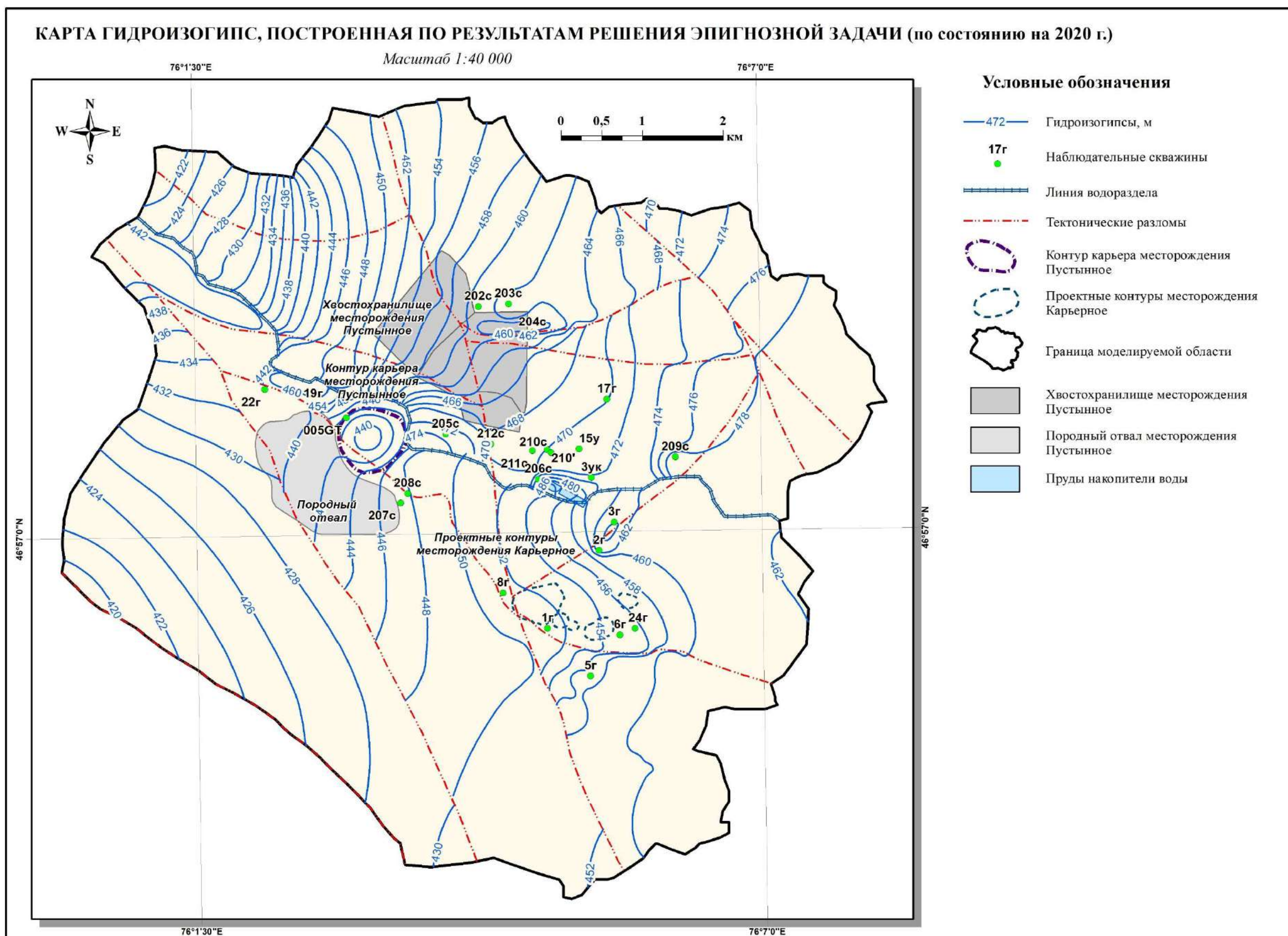


Рисунок 7.27 – Карта гидроизогипс, построенная по результатам решения эпигнозной задачи (по состоянию на 2020 г.)

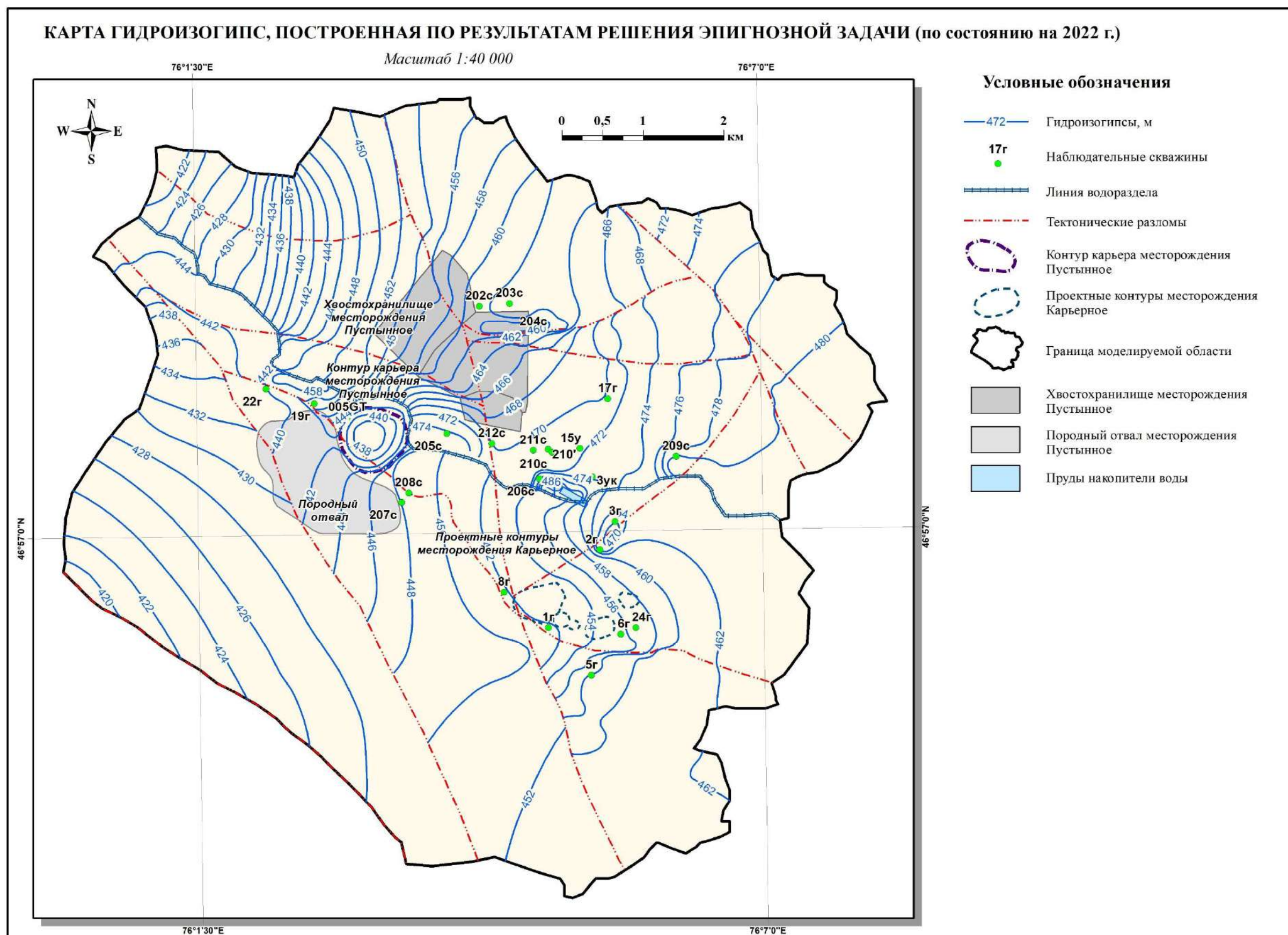


Рисунок 7.28 – Карта гидроизогипс, построенная по результатам решения эпигнозной задачи (по состоянию на 2022 г.)

7.6 Решение прогнозных задач

Решение прогнозных задач осуществлялось в два этапа. На первом этапе на модели решалась гидродинамическая задача, на втором – геомиграционная. Период прогнозирования – 2023-2030 гг.

Прогнозная гидродинамическая задача предполагает включение в модель проектного карьера месторождения Карьерное в юго-восточной части модели. Начало отработки – 2025 г. Карьер схематизирован тремя полигонами со связанными граничными условиями *Drain*. Проектные отметки дна к концу прогнозного периода заданы 250, 310 и 370 м для разных частей. Для каждого полигона задан график снижения абсолютных отметок дна в процессе отработки карьера (рис. 7.29-7.30).

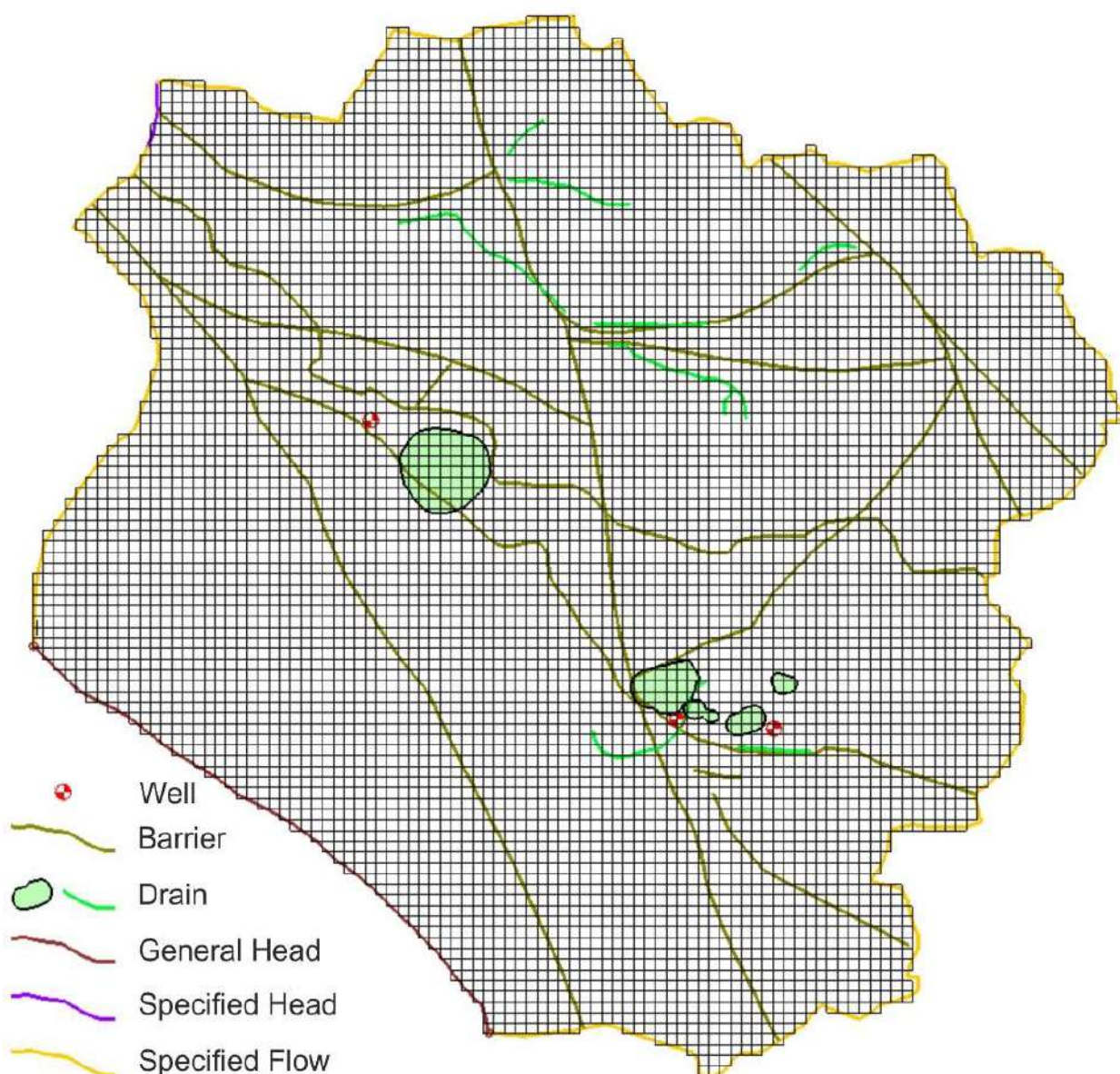


Рисунок 7.29 – Постановка прогнозной гидродинамической задачи

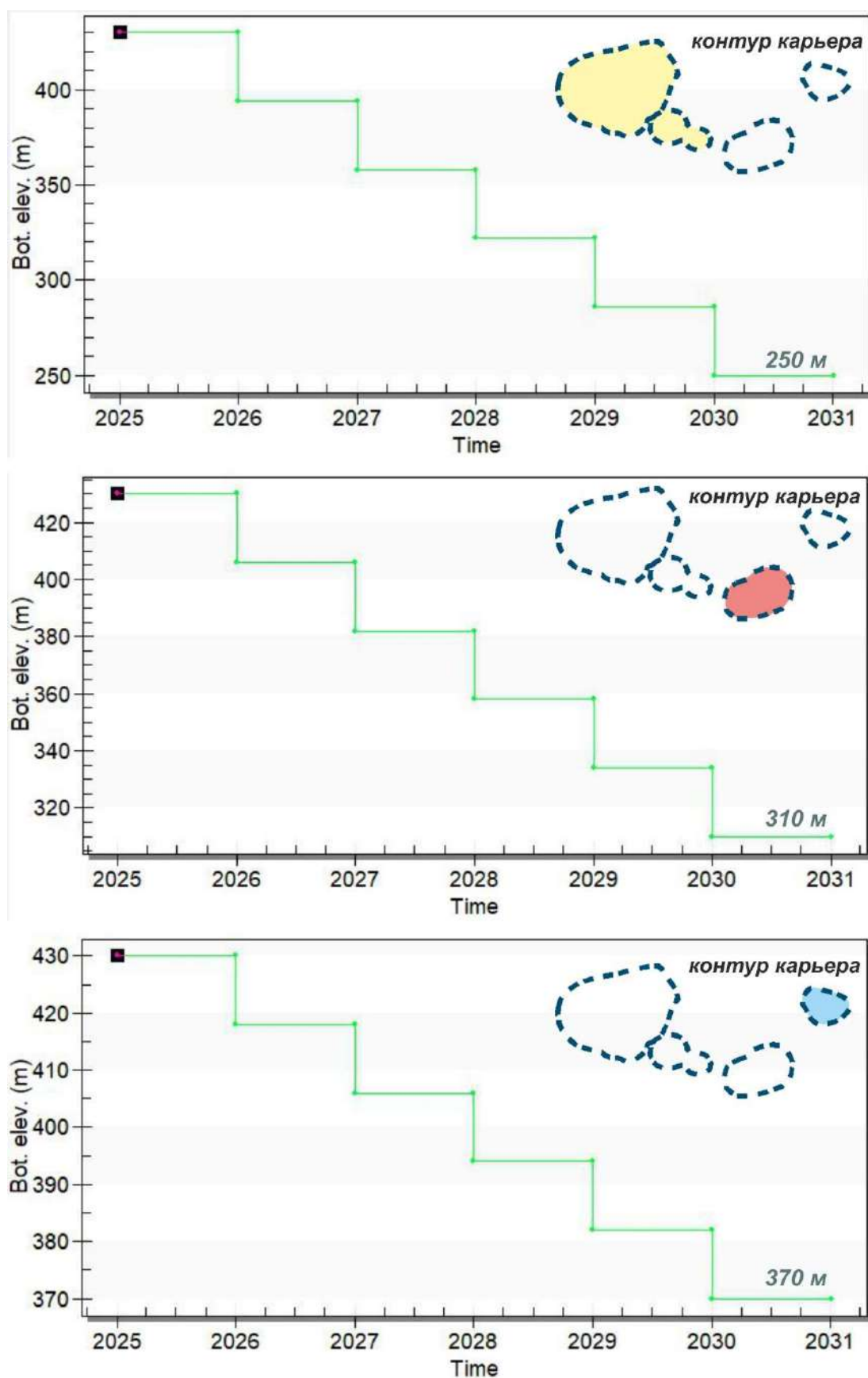


Рисунок 7.30 – Заданные на модели графики снижения абсолютных отметок разных частей дна карьера месторождения Карьерное

Для карьера месторождения Пустынное, обработку которого планируется прекратить в 2026 г., на оставшийся период до 2030 г. задана абсолютная отметка подошвы 150 м.

Решение прогнозной гидродинамической задачи представлено в виде карт гидроизогипс на различные моменты времени (рис. 7.31-7.32). Кроме того, после вычисления матриц понижений уровней подземных вод были получены границы депрессионных воронок на различные моменты времени (рис. 7.33).

Прогнозная миграционная задача решалась на период 2023-2030 гг. Концентрация растворенного в воде компонента рассчитывается с использованием данных о распределении уровней, полученных при решении гидродинамической задачи.

В качестве источников загрязнения подземных вод выступают площади, на которых концентрация микрокомпонентов (кадмия, марганца, бора, нефтепродуктов, цианидов) превышает ПДК. Участки выделены по результатам обследования и гидрохимического опробования (рис. 7.34). Они схематизированы полигонами типа *Specified Concentration*. Следует отметить, что один полигон может быть источником нескольких загрязняющих веществ (рис. 7.35-7.36).

Результаты решения миграционной задачи отображены на картах распределения рассчитанных концентраций микрокомпонентов в подземных водах, построенных на различные моменты времени. Зонами показаны области, в которых величины концентраций соответствуют фактическим данным; превышают ПДК; меньше ПДК (рис. 7.37-7.46).

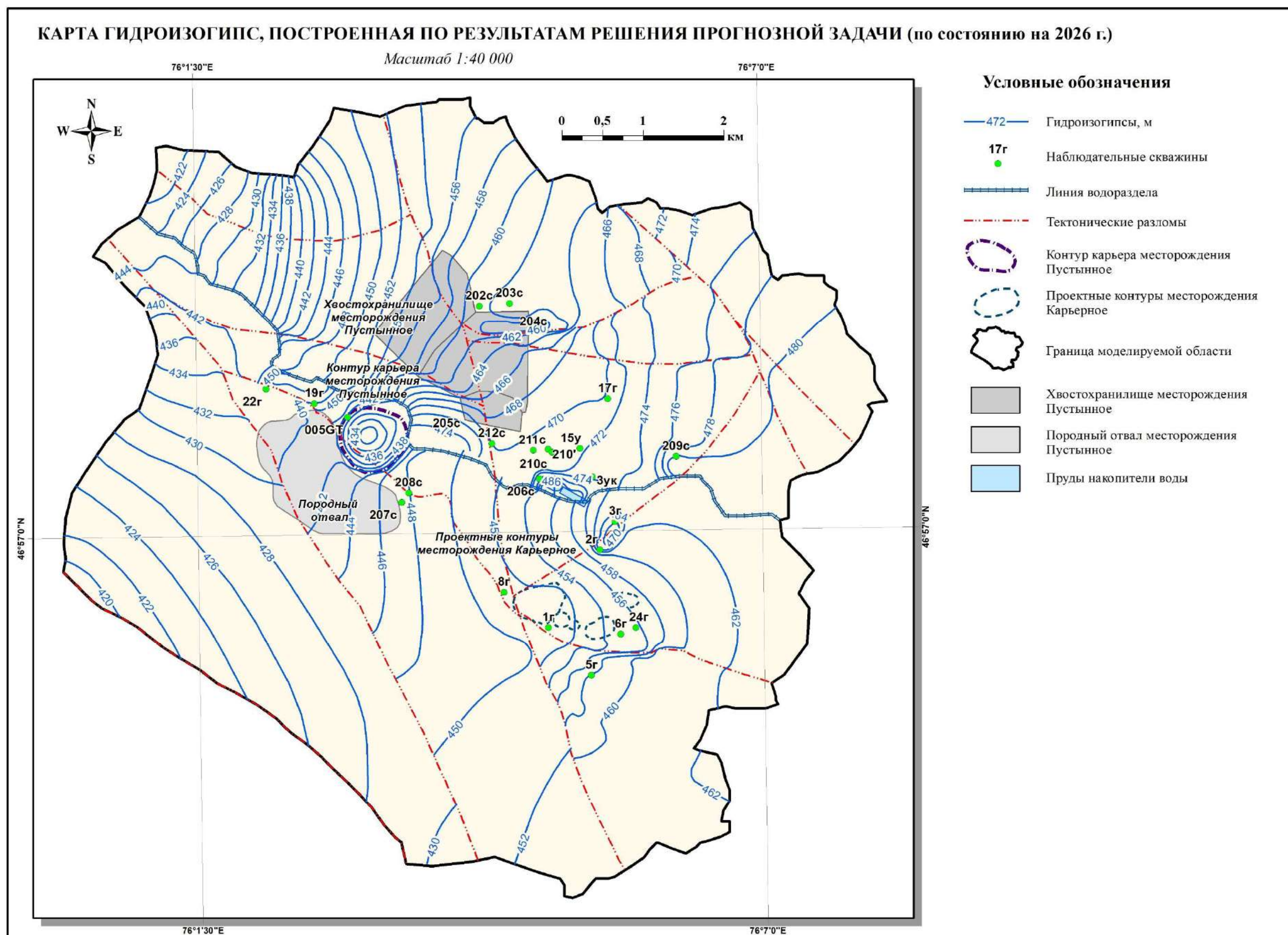


Рисунок 7.31 – Карта гидроизогипс, построенная по результатам решения прогнозной задачи (по состоянию на 2026 г.)

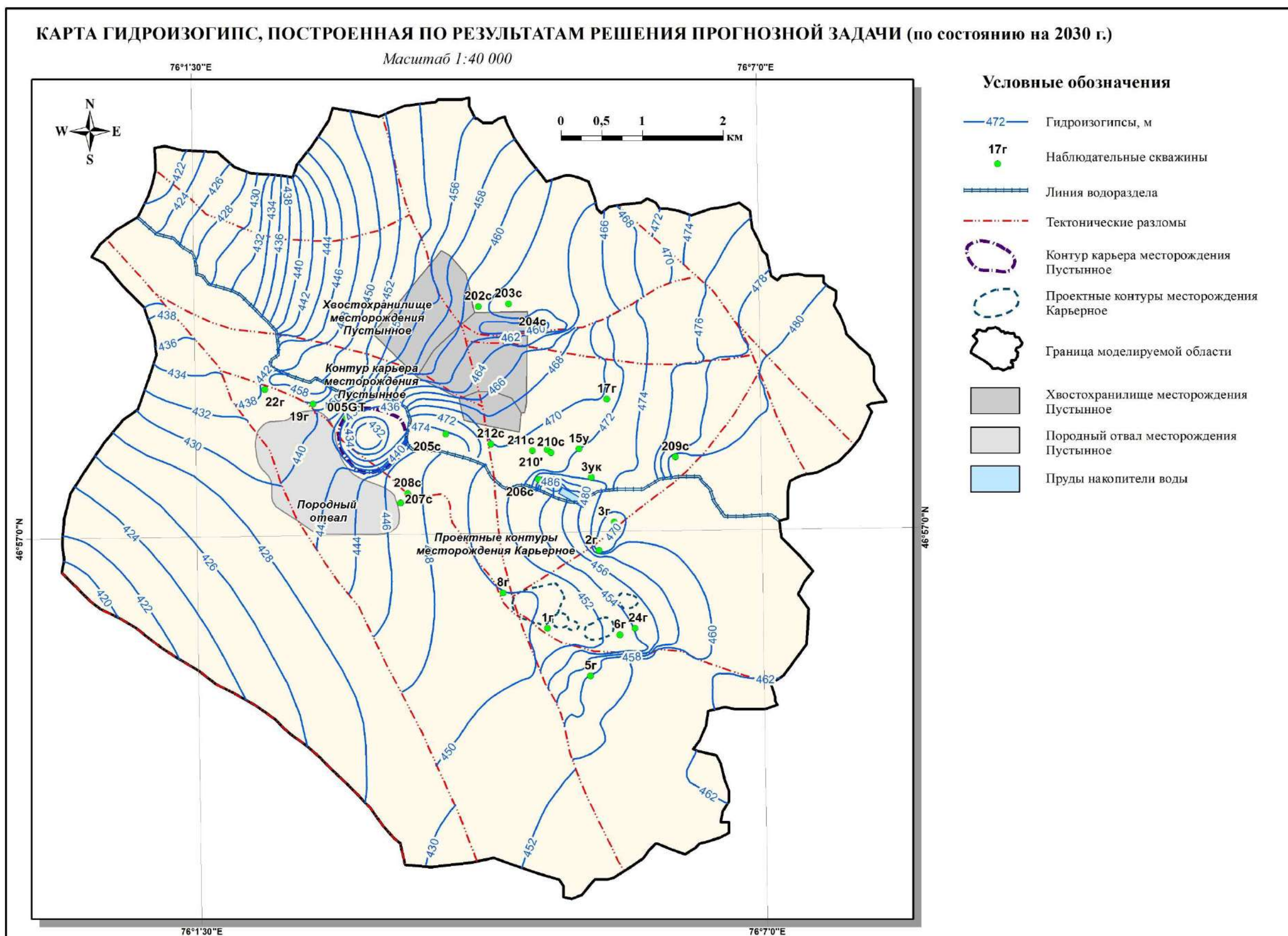


Рисунок 7.32 – Карта гидроизогипс, построенная по результатам решения прогнознй задачи (по состоянию на 2030 г.)

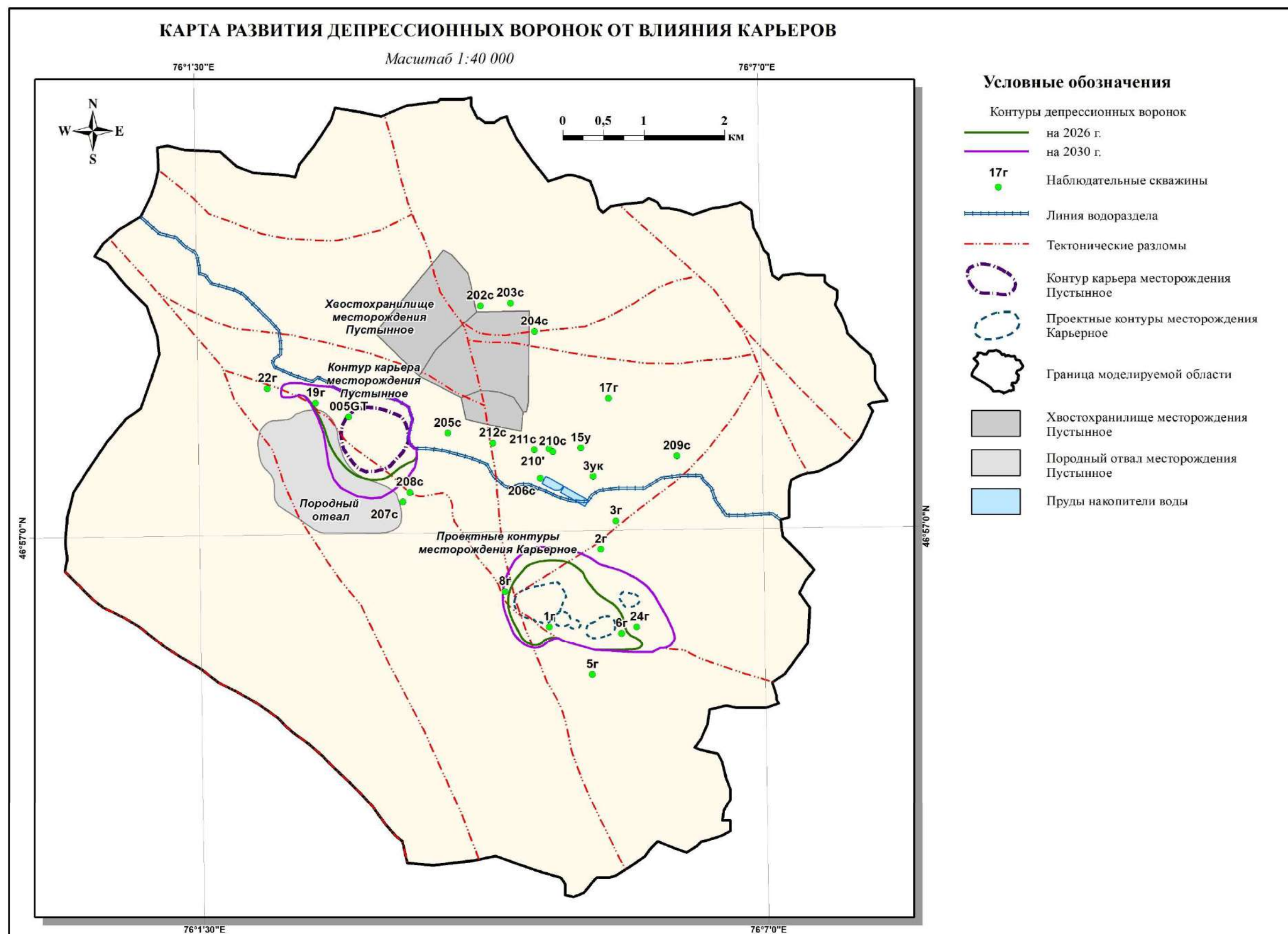


Рисунок 7.33 – Карта развития депрессионных воронок от влияния карьеров

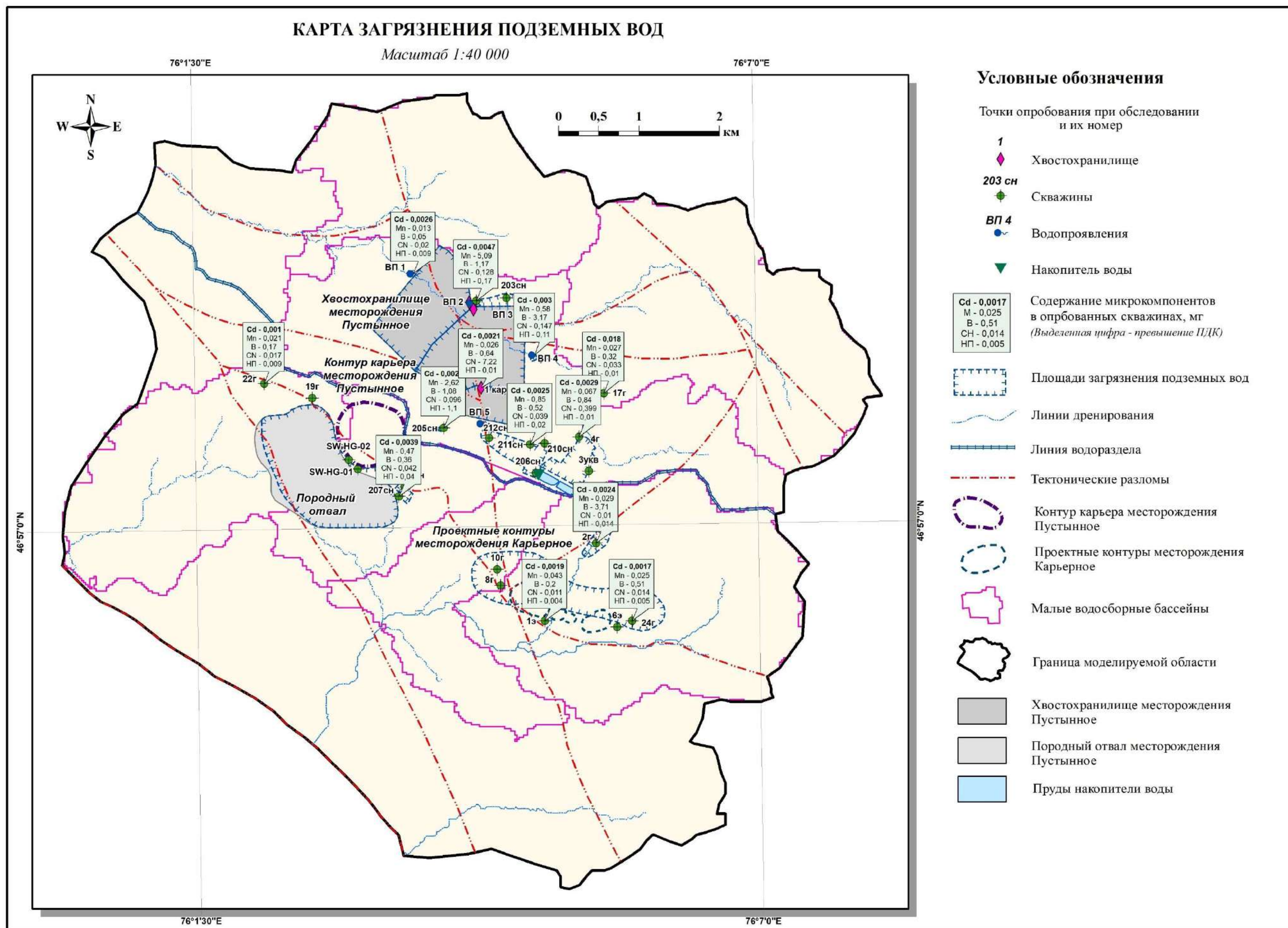


Рисунок 7.34 – Карта участков загрязнения подземных вод

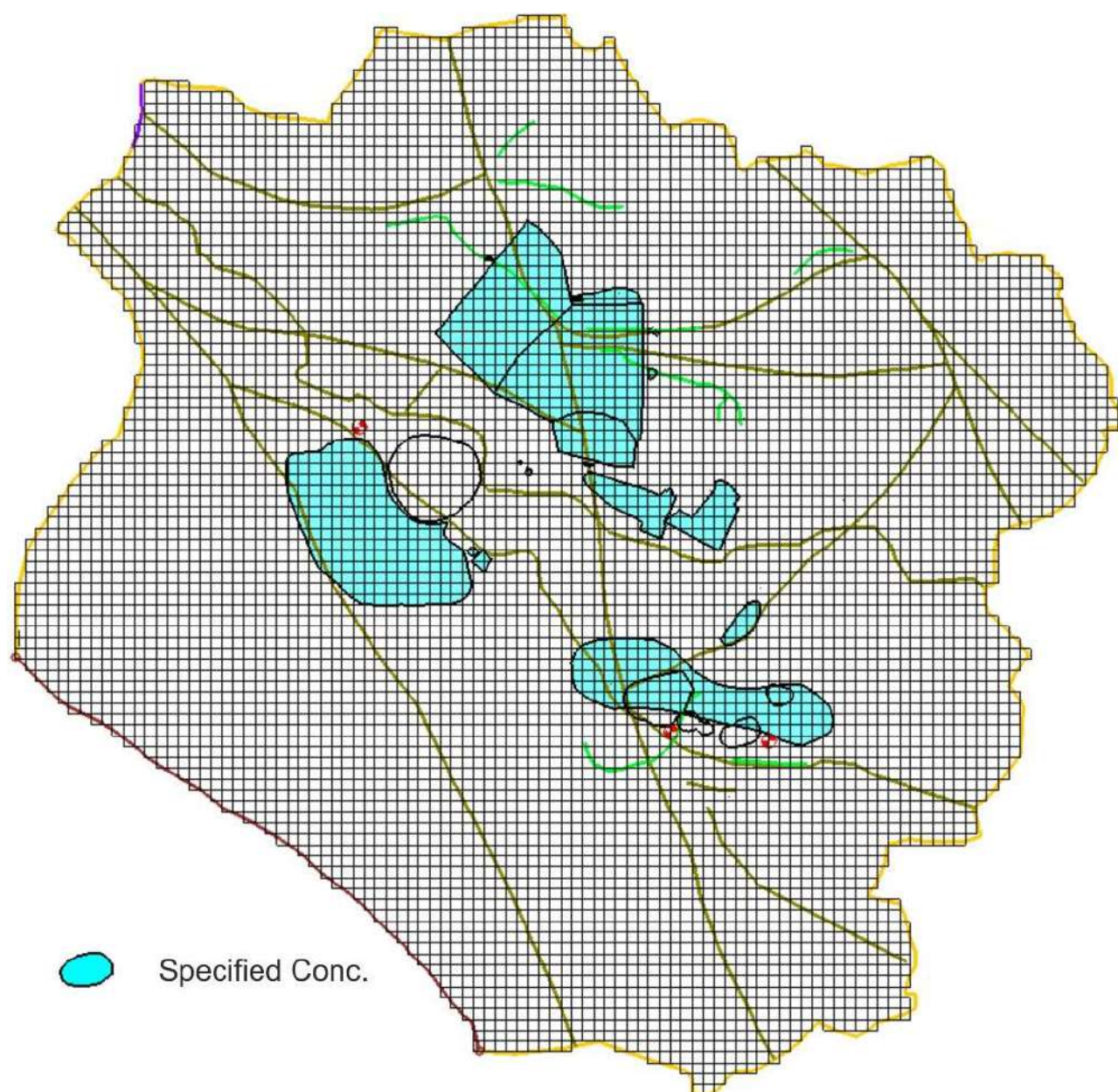


Рисунок 7.35 – Постановка миграционной задачи

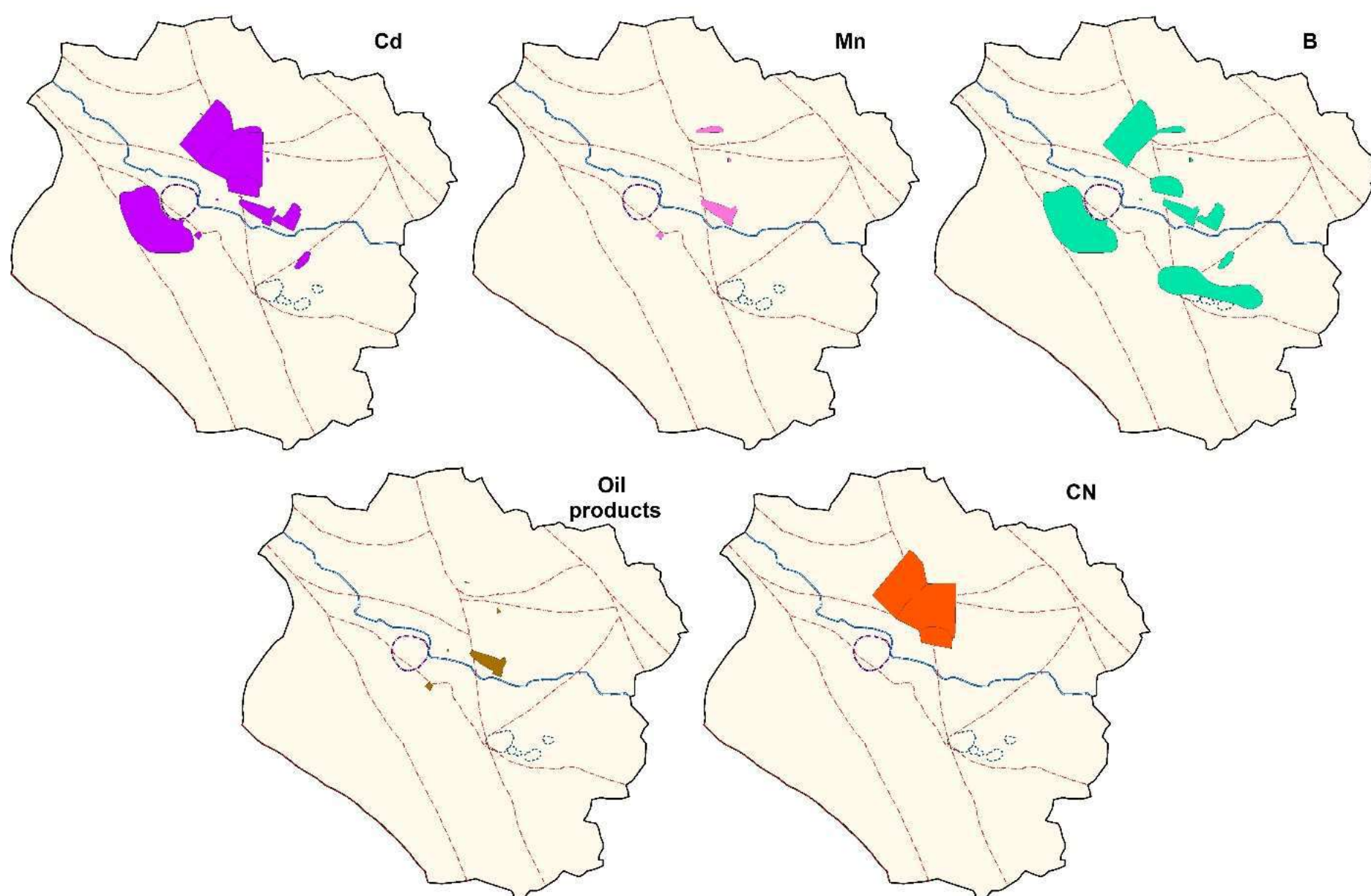


Рисунок 7.36 – Источники поступления и загрязняющие вещества, оказывающие влияние на подземные воды

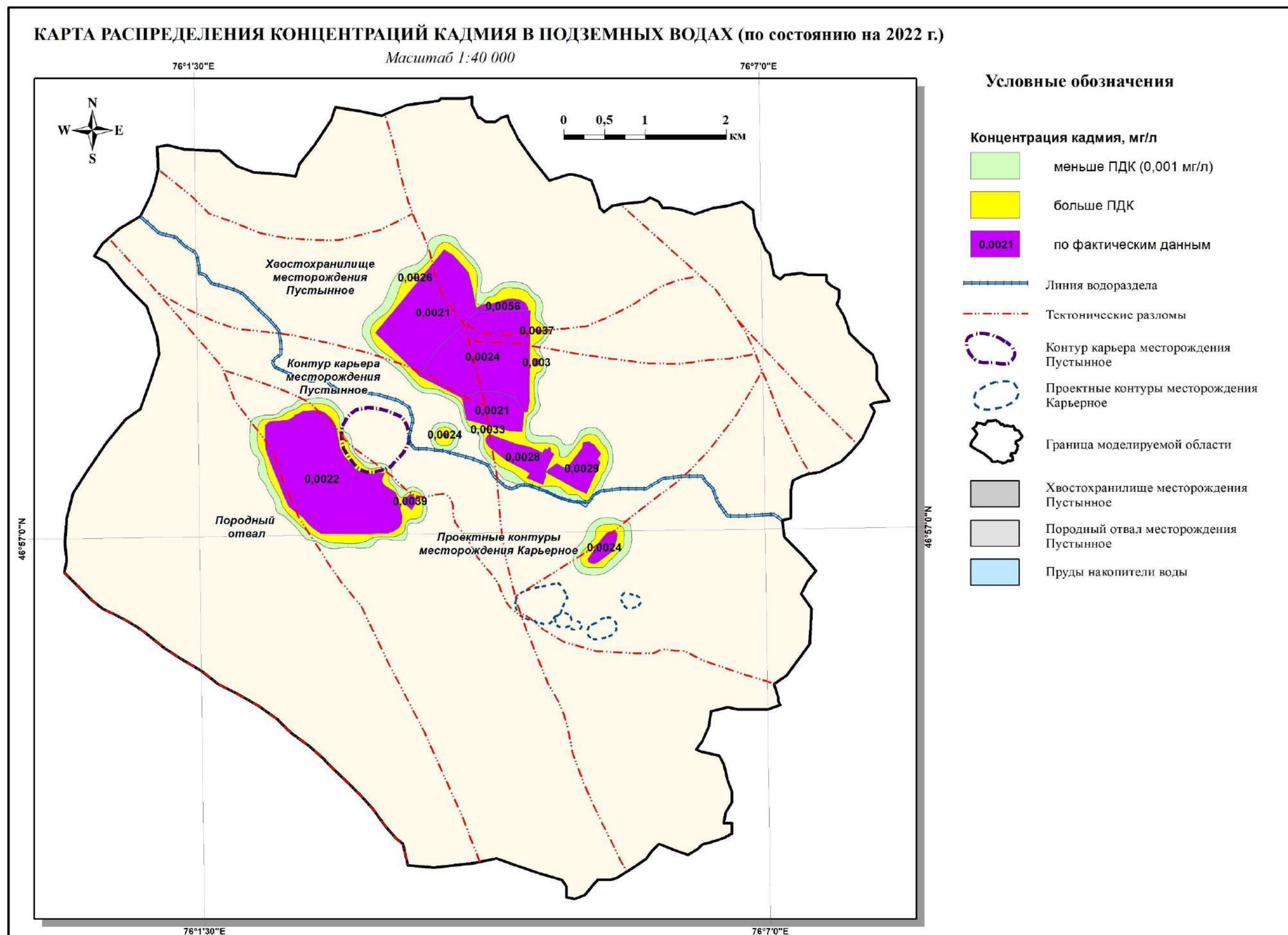


Рисунок 7.37 – Карта распределения концентраций кадмия в подземных водах (по состоянию на 2022 г.)

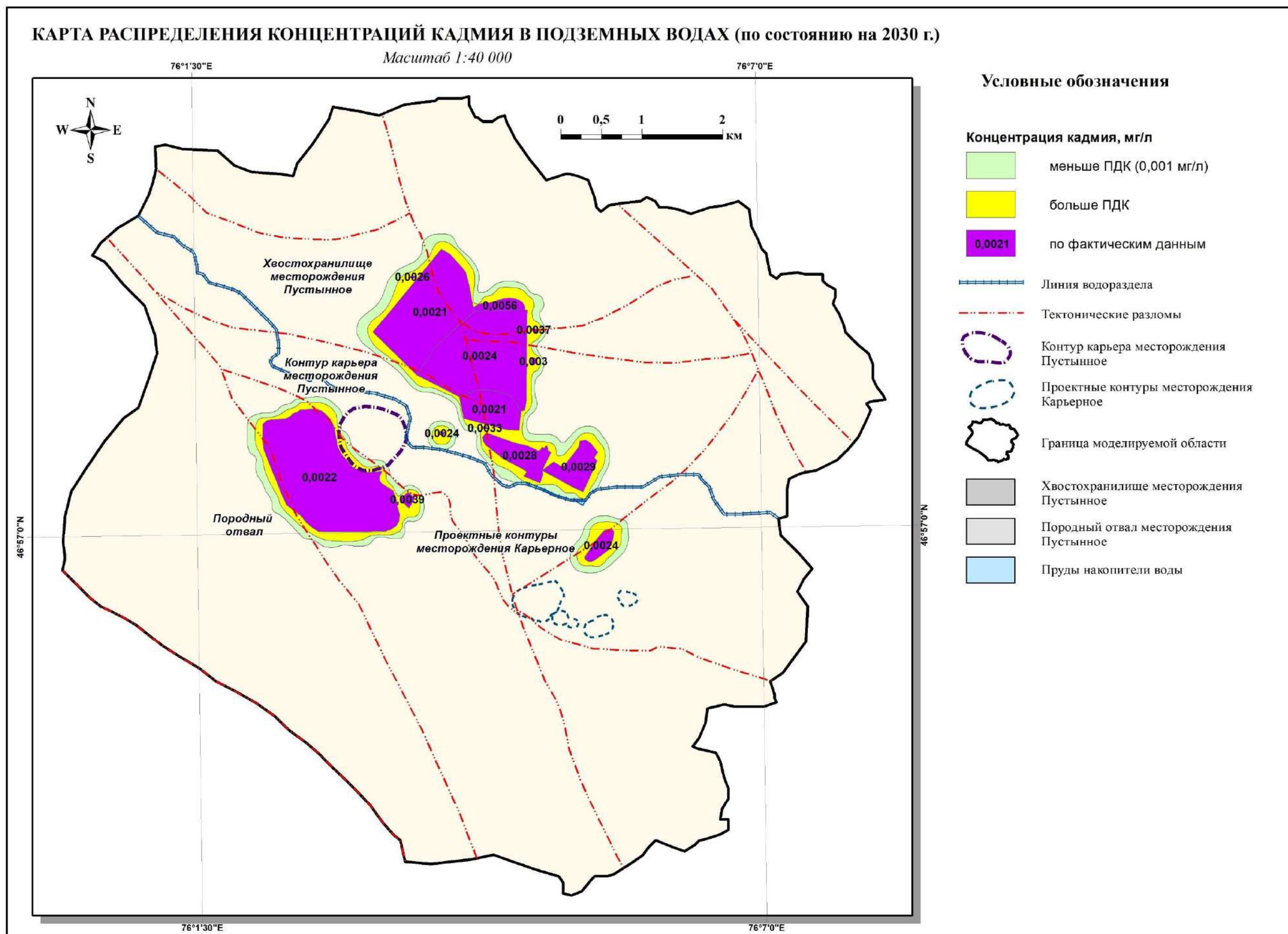


Рисунок 7.38 – Карта распределения концентраций кадмия в подземных водах (по состоянию на 2030 г.)

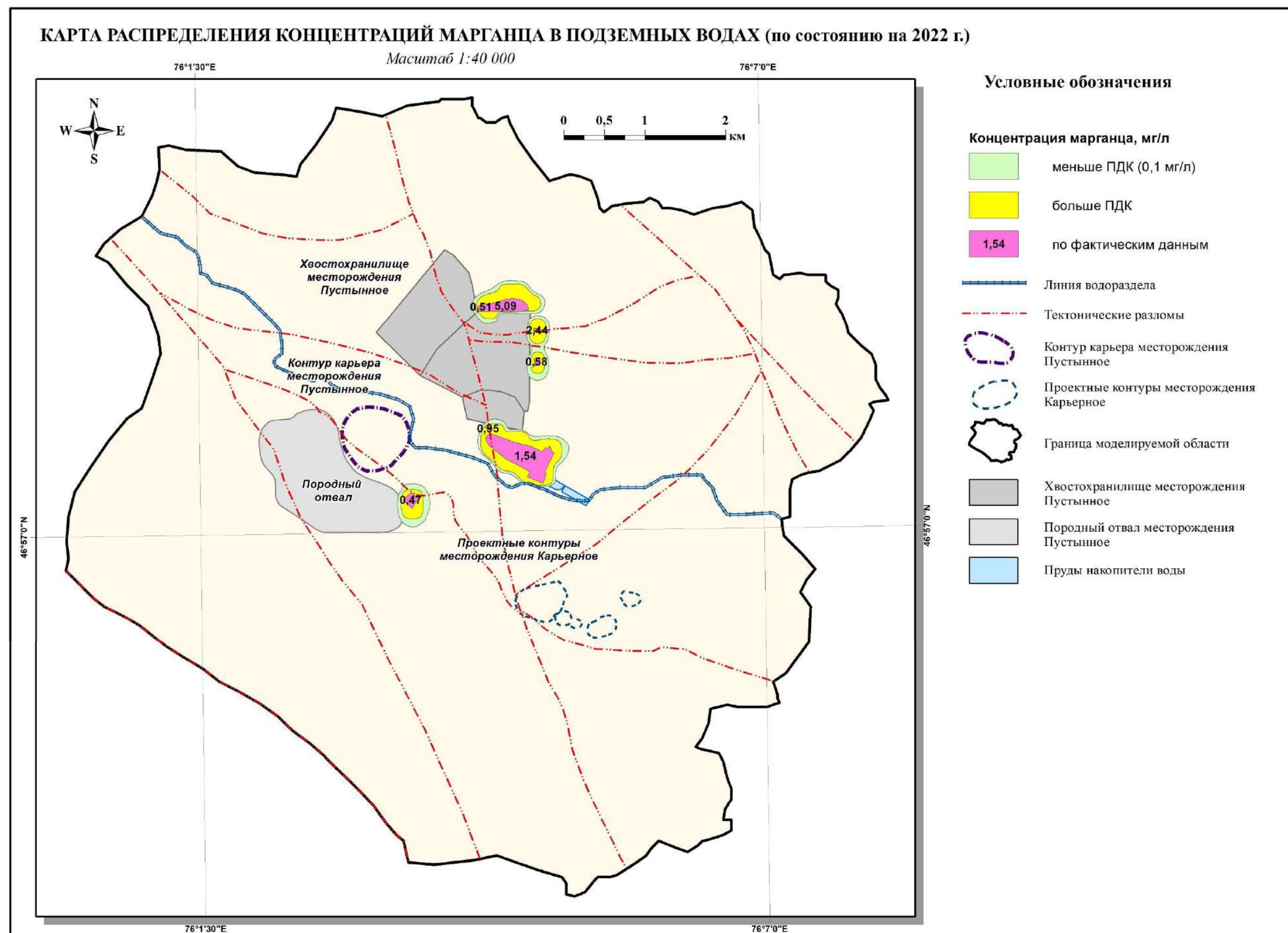


Рисунок 7.39 – Карта распределения концентраций марганца в подземных водах (по состоянию на 2022 г.)

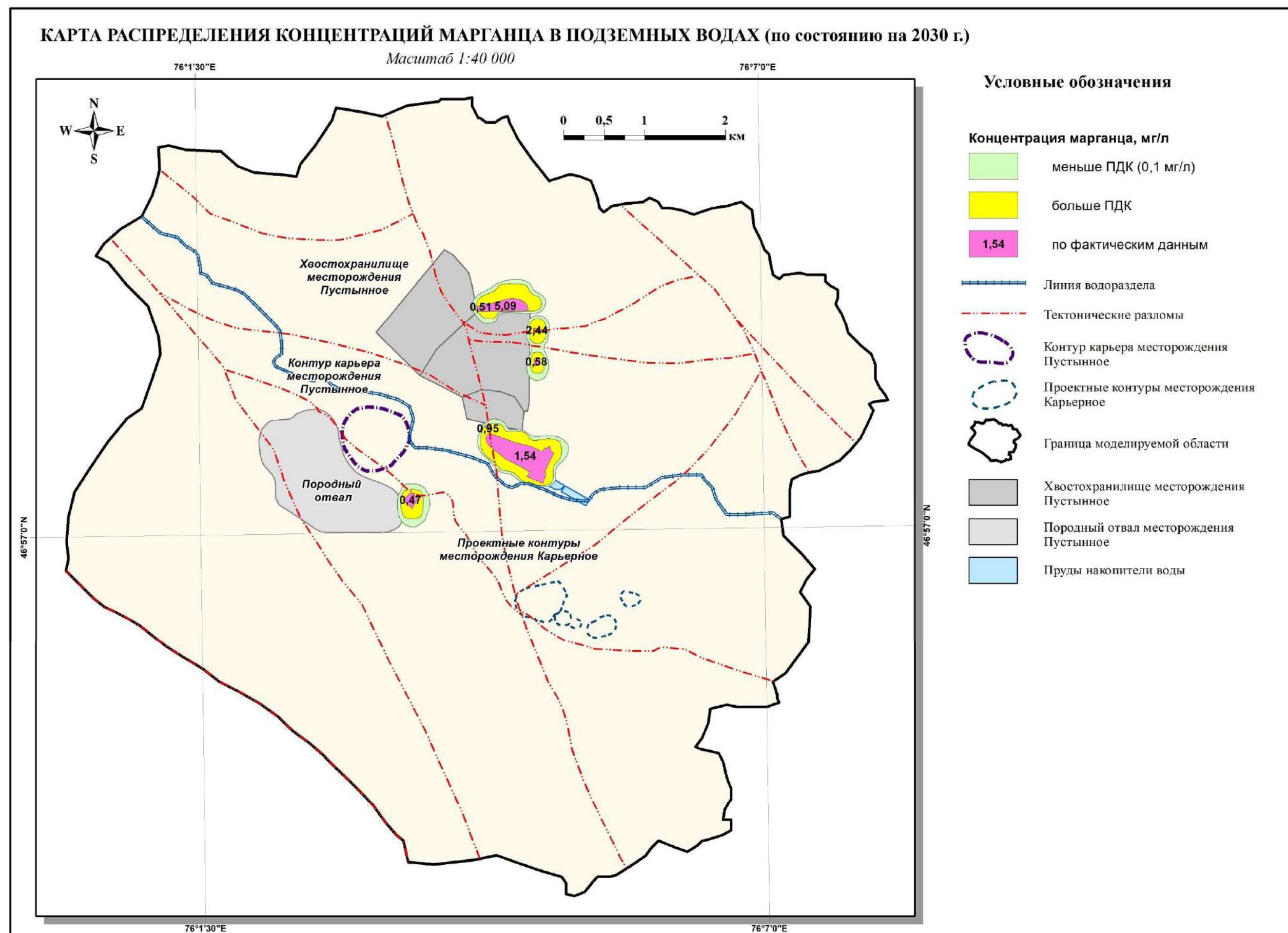


Рисунок 7.40 – Карта распределения концентраций марганца в подземных водах (по состоянию на 2030 г.)

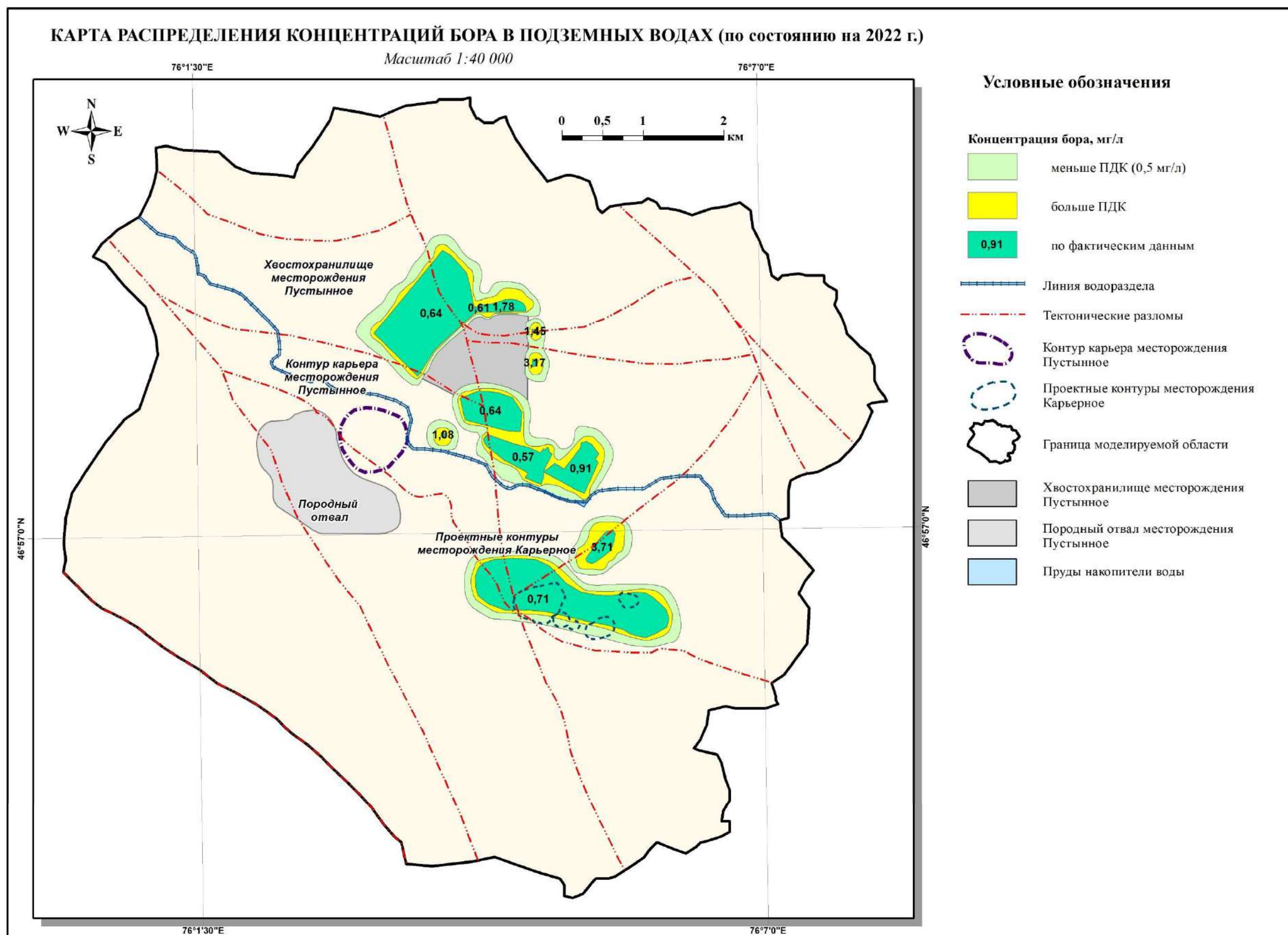


Рисунок 7.41 – Карта распределения концентраций бора в подземных водах (по состоянию на 2023 г.)

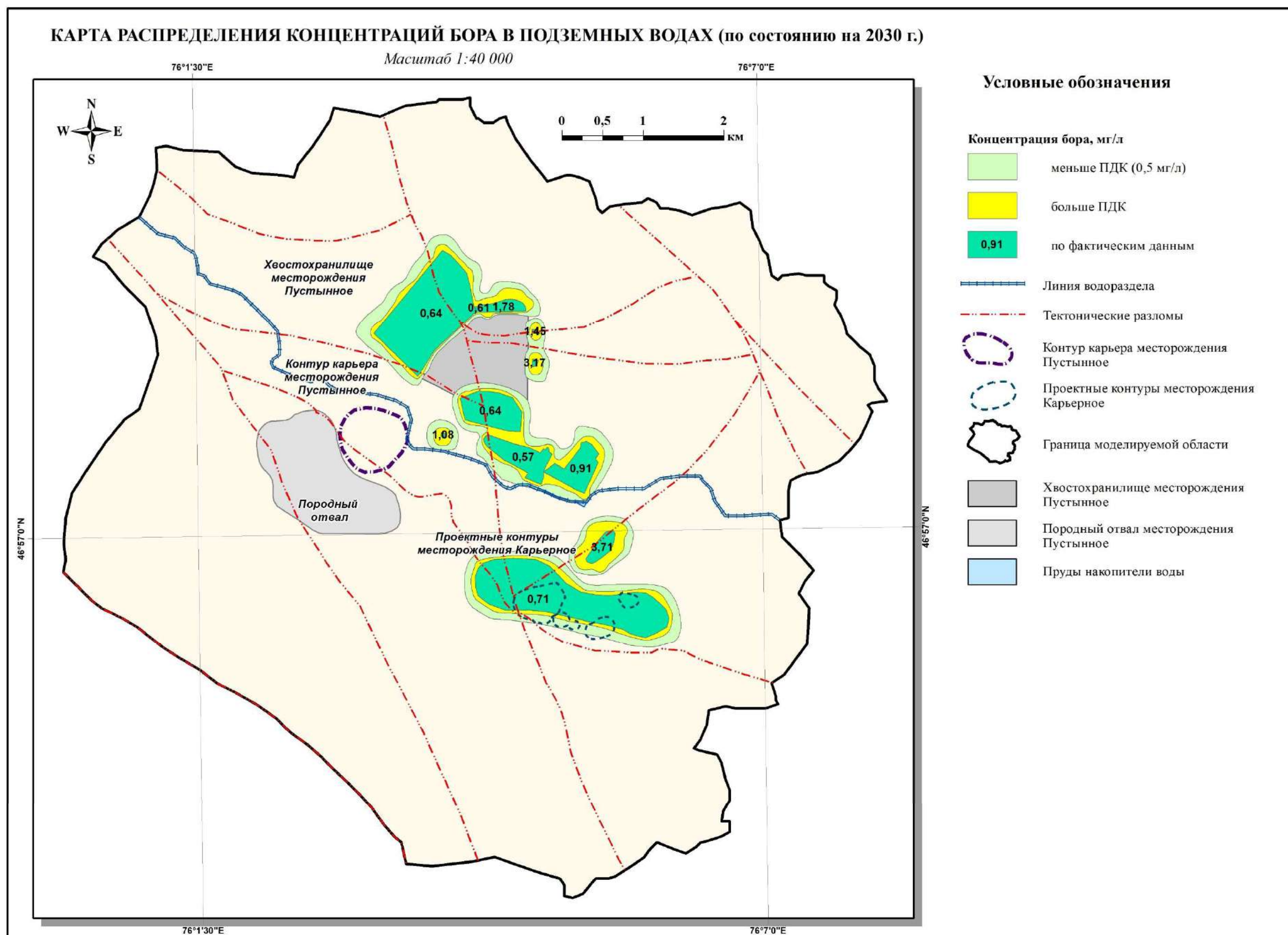


Рисунок 7.42 – Карта распределения концентраций бора в подземных водах (по состоянию на 2030 г.)

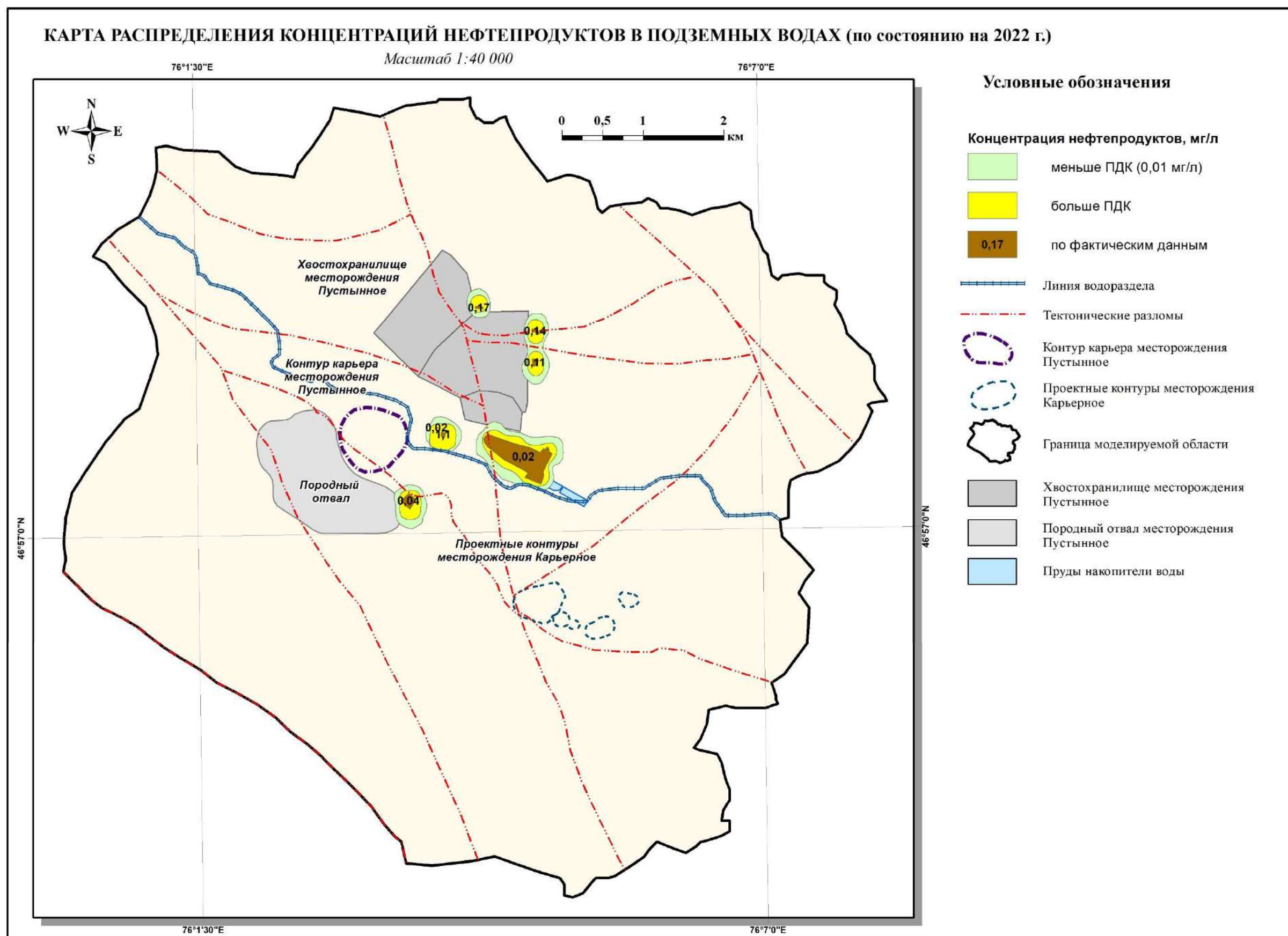


Рисунок 7.43 – Карта распределения концентраций нефтепродуктов в подземных водах (по состоянию на 2023 г.)

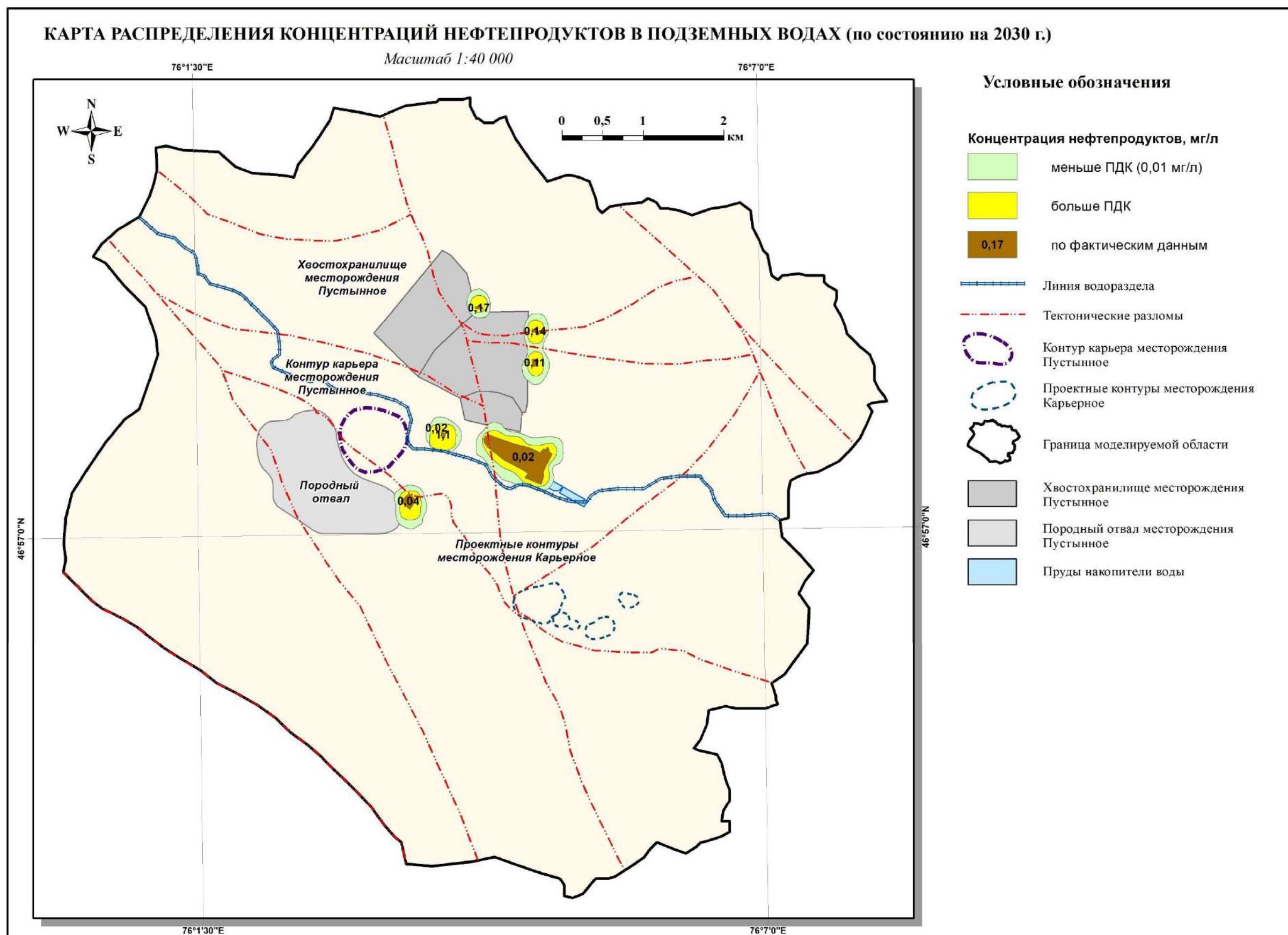


Рисунок 7.44 – Карта распределения концентраций нефтепродуктов в подземных водах (по состоянию на 2030 г.)

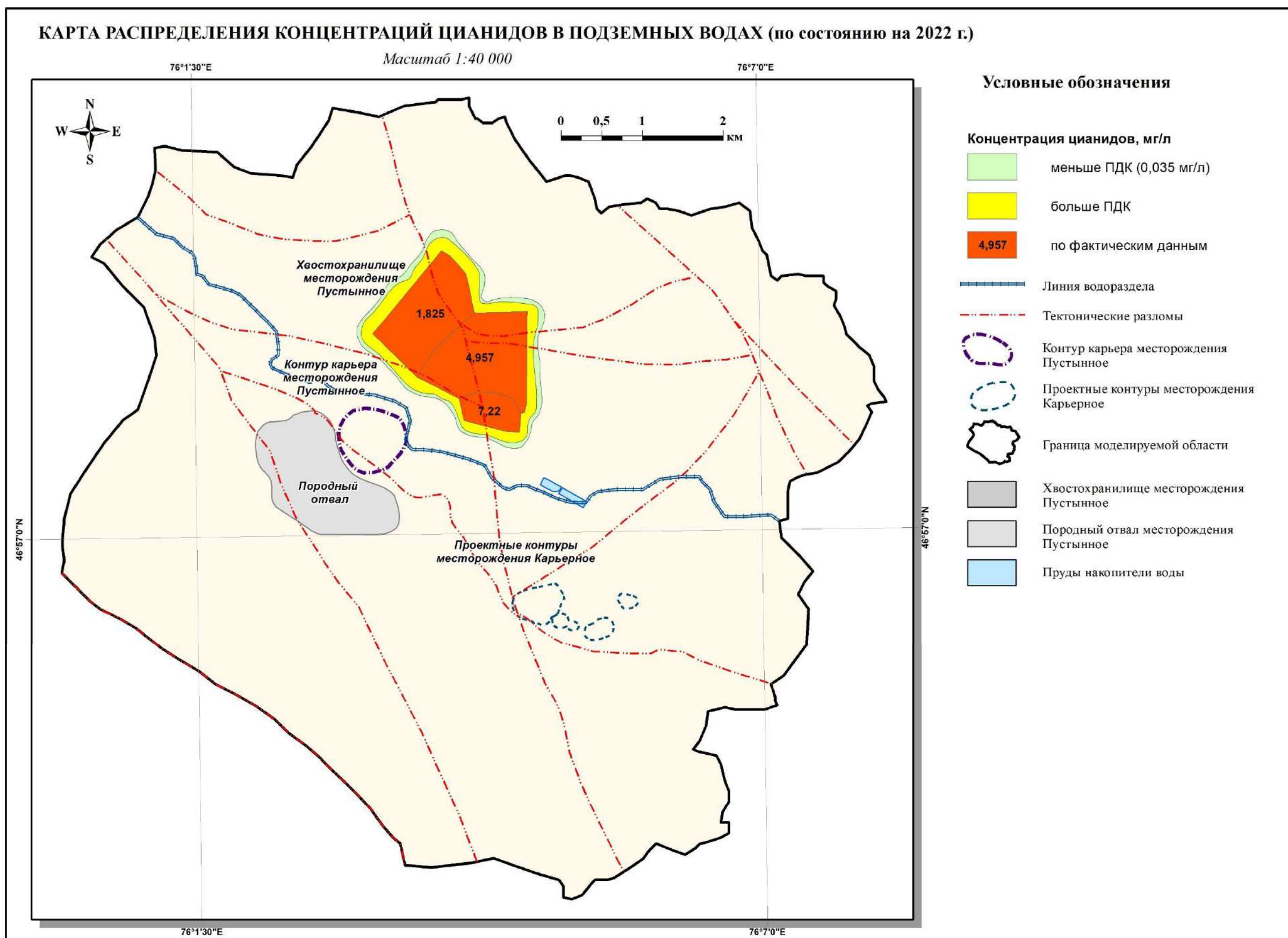


Рисунок 7.45 – Карта распределения концентраций цианидов в подземных водах (по состоянию на 2023 г.)

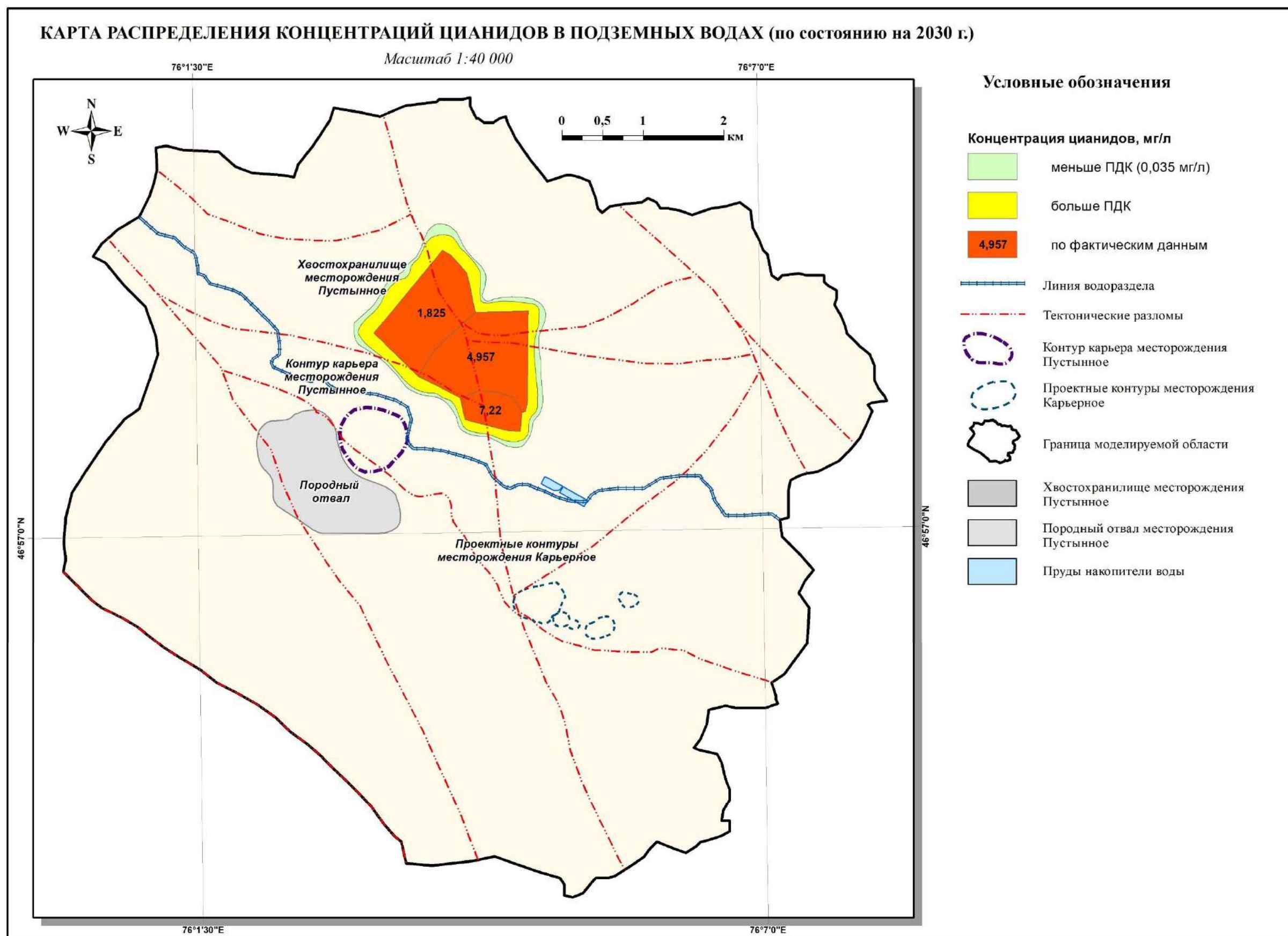


Рисунок 7.46 – Карта распределения концентраций цианидов в подземных водах (по состоянию на 2030 г.)

8 ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках выполнения научно-исследовательской работы, направленной на оценку изменения гидрогеологических условий на месторождении Пустынное под влиянием техногенной нагрузки, были поставлены следующие задачи:

- произвести обзор, анализ и обобщение геолого-гидрогеологической, метеорологической и пр. информации по объекту исследования;
- создать базу геоданных объекта исследований в географической информационной системе (ГИС);
- провести полевое обследование зоны влияния объекта на окружающую среду;
- произвести гидрохимическое опробование объекта;
- выполнить лабораторные химико-аналитические исследования образцов воды, отобранных при обследовании;
- выявить и изучить основные факторы, влияющие на изменение гидрогеологических условий;
- обосновать концептуальную модель гидрогеологических условий объекта исследований;
- создать математическую модель гидрогеологических условий объекта исследований путём решения обратной стационарной, обратной нестационарной (эпигнозной) и прогнозной задач;
- оценить изменения гидродинамических и гидрохимических условий объекта под влиянием техногенной нагрузки с учетом перспективы;
- обосновать рекомендаций по снижению/нейтрализации негативного влияния.

Для решения поставленных задач были выполнены следующие исследования.

1. Произведен сбор, анализ и обобщение исчерпывающей информации по объекту исследований с составлением карт, схем и графиков.

2. Проведено маршрутное обследование с охватом всей площади территории исследований с гидрохимическим опробованием точек наблюдения (водопоявления вблизи карт хвостохранилища, пруды-накопители технических вод, мониторинговые, действующее хвостохранилище).

3. Установлено, что линия местного водораздела, проходящая с запада на восток, делит исследуемую территорию на две независимые в гидрогеологическом отношении части, в одной из которых расположен карьер месторождения Пустынное, в другой – ЗИФ, хвостохранилище и прочие объекты. Поэтому фильтрационные потери в результате эксплуатации хвостохранилища и прудов-накопителей не сказываются на увеличении водопритока в карьер.

4. Установлены локальные очаги загрязнения подземных вод в районе действующего хвостохранилища района расположения ЗИФ.

5. Впервые для исследуемой территории выделены 5 типов режима подземных вод, которые позволили оценить степень техногенного воздействия.

6. Впервые определена величина инфильтрации атмосферных осадков, составившая 10-15 % от годовых осадков.

7. Выявлены и устранены систематические и случайные ошибки, допущенные при фиксации уровней, формировании отчётных данных.

8. Статистическая обработка временных рядов уровней подземных вод по ряду скважин, расположенных в пределах объекта исследований, показала тесную их зависимость друг от друга (коэффициенты корреляции 0,76-0,94), что говорит о дублировании информации по 50 % скважин и позволяет выполнить их оптимизацию.

9. Впервые для исследуемой территории выделено 5 типов подземных вод по их химическому составу. Это позволило оценить техногенное влияние объектов на подземные воды.

10. Выявлены ошибки по ряду проведённых химико-аналитических исследований, существенно искажающие информацию.

11. По комплексному анализу карьерных вод определена область его влияния и генезис происхождения вод.

12. Впервые для исследуемой территории определен изотопный состав вод и подтверждено, что основным источником формирования подземных вод являются атмосферные осадки.

13. Гидрогеолого-экологическое обследование позволило установить участки загрязнения подземных вод.

14. Впервые на базе геолого-гидрогеологических данных, и результатов опытно-фильтрационных работ была разработана трехмерная численная гидрогеологическая модель объекта, которая в дальнейшем была откалибрована по уровням подземных вод в наблюдательных скважинах и величине реального водопритока в карьер. Созданная модель позволила провести ряд прогнозов изменения гидродинамической обстановки в пределах области моделирования и оценить изменение гидрогеологических условий.

15. Результаты моделирования подтвердили, что основное влияние на гидрогеологические условия месторождения Пустынное оказывают техногенные факторы.

16. Коэффициенты фильтрации водовмещающих отложений, выявленные по результатам опытно-фильтрационных работ, интерполированы на всю территорию моделирования и скорректированы в процессе калибровки.

17. Методами моделирования определены основные характеристики разломов. Выявлены разломы с высокой степенью проводимости и практически водоупорные.

18. Установлены участки дополнительного питания подземных вод за счет фильтрационных потерь.

19. Величина водопритока в карьер месторождения Пустынное по результатам моделирования на 2022 г. составляет 59,9 м³/сут, что соответствует фактическим данным. К концу прогнозного периода (2030 г.) водоприток несколько увеличится и будет 71,2 м³/сут. Значительного увеличения водопритока при достижении финальной глубины и контура карьера не ожидается, поскольку естественные запасы подземных вод сработаны. Водоприток осуществляется только за счет естественных ресурсов, формирующихся путем инфильтрации атмосферных осадков на ограниченной площади.

20. Смоделированное дренирующее влияние карьера месторождения Пустынное позволило сделать заключение о весьма ограниченном распространении депрессионной воронки. Она вытянута с северо-запада на юго-восток и имеет грушевидную форму, а ее длина не превышает двух километров. Конфигурация воронки позволяет говорить о неравномерной сдренированности массива.

21. Низкая сдренированность массива и существенная нагрузка породного отвала, складываемого на юго-западный борт, ведут к росту порового давления с глубиной, что является причиной осложнений на юго-западном борту карьера. Поэтому рекомендуется провести дополнительное бурение геотехнических скважин с углом наклона в сторону карьера 60-70°, а также провести в этих скважинах опытно-фильтрационные и геофизические работы. В пробуренные скважины следует установить датчики контроля порового давления.

22. После окончания отработки месторождения Пустынное карьер будет играть роль дрены, что не приведет к существенным изменениям размера депрессии.

23. Величина водопритока в карьер месторождения Карьерное, рассчитанная по результатам решения прогнозной гидродинамической задачи, составит к концу прогнозного периода 433 м³/сут, что более чем в четыре раза превысит значение, полученное ранее при подготовке ТЭО [9]. Большой размер депрессионной воронки объясняется более высокими значениями коэффициентов фильтрации, большей площадью водосбора, а также сочленением пяти разломов. Следует учесть, что наибольшие сложности при отработке будут сосредоточены в юго-западной и северо-западной частях основного карьера.

24. Оработка месторождения «Карьерное» может привести к истощению ресурсов и запасов подземных вод, используемых ранее для технического водоснабжения за счёт скважин №№ 1г и 6г.

25. Все производственные объекты (хвостохранилище, ЗИФ, участок кучного выщелачивания), расположенные в северной части исследуемой территории, не оказывают влияния на состояние подземных вод, расположенных южнее линии водораздела. Поэтому изменение условий их эксплуатации не повлияет на водопритоки в месторождение «Карьерное».

26. По результатам ранее выполненных работ установлены высокие фоновые концентрации бора, мышьяка и хрома в почвах и водах

исследуемой территории, в некоторых случаях превышающие ПДК. Горнодобывающая и обогатительная деятельность приводит к увеличению количества загрязняющих компонентов в местах складирования вскрышных пород, хвостов обогащения, участков кучного выщелачивания. Результаты моделирования показали, что зона и интенсивность загрязнения будут незначительными. Ввиду низких фильтрационных свойств водовмещающих пород растворенные в воде компоненты не продвигнутся от источников на существенное расстояние. Это дает основание говорить об отсутствии серьезной опасности загрязнения подземных вод изучаемой территории и района.

27. Результаты решения прогнозной геомиграционной задачи вблизи месторождения Карьерное указывают на локальное расположение зон загрязнения и их незначительное увеличение по площади к концу прогнозного периода.

28. Методами моделирования подтверждено и доказано влияние на режим подземных вод хвостохранилища, прудов-накопителей, участка кучного выщелачивания и ЗИФ. Спровоцированное фильтрационными потерями повышение уровней подземных вод усиливает процессы испарения, что приводит к росту минерализации и засолению грунтов.

29. Установлено отличие гидрогеологических условий месторождений Пустынное и Карьерное, что отражается на значительной разнице величин водопритоков и размеров депрессионных воронок. Поэтому рекомендуется провести дополнительное изучение гидрогеологических условий территории месторождения Карьерное с целью предвидеть возможные инженерные проблемы при его отработке.

30. Необходимо внедрить в систему мониторинга автоматизированные контрольно-измерительные приборы (регистраторы уровня, порового давления, температуры, расходомеры и пр.);

31. Предложена схема расширения мониторинговой сети за состоянием подземных вод, позволяющая повысить степень изученности объекта (рис. 8.1).

32. Сооружение на исследуемой территории дополнительных объектов, оказывающих воздействие на подземные воды, потребует имитации их функционирования на созданной математической модели.

33. Для использования и пополнения созданной базы геоданных, математической модели и результатов химико-аналитических исследований рекомендуется использование следующих программных комплексов: ArcGISPro, Groundwater Modeling System, AquaChem.

Hydrogeology Consulting Group

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Инструкция по организации и ведению режимных наблюдений за уровнем, напором, дебитом, температурой и химическим составом подземных вод в системе Государственного мониторинга подземных вод, 2004 г.» Утвержденная приказом Председателя Комитета геологии и недропользования Министерства энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан от 9 ноября 2004 года № 144-б).
2. ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб».
3. СТ РК ГОСТ Р 51592-2003 «Вода».
4. Булычев Б.М., Менжулин В.И. Технический отчет о гидрогеологических изысканиях на объекте: «Установка кучного выщелачивания золотосодержащих руд месторождения «Пустынное» (дополнительная площадка)». Карагандинский государственный институт инженерных изысканий (Балхашский отдел). - Балхаш, 1993.
5. Медведев В.К. Магеррамова Э.А., Савина Н.И. Отчет по детальной разведке месторождения «Пустынное» за 1995-98 гг. АООТ «АБС-Карагандагеология», - Караганда, 2000.
6. Кайгородцев С.А. Краткое заключение о результатах обследования подземных вод в районе месторождения Пустынное (июль 2011 г.), (Карагандинская область, Актогайский район, лист L-43). ТОО «Гидрогеолог», - Караганда, 2011.
7. Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Бесимбаева О.Г. Отчет о НИР «Обоснование параметров устойчивых бортов карьера месторождения «Пустынное» на основе инженерно-геологических данных». Научно-исследовательская лаборатория «Маркшейдерия, геотехника и геометризация недр», - Караганда, 2012.
8. Кругликов Е.Ю. Отчет о результатах оценки эксплуатационных запасов подземных вод на участке скважин №№ 1г, 2г, 5г, 6г, 8г, 19г в Актогайском районе Карагандинской области с целью хозяйственно-бытового водоснабжения горно-металлургического предприятия «Пустынное» Актогайского филиала АО «АК Алтыналмас» по состоянию на 1 сентября 2016 года, выполненных в 2014-2016 гг. - Алматы, 2016.
9. Месторождение «Карьерное» - Отчет по управлению водными ресурсами (ТЭО). SRK Консалтинг Лимитед, - Кардифф (Великобритания), 2017.
10. Метелкина В.И. Калибеков А.М. Отчет о результатах ведения мониторинга подземных вод на территории ГМП «Пустынное» Актогайского филиала АО «АК Алтыналмас» за 2014-2017 гг. - ГМП «Пустынное», 2017.

11. Отчет по мероприятиям улучшению безопасности дамбы хвостохранилища, согласно рекомендациям проведенного аудита от SRK и заключению о возможности дальнейшей эксплуатации ХХ, согласно отчета ТОО «КАЗГИДРО» Инженерно-геологического обследования дамб ХХ ЗИФ проекта Актогай АО «АК Алтыналмас». - SRK, 2021.

12. *Тлеугалиев Д.Р. Калибеков А.М.* Отчет о НИОКР «Разработка и представление программы развития гидрогеологических исследований проекта Пустынное». - Проект Пустынное АО «АК Алтыналмас», 2021.

13. *Идеятов Б.К., Нурмаганбетов М.Ч.*, Отчет о результатах бурения наблюдательных гидрогеологических скважин на проекте Пустынное в Актогайском районе Карагандинской области. ТОО «Kokshetauburstroy», - Кокшетау, 2021.

14. *Шайзин Н.К.* Технический отчет инженерно-геологических изысканий «Инфраструктура для ЗИФ месторождения Карьерное-Прибалхашское на объектах: Хвостохранилище для хвостов флотации объемом 55 млн. тонн; Хвостохранилище для хвостов СІІІ объемом 7 млн. тонн; Фабрика; Корпус Извести; Корпус подачи кислорода. ТОО «ПроектЭнергоПром, - Нур-Султан, 2021.

15. *Гавич И.К.* Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. - М., Недра, 1980 .

16. *Лукнер Л., Шестаков В.М.* Моделирование геофильтрации. - М., Недра, 1976.

17. *Веселов В.В., Паничкин В.Ю.* Геоинформационно-математическое моделирование гидрогеологических условий Восточного Приаралья. – Алматы: Комплекс, 2004. – 426 с.

18. *Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л.* Автоматизированная технология проектирования математических моделей гидрогеологических объектов. Известия НАН РК. Серия геологическая. – Алматы, 2006. – №3. – С.43-48.

19. *Паничкин В.Ю.* Разработка, развитие и совершенствование теоретических основ структурного моделирования процессов загрязнения подземных вод в экологически неблагоприятных регионах Казахстана. Известия НАН РК. Серия геологическая. – 2009. – №1, 2. – С.107-109.

20. *Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л.* Современные тенденции гидрогеологического моделирования в Казахстане. Известия НАН РК. Серия геологическая. – 2009. - №3(419). – С.97-103.

21. *Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л.* Применение методов геоинформационно-математического моделирования для решения задач охраны подземных вод. Научный журнал «Терра», 2010. – №2(7)2009 – №1(8)2010. – С.5-19.

22. Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л. Повышение эффективности гидрогеологических исследований в Казахстане на основе применения новейших информационных технологий. Известия Томского политехнического университета. -2014. – Т.325, №1. – С.118-126.

23. Zhanay Sagintayev, Zhaiyk Yerikuly, Slyamhan Zhaparkhanov, Vladimir Panichkin, Oxana Miroshnichenko, Shamshagul Mashtayeva. Groundwater inflow for a Kazakhstan copper ore deposit // Journal of Environmental Hydrology. – 2015. – Vol. 23. - Paper 9.

24. V.Panichkin, J.Sagin, O. Miroshnichenko, L. Trushel, N. Zakharova, Z.Yerikuly & Y. Livinskiy Assessment and forecasting of the subsurface drain of the Aral Sea, Central Asia. Environmental Studies (Международный журнал изучение окружающей среды) DOI:10.1080/00207233.2017.1280321 To link to this article.

25. <http://dx.doi.org/10.1080/00207233.2017.128032> ISSN: 0020-7233 (Print) 1029-0400 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/genv20>.

26. ArcGIS Desktop, Desktop GIS Software Suite, ESRI - www.esri.com.

27. GMS 10.0 Tutorial. MODFLOW – MNW2 Package. Use the MNW2 package with the sample problem and a conceptual model, <http://www.aquaveo.com/software/gms-learning-tutorials>

28. Copernicus DEM: 30 meter dataset - https://spacedata.copernicus.eu/explore-more/news-archive/-/asset_publisher/Ye8egYeRPLEs/blog/id/434960

29. EarthExplorer - USGS.gov - <https://earthexplorer.usgs.gov/>