

**Заказчик — Общество с ограниченной ответственностью
«Урал-ГИПроЦентр» (ООО «Урал-ГИПроЦентр»)**

**ХВОСТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ
ФАБРИКИ №5-к АО «ВИШНЕВОГОРСКИЙ ГОК»
(ХВОСТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО ОФ) В КАСЛИНСКОМ
РАЙОНЕ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ, НА УЧАСТКЕ
В КВ. № 53, 54, 55, 56, 57, 70, 71, 72, 84, 85
ВИШНЕВОГОРСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА**

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

**Раздел 12 Иная документация в случаях,
предусмотренных федеральными законами**

**Часть 6 Прогнозные расчеты по динамике уровня
грунтовых вод**

**Оценка воздействия на подземные воды при
эксплуатации хвостохранилища обогатительной
фабрики №5- к АО «Вишневогорский ГОК»**

083-0308-21-03-ГВ

Том 12.6

Изм.	№док.	Подп.	Дата

Общество с ограниченной ответственностью «НИЭП»
Член СРО «Межрегиональная ассоциация архитекторов и проектировщиков», рег. № СРО-П-083-14122009
Член СРО «Уральское общество изыскателей», рег. № СРО-И-019-11012010

Заказчик — Общество с ограниченной ответственностью
«Урал-ГИПроЦентр» (ООО «Урал-ГИПроЦентр»)

**ХВОСТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ
ФАБРИКИ №5-к АО «ВИШНЕВОГОРСКИЙ ГОК»
(ХВОСТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО ОФ) В КАСЛИНСКОМ
РАЙОНЕ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ, НА УЧАСТКЕ
В КВ. № 53, 54, 55, 56, 57, 70, 71 ,72, 84, 85
ВИШНЕВОГОРСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА**

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

**Раздел 12 Иная документация в случаях,
предусмотренных федеральными законами**

**Часть 6 Прогнозные расчеты по динамике уровня
грунтовых вод**

**Оценка воздействия на подземные воды при
эксплуатации хвостохранилища обогатительной
фабрики №5- к АО «Вишневогорский ГОК»**

083-0308-21-03-ГВ

Том 12.6

Директор

ГИП



А. В. Чернышова

Л. А. Зуб

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ПРИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА
ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ №5 –К АО
«ВИШНЕВОГОРСКИЙ ГОК»

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ПРИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ
ФАБРИКИ №5 –К АО «ВИШНЕВОГОРСКИЙ ГОК

Выполнил, гидрогеолог

Бывальцев И.М.

Челябинск, 2021

Содержание

		Стр.
	Ведение	4
	Геологическое строение и гидрогеологические условия	6
	<i>1.1. Геологическое строение</i>	6
	<i>1.2. Гидрологические условия</i>	7
2	Схематизация природных условий для расчетов	12
	<i>2.1 Постановка задачи</i>	12
	<i>2.2 Параметры модели</i>	13
	<i>2.3 Проверка адекватности модели реальным условиям</i>	15
3.	3. Прогнозные расчеты баланса хвостохранилища и положения УГВ.....	17
	<i>3.1. Расчеты баланса и положения УГВ при эксплуатации хвостохранилища по начальному варианту</i>	18
	<i>3.2. Расчеты баланса и положения УГВ при Кф шлама 0,05 м/сут</i>	18
	<i>3.3. Расчет баланса и положения УГВ при экранировании основания секций</i>	18
	Список использованных материалов	28
	Приложение 1	29
	Приложение 2	34

Введение

Оценка воздействия на подземные воды выполнена по заданию исполнителей проекта проектируемого сооружения. Целью работы является:

- оценка баланса подземных вод при эксплуатации хвостохранилища;
- прогноз изменения УГВ при различных значениях фильтрационных параметров дамб обвалования.

Территория проектируемого хвостового хозяйства расположена ориентировочно на расстоянии 1,6 км к западу от поселка Вишневогорск Каслинского района Челябинской области (рис. 1).

Рельеф исследованной территории относится к восточному предгорью Уральского кряжа, с наличием межгорных ложбин, карьеров и отвалов, характеризуется большими перепадами по высоте. Высотные отметки устьев скважин варьируют в пределах 252,8÷283,8м. Высотное превышение в пределах исследованной территории составляет 31,0м.

В геоморфологическом отношении территория проектируемого хвостового хозяйства приурочена к так называемой Булдымской депрессии и частично к восточному склону Каганских гор и представляет собой широкую долину с плоскими местами всхолмленным дном, по которому протекает река Булдымка. Русло реки проходит преимущественно у левого склона долины, т.е. вдоль подножья Каганских гор. Большая часть исследованной территории заболочена. Ширина и глубина реки непостоянные. Дно реки заиленное, местами заторфованное. По берегам растет камыш. Большая часть исследованной территории расположения проектируемого хвостохранилища заболочена и подтоплена.

Геологическое строение исследованной территории на разведанную глубину до 22,5 м представлено скальными сиенитами и сланцами палеозойского возраста; элювиальными образованиями упомянутых выше пород мезозойского возраста: щебенистым, дресвяным грунтами, песком, супесью; четвертичными отложениями: линзами аллювиальных супеси, песка и делювиального суглинка, слоями торфа, почвенно-растительного и насыпных грунтов [1].

На рассматриваемой территории из опасных физико-геологических явлений развиты процессы подтопления, в связи с низким гипсометрическим положением исследованного участка, близостью реки Булдымка – естественной дренажной подземных вод.

«Оценка воздействия ...» составлено на основе обработки и анализа материалов изысканий [1], проектных проработок НИЭП и других нормативно-методических материалов [2, 3, 4].

Анализ воздействия хвостохранилища на состояние подземных вод и другие прогнозные оценки основаны на использовании произведенных численных расчетов для стационарного режима.

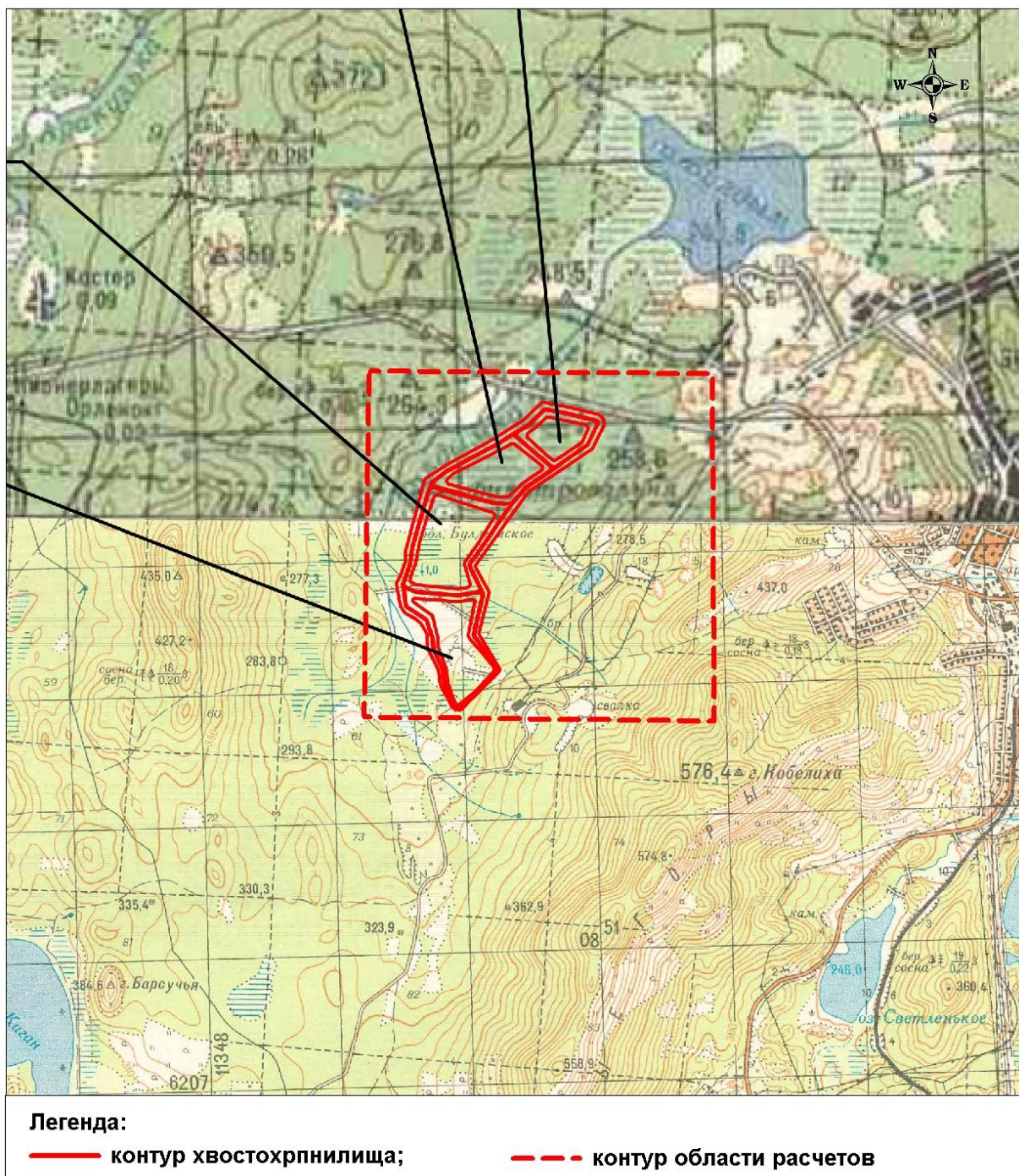


Рис. 1. Обзорная карта района работ (увеличено до масштаба 1:50000, с топографических карт масштаба 1:25000 и 1:100000)

1. Геологическое строение и гидрогеологические условия

1.1. Геологическое строение

Выполненными инженерно – геологическими изысканиями [1] установлено, что геологическое строение исследованной территории на разведанную глубину до 22,5 м представлено скальными сиенитами и сланцами палеозойского возраста; элювиальными образованиями упомянутых выше пород мезозойского возраста: щебенистым, дресвяным грунтами, песком, супесью; четвертичными отложениями: линзами аллювиальных супеси, песка и делювиального суглинка, слоями торфа, почвенно-растительного и насыпных грунтов

Район работ характеризуется близким к поверхности залеганием коренных пород (биотит – роговообманковые гнейсы, сиениты) палеозойского возраста, залегающие с азимутом $95 - 100^0$ ЮВ, угол падения 50^0 . В верхней части разреза скальные породы сильнотрещиноватые.

Верхняя часть скальных грунтов выветрена до состояния полускального грунта, щебня, дресвы, песка, супеси. На кровле элювиальных образований участками залегают покровные делювиальные суглинки. Различные по литологическому составу и структуре породы разрушались неодинаково, что сказывалось на формировании рельефа местности: наиболее устойчивые к выветриванию породы образовали гряды холмов – останцов, вытянутых в меридиональном направлении.

В долине р. Булдымки и в прибрежной полосе оз. Булдым развиты болотные и озерно – болотные отложения, представленные торфом, песком, галечником, суглинком.

Грунтовые воды гидравлически связаны с поверхностными водами и уровнем воды в реке Булдымка. Питание горизонта грунтовых вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. Подъем уровня грунтовых вод в весенний период и летний при обильных выпадающих осадках на один метр.

На проектируемом участке выделено 10 инженерно-геологических элемента. Наибольшее площадное распространение получили следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

ИГЭ 3 – супесь аллювиальная аQ4;

ИГЭ 5 – супесь элювиальная еMz;

ИГЭ 8 – щебень элювиальная еMz.

Из коренных пород в разных частях площадки вскрыты трещиноватые сланцы и сиениты палеозойского возраста (Pz)/

1.2 Гидрогеологические условия

По разным исследованиям в районе Вишневых гор имеется значительное число источников, расположенных по склонам гор на различной высоте, достигающей 150 – 250 м по отношению к близлежащим озерам. Дебит большинства источников ограничен 0,2 – 1,0 л/с, редко, по отдельным источникам, 5 – 7 л/с.

Все источники представляют собой нисходящие выходы грунтово – трещинных вод коры выветривания массива горных пород. Их сток проходит к болотам и озерам, расположенным по склонам гор. Подземные воды наблюдаются преимущественно в поверхностной зоне горных пород, затронутых процессами выветривания. На водораздельных высотах мы сталкиваемся, с трещинными водами коренных пород, в логах и долинах, одновременно с трещинными водами, наблюдаются грунтовые воды в продуктах разрушения коренных пород.

Булдымский лог расположен на западном склоне северного окончания Вишневых гор. Здесь обнаружено 5 родников, обладающих низким дебитом воды 0,1 – 0,5 л/с.

В результате предыдущих изысканий выделено два горизонта подземных вод:

- трещинные воды коренных пород;
- грунтовые воды, приуроченные к рыхлым отложениям четвертичного возраста.

Трещинные воды выявлены большинством пробуренных скважин в окрестностях Вишневогорского месторождения на глубине 50,0 – 80,0 м. Воды напорные. По данным опытных откачек из скважин степень обводненности трещиноватых пород невелика и не выдержана. Дебит скважин при пробных откачках от 0,095 до 0,76 л/с.

Дебит источников – выходов трещинных вод на дневную поверхность не превышает 0,5 – 1,0 л/с, подвержен сезонным колебаниям. Летом многие источники пересыхают.

Грунтовые воды приурочены к отдельным участкам логов, замкнутым понижениям на водоразделах и крупным заболоченным долинам.

На участке хвостохранилища грунтовые воды по состоянию на декабрь – апрель 1958 года встречены в Булдымской долине. На заболоченных участках грунтовые воды залегают в торфянике, супеси, песчанистых и дресвяно – щебенистых грунтах на глубинах от 0,30 до 2,8 м. По результатам химических анализов грунтовые воды по отношению к бетону агрессивными свойствами не обладают.

Для определения степени водонепроницаемости элювиальных образований были проведены три опытных налива в шурфы. Два шурфа были пройдены на правом плече пионерной дамбы и один шурф на левом плече ограждающей дамбы. По результатам

выполненных наблюдений коэффициент фильтрации для супесчаного элювия составил 0,64 м/сутки; щебенисто – дресвяного элювия 4.11 м/сутки.

По лабораторным определениям коэффициент фильтрации для супесчаного элювия колеблется от 1,04 до 3,46 м/сутки, щебенисто – дресвяного элювия по двум определения составил 1,30 и 4,50 м/сутки.

Для проектирования дамб предыдущими изысканиями рекомендованы следующие значения коэффициента фильтрации для]:

- супеси аллювиальной $K_f = 0,1 \div 0,9$ м/сут.;
- супеси элювиальной $K_f = 0,64 \div 1,96$ м/сут.;
- щебенисто – дресвяного элювия $K_f = 4,0$ м/сут.;
- выветрелых коренных пород $K_f = 8,18 \div 12,5$ м/сут.

По данным изысканий 2021 г. значительная часть исследованной территории является пойменной террасой р. Булдымка, характеризуется одним горизонтом подземных вод. Горизонт ненапорный, грунтового типа. На исследованной территории на расстоянии 150 ÷ 200 м от скважины 245А расположен самоизливающий источник (родник). Родник оборудован трубой $D = 260$ мм, труба изношена, с ржавыми отверстиями. Около трубы выкопан котлован диаметром 10 ÷ 12 м, полностью заполненный водой. Глубина родникового источника от поверхности земли 0,7 м. Высота трубы над землей 0,4 м.

Установившийся уровень грунтовых вод зафиксирован большинством скважин на глубине 0,1 ÷ 6,0 м, что соответствует высотным отметкам 250,80 ÷ 280,60 м.

На большей части исследованной территории глубина появления грунтовых вод в скважинах соответствует глубине установления грунтовых вод, или различается незначительно.

Направление грунтового потока на север и северо – запад, в сторону реки Булдымка и озера Булдым. Уровень воды в реке Булдымка гидравлически связан с грунтовыми водами на описываемой территории. По данным изысканий 2021 г составлена карта гидроизогипс (рис. 1.1)

Питание горизонта грунтовых вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и родниковых вод. Амплитуда сезонного колебания уровня грунтовых вод принимается равной $\pm 1,0$ м.

Водовмещающими грунтами являются все грунты, находящиеся ниже УГВ.

В процессе полевых работ в январе 2021 г. выполнены откачки грунтовых вод в скважинах 241, 242, 279 для определения коэффициента фильтрации по восстановлению уровня.

Значения коэффициента фильтрации по результатам опытных откачек получились для супеси аллювиальной (ИГЭ 3) и супеси элювиальной (ИГЭ 5) $K_f = 0,611 \text{ м/сут}$; песка аллювиального (ИГЭ 4) $K_f = 0,889 \text{ м/сут}$;; щебенистого грунта (ИГЭ 8) $K_f = 2,75 \text{ м/сут}$.

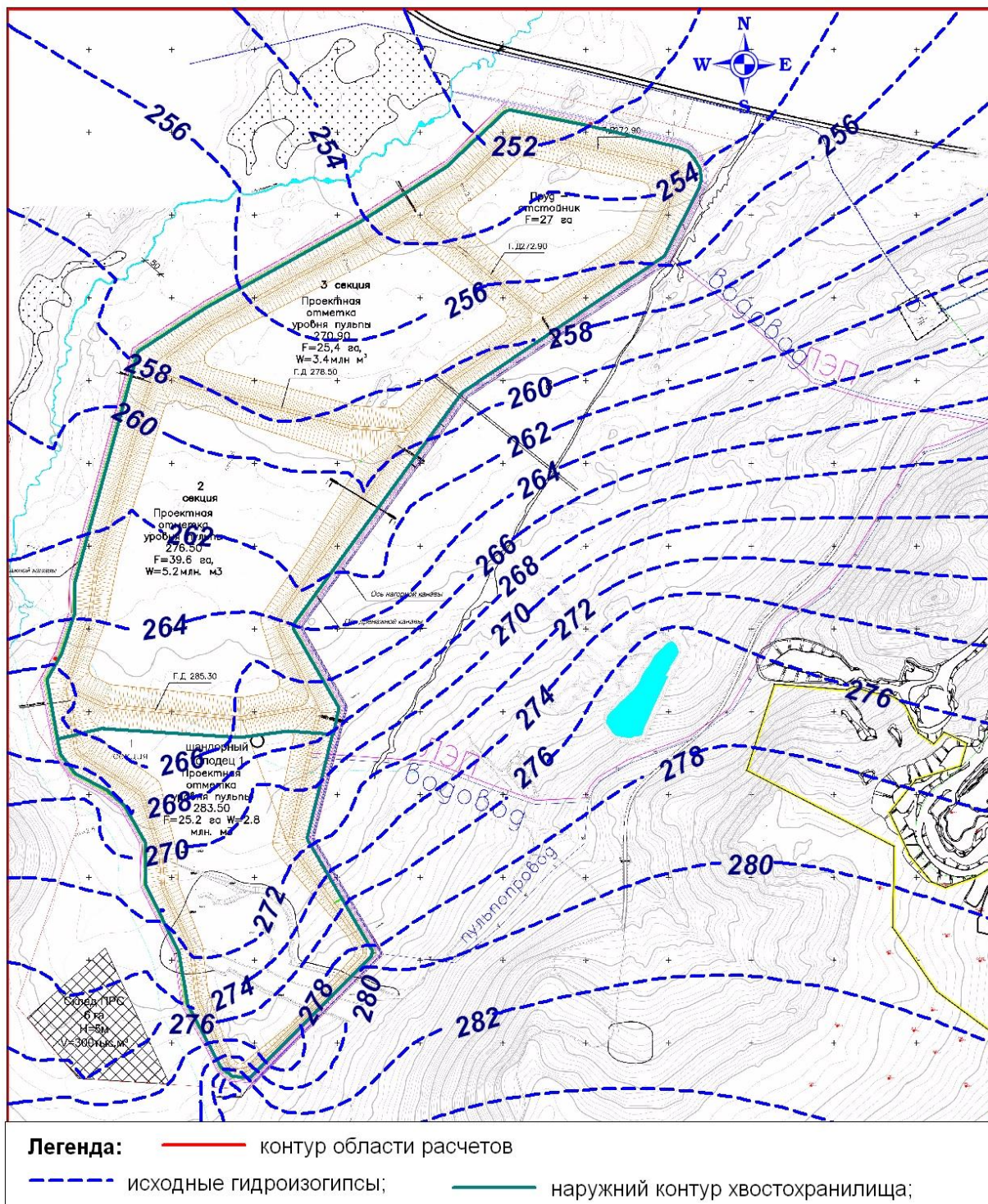


Рис. 1.1. Исходные гидроизогипсы по данным [1] (масштаб 1:15000)

Для расчетов при проектировании рекомендуются значения коэффициентов фильтрации по архивным источникам отдела изысканий ООО «ЧЕЛЯБГИПРОМЕЗ – Проект» и ООО «ЧЕЛЯБГИПРОМЕЗ», полученным по результатам многократных опытных откачек, выполненных на площадках в идентичных инженерно–геологических и гидрогеологических условиях, и результатов лабораторных исследований

- для: насыпного слоя (ИГЭ 1а) $K_f = 2,4$ м/сут.;
- суглинка (ИГЭ 2) $K_f = 0,25$ м/сут.;
- песка пылеватого (ИГЭ 4) $K_f = 2,0$ м/сут.;
- супеси (ИГЭ 3) $K_f = 2,4$ м/сут.;
- супеси (ИГЭ 5), песка дресвяного (ИГЭ 6) и дресвяного грунта (ИГЭ 7) $K_f = 3,2$ м/сут.;
- щебенистого грунта (ИГЭ 8) 5,0 м/сут,
- сланцев (ИГЭ 9), сиенитов (ИГЭ 10) $K_f = 10,0$ м/сут.

2. Схематизация природных условий для расчетов

2.1 Постановка задачи

Приток воды на территорию и потери из хвостохранилища и оценка воздействия на подземные воды выполнены методом численного моделирования на базе комплексной программы PMWIN которая позволяет обрабатывать набор необходимых данных для создания реалистичной модели фильтрации подземных вод.

Гидродинамическая модель позволяет реализовать стационарную и нестационарную пространственную фильтрацию подземных вод в неоднородных водоносных горизонтах. Программа допускает моделирование напорных, безнапорных и напорно-безнапорных водоносных пластов, обрабатывает ситуации полного осушения блоков и восстановления уровня подземных вод в сухих блоках. Программа основана на методе конечных разностей с прямоугольной разбивкой области фильтрации на прямоугольные блоки в плане и переменной высоты в разрезе.

Математически трехмерная фильтрация описывается уравнением в частных производных:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \omega = \eta \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (1)$$

где K_x , K_y , K_z - коэффициенты фильтрации пород в направлении осей координат X , Y , Z , м/сут;

h - уровень (или напор) подземных вод, м;

ω - величина внешнего питания (расход потока на единицу объема), м/сут;

η - коэффициент упругости породы, 1/м;

t - время, сут.

В общем случае величины K_x , K_y , K_z и η являются функциями координат, а величина ω - функцией координат и времени. Уравнение (1) описывает фильтрацию в неоднородном анизотропном водоносном горизонте.

Для решения уравнения (1) необходимо задать начальные условия (начальное положение уровней подземных вод) и граничные условия, отражающие питание и разгрузку водоносного комплекса (инфильтрацию, испарение и т.д.).

2.2 Параметры модели

Границы области моделирования и структура модели

Уровни подземных вод по результатам инженерно-геологических изысканий под проектируемое сооружение [1] изменяются от 252 до 280,6 м БС, по области модели от 248 до 280,6 м БС. Уклон подземных вод с юга на север и северо-запад.

При схематизации с юга и юго-востока граница модели принята по гидроизогипсе 278,0 м, т.е. граница III-го рода, на севере по гидроизогипсе 248 м БС. На данных границах идет поступление и отток воды в область модели в соответствии с заданными гидрогеологическими параметрами, такими как напор и проводимость водоносного горизонта. При достижении измененного положения уровня подземных вод на территории от данной границы поток будет поступать в активную область модели. Причем, чем больше понижение, тем больше приток. Данная граница неистощимый источник воды. При повышении или понижении уровня подземных вод в контурах расчета уровень на данной границе остается постоянной.

С запада и востока, по линиям перпендикулярно потоку, заданы условия непроницаемости ($Q=0$) (Рис.2.1). Граница непроницаемости (расход $Q=0$) совпадает с границей области расчетов.

Вся площадь моделирования составляет 6,48 км².

Верхняя граница модели соответствует «дневной поверхности». Нижняя граница обусловлена глубиной изученности разреза развития активной трещиноватости (50 м). Вся толща пород разбита по фильтрационным свойствам на 2 слоя. Подошва 1-го слоя принята по данным инженерно-геологических изысканий (табл. 2.1) Условный водоупор принят на глубине 50 м и по конфигурации повторяет рельеф местности. Список скважин с координатами, подошвами слоев и УГВ приведен в прил.1. Участки, где отсутствуют скважины, мощность 1-го слоя принята равной 5м (средняя мощность вскрытая скважинами).

Структура сетки. Исследуемая область фильтрации (2700 м x 2400 м) разбита равномерной прямоугольной сеткой. В разрезе выделены два расчетных слоя. Размеры призм составили по осям x и y – 20 м (Рис. 2.1), по оси z - равны мощности рассматриваемых слоев.

Обоснование мощности горизонтов и их фильтрационных параметров

В результате обобщения результатов гидрогеологических работ и схематизации разреза по глубине до условного водоупора выделены водоносные горизонты, которые

Таблица 2.1. Инженерно-геологические элементы, сгруппированные по слоям

Номер слоя	Краткое описание выделенных ИГЭ	Кф, м/сут
I	ИГЭ 1 Насыпной слой (tQ₄) техногенный беспорядочно отсыпанных: глыб и щебня скальных пород, почвы, супеси, песка на проезжей части грунтовых дорог. Залегают на участках скважин № 241, 245 мощностью 0,4 ÷ 1,4 м.	
	ИГЭ 1а Насыпной слой (tQ₄) техногенный представлен песком, супесью, галькой отсыпан в дамбе бывшей плотины на участках скважин № 140, 141, 249, 255, 128, мощностью 1,3 ÷ 5,8 м. 2,4	2,4
	ИГЭ 1б Торф (bQ₄) сильноразложившийся, черного цвета, сильносжимаемый, с растительными остатками, слабый биогенный, пучинистый, водонасыщенный. Источником обводнения торфяной залежи является река Булдымка и родники. Залегают на большей части исследованной территории мощностью 0,3 ÷ 3,2 м	0,52
	Почвенно-растительный слой (eQ₄) представлен почвой горно – лесной зоны, серого цвета, задернованный, развит на большей части проектируемой площадки мощностью 0,2÷0,8 м	0,52
	ИГЭ 2 Суглинок (dQ₄) делювиальный четвертичного возраста, коричневого цвета, лёгкий песчанистый, плотный в проходке, твёрдой консистенции, с редкими включениями дресвы до 5%. Залегают линзами на участках скважин № 136÷138 мощностью 0,4 ÷ 0,8 м.	0,25
	ИГЭ 3 Супесь (aQ₄) аллювиальная четвертичного возраста, серовато - зелёного цвета, песчанистая, твёрдой, пластичной и текучей консистенции, средней плотности в проходке, с неравномерными включениями гравия и гальки от 1,7 до 55,4%. Супесь водонасыщенная, при проходке скважин проявляет плавунные свойства. Залегают на большей части исследованной территории линзами мощностью 0,3÷3,6 м.	2,4
	ИГЭ 4 Песок (aQ₄) аллювиальный четвертичного возраста, серовато-зеленого цвета, пылеватый, водонасыщенный, при проходке скважин проявляет плавунные свойства. Залегают в пределах исследованной территории линзами, на участках скважин №126, 127, 132÷135, мощностью 0,8 ÷ 2,6м.	2,0
	ИГЭ 5 Супесь (eMZ) элювиальная мезозойского возраста, коричневого, беловато-серого цвета, песчанистая, твёрдой и пластичной консистенции, средней плотности, участками рыхлая в проходке, с неравномерным содержанием дресвы и щебня от 1,0 до 72,9% . Среднее значение 27,7%. Залегают на большей части исследованной территории мощностью 0,2 ÷ 14,5 м.	3,2
	ИГЭ 6 Песок (eMZ) элювиальный мезозойского возраста, серовато - зеленого, коричневого цвета, дресвяный, малой	3,2

	степени водонасыщения, ниже УУГВ водонасыщенный, плотный в проходке. Прослежен на участках скважин № 132, 133, 141÷144, 201÷206 мощностью 0,5÷3,8 м.	
	ИГЭ 7 Дресвяный грунт (eMZ) элювиальный мезозойского возраста, из малопрочных обломков сиенитов серовато-зелёного и коричневого цвета, очень плотный в проходке, малой степени водонасыщения, ниже УУГВ водонасыщенный, с песчаным и супесчаным заполнителем до 40%. ИГЭ 7 прослежен на участках скважин № 134÷139, 232, 233, 272, 264 пройден мощностью 1,0 ÷2,4м.	3,2
II	ИГЭ 8 Щебенистый грунт (eMZ) элювиальный мезозойского возраста, из прочных, среднепрочных и малой прочности обломков сиенитов и сланцев, плотный и очень плотный в проходке, малой степени водонасыщения, ниже установившегося уровня грунтовых вод водонасыщенный, с песчаным и супесчаным заполнителем до 30%. Подсечён на участках скважин № 1, 3, 8, 14, 15, 17, 19, 20, 23, 24, 40÷55, 63, 64, 128, 129, 131, 134÷139, 141÷144, 150, 153÷157, 199÷206, 233, 242÷246, 249, 255÷273, 276, 279. Пройден мощностью 0,3 ÷ 12,2м.	5,0
	ИГЭ 9 Сланцы (PZ) палеозойского возраста серого, серовато-зеленого цвета, пластинчатые, средней прочности и малопрочные, сильнотрещиноватые, малой степени водонасыщения, ниже УУГВ водонасыщенные. Подсечены скважинами на большей части исследованной территории, пройдены мощностью 1,0÷ 3,4м.	10,0
	ИГЭ 10 Сиениты (PZ) палеозойского возраста серого, серовато-зеленого, коричневого цвета, прочные, средней прочности, сильнотрещиноватые, малой степени водонасыщения, ниже УУГВ насыщенные водой. Залегают в скважинах на значительной части исследованной территории, пройдены мощностью 0,8÷9,5 м.	10,0

взаимосвязаны и образуют единый водоносный комплекс с единым уровнем.

Для расчетов вся толща пород, вскрытая при инженерно-геологических изысканиях, схематизирована 2 слоями. По геологическому строению толща пород является 2-х слойной (прил.1). Однако в восточной части 1-ый слабопроницаемый слой (делювиальные и элювиальные суглинки располагаются выше уровня воды, а в западной части слабопроницаемый слой водонасыщен.

Условный водоупор принят на глубине 50 м от дневной поверхности. Предполагается, что область воздействия сооружения на данной глубине затухает, как и интенсивная трещиноватость.

Подземные воды при схематизации гидрогеологических условий для 1-го слоя приняты безнапорными, второй напорно-безнапорный.

Величина инфильтрационного питания характеризует количество воды, поступающее в подземную гидросферу за счет атмосферных осадков, а на застроенной территории и утечек из водонесущих коммуникаций. Средние величины инфильтрационного питания, полученные в результате решения «обратной задачи» приведены в приложении 2.

Испаряемость (потенциально возможное испарение с поверхности) по карте испаряемости Челябинской области для района работ составляет 600 - 700 мм в год. Испарение начинается в почвенном слое и линейно затухает до глубины 5 м. По мере снижения УГВ испарение сходит на «нет». Величину испарения отдельной статьей не рассматриваем, идет как снижение инфильтрационного питания подземных вод.

Уровень подземных вод, по которому мы проверяем адекватность созданной модели, является функцией коэффициента фильтрации грунтов и инфильтрационного питания. Чтобы поддерживать замеренный уровень на территории должен соблюдаться баланс между притоком и оттоком воды.

Схематизация гидрологических условий:

- длина 3,53 км;
- ширина север – 5м, юг – 2 м;
- глубина север -2 м, юг 1 м;
- отметка уреза воды от 248 м БС до 278 м БС (юг).

2.3. Проверка адекватности модели реальным условиям

Проверка фильтрационной модели выполнена на основе решения обратной стационарной задачи. Оценка достоверности полученных результатов определена по основным критериям соответствия реальных и модельных значений уровня по 104 скважинам (прил. 2).

Достигнутые в результате решения обратной задачи погрешности между средними фактическими и модельными уровнями подземных вод свидетельствует о достоверности модели. Среднеквадратичное отклонение составило 0, м, суммарная погрешность на скважины 0,27 м, на 1 скважину 0,04 м.

Сходимость не полная, но достаточная для решения задач водопонижения на проектной стадии. Модель отражает основные положения реальной обстановки при уровнях подземных вод на период изысканий в районе работ и может использоваться для оценочных расчетов.

3. Прогнозные расчеты баланса хвостохранилища и положения УГВ

Проектируется строительство нового хвостохранилища обогатительной фабрики №5-К АО «Вишневогорский ГОК» состоящего из 3-х секций для складирования шлама и 1 секции отстойника. Для дамб обвалования и междамбовый перемычек предполагается использовать вскрышные породы карьера с коэффициентом фильтрации (Кф) 10 м сут. В качестве противофильтрационных экранов глины с Кф 0,00007 м/сут.

В процессе проектирования на 1-ом этапе были выполнены расчеты, которые показали значительные потери из секций хвостохранилища. На 2-ом этапе расчеты выполнялись по скорректированным проработкам проекта.

3.1. Расчеты баланса и положения УГВ при эксплуатации хвостохранилища по начальному варианту

По данному варианту предполагалось устройство 3-х секций хвостохранилища и секции отстойника. Секция 1 полностью влагоизолировалась. Здесь потери воды в грунт через основание и борта исключались за счет устройства влагоизолирующей мембраны проложенной по внутренним откосам дамб и основания. Из фильтрационных расчетов секция 1 исключалась, дренаж нижнего откоса дамбы для данной секции не предусматривался. Внутренний откос дамб, за исключением перемычек между дамбами, покрывался защитным противофильтрационным экраном из глины с Кф 0,00007 м/сут.

Геометрические параметры секций шламоохранилищ приведены в табл.3.1

Таблица 3.1

Показатели	Характеристики по секциям		
	2	3	Отстойник
Средняя отм. дна, м БС	263	257	255
Отметка шлама, м БС	276,5	270,9	271,4
Слой воды, м	1	1	15,9
Слой шлама, м	13,5	13,9	0,5*
Коэф фильтрации шлама, м/сут	0,1	0,1	0,01

Примечания: *отстой ила в отстойнике

Нагорная канава принималась с восточной стороны по всей длине хвостохранилища – 3,57 км. Ширина канавы 3 м, уровень воды 0.7 м от существующего рельефа, глубина канав 1 м.

Длина дренажа откоса дамбы секций 2, 3 и отстойника составляла 4,18 км.

Коэффициенты фильтрации дамб определялись расчетным путем (которые в последствии были уточнены):

- Кф горизонтальный 0,72 м/сут (снижение за счет экрана с Кф 0,00007 м/сут);
- Кф вертикальный 7,2 м/сут.

Кф вертикальный рассчитывался с блоком 1-го слоя, у которого Кф верт. 2 м/сут, а у насыпного грунта дамбы 10 м/сут

Расчет баланса выполнялся последовательно по секциям. Моделировалось заполнение в следующей последовательности: отстойник – секция 3 – секция 2

В таблице 2 приведены результаты расчетов баланса по мере наполнения секций. 1-ым заполнили отстойник, другие секции пусты, затем при полном отстойнике заполнили 3 секцию, затем (при полной секции 3 и отстойнике) секцию 2.

Таблица 3.2. Результаты расчетов баланса по мере наполнения секций

Баланс	Отстойник	Секция 3	Секция 2
	отм.271.4	отм.271.9	отм. 277.5
Приток со стороны	2770	2656	2172
Приток в дрена	-10860	-17470	-27539
Инфильтрация	580	585	593
Приток в реку	-6054	-8277	-12018
Потери из секций	13567	22509	37693
Невязка баланса	3	3	1

Ниже в таблице 3.3 представлен баланс при работе всех секций, дренажа и нагорной канавы. Балансы реки и нагорной канавы объединены

Таблица 3.3 Баланс модели при работе всех секций

Показатели баланса	Значения куб. м/сут
Приток со стороны	-2761
Дрена	-21906
Инфильтрация на поверхность	601
Река плюс нагорная канава	-13628
2 и 3 секции и отстойник	37693
Невязка баланса	-1

Примечания: знак «-» - вода уходит с поля расчета.

На рис.3.1 приведено положение УГВ 2-го слоя на рис. 3.2 -1-го при работе всех секций на проектных отметках.

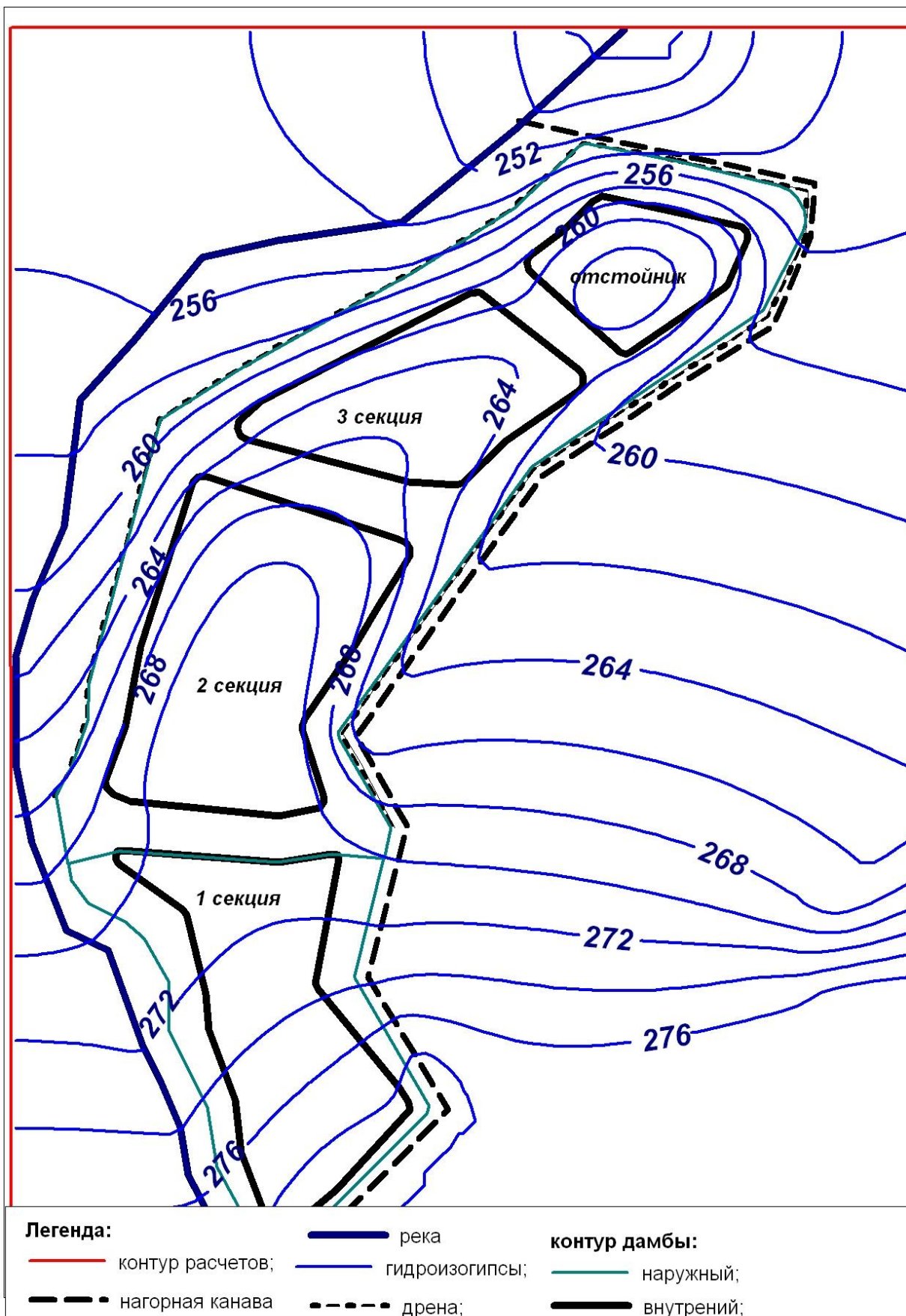


Рис.3.2. Положение УГВ 1-го слоя при работе секций и отстойника

При расчетах в 2-х слойной толще нижний слой принимается напорно-безнапорным. Гидроизогипсы 2-го слоя показывают напор, который может быть выше, чем УГВ 1-го слоя. В нажем случае гидроизогпсы 2-го слоя более «гладкие», что обусловлено значительной мощностью и выдержанностью 2-го слоя.

3.2. Расчеты баланса и положения УГВ при Кф шлама 0,05 м/сут

Конструкция элементов хвостохранилища идентичная описанному выше, но Кф шламов принята 0,05 м/сут. (изначально было 0,1 м/сут). Причиной пересмотра Кф послужил представленный грансостав шламов работающей фабрики (табл. 3.4)

Таблица 3.4. Ситовой анализ шлама хвостохранилища

Гранулометрический состав твердого шлама	% содержание частиц
+0,25мм	0,8
+0,35мм	6,7
+0,071мм	16,5
+0.055 мм	19,0
-0.055 мм	57,0

По таблице 3.4. выходит, что 57% частиц шлама менее 0,055 м. В процессе укладки в хвостохранилище жидкая фаза инфильтруясь с мелкими частицами закальматирует более крупные поры намытых хвостов, что приведет к значительному снижению общего Кф шламов.

Пересмотрены фильтрационные параметры дамб и основания (1-ый слой средней мощностью 5 м).

Коэффициенты фильтрации (Кф) дамб определены расчетным путем при движении воды перпендикулярно слоям (экран из глины и пригрузочная дамба из пород вскрыши)

по формуле

$$Кф = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{k_1} + \frac{m_2}{k_2}};$$

.где m1 – средняя мощность глинистого экрана 6 м, с Кф (k1) = 0,00007 м/сут

где m_2 – средняя ширина пригрузочной дамбы 45 м, с $Kф (k_2)=10$ м/сут.

$$Kф = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{k_1} + \frac{m_2}{k_2}} = \frac{6 + 45}{\frac{6}{0,00007} + \frac{45}{10}} = 0,0006 \frac{м}{сут}.$$

Фильтрационные параметры дамбы определяются, в основном, фильтрационными параметрами глинистого экрана

$Kф$ вертикальный рассчитываем с блоком 1-го слоя, у которого $Kф$ верт. 2 м/сут, а у насыпной дамбы 0,0006 м/сут. Расчет выполняем для схемы фильтрации параллельно слоям по формуле

$$Kф + в = \frac{m_1 * k_1 + m_2 * k_2}{m_1 + m_2}$$

где m_1 – средняя высота дамбы 15 м, с $Kф (k_1)=0,0006$ м/сут

где m_2 – средняя мощность 1-го слоя 5 м, с $Kф (k_2)=2$ м/сут.

$$Kф + в = \frac{15 * 0,0006 + 5 * 2}{15 + 5} = 0,5 \text{ м/сут.}$$

Аналогично рассчитываем с учетом коэффициента горизонтальной фильтрации 1-го слоя ($Kф=3$ м/сут) и получаем $Kф+г=0,75$ м/сут.

В табл. 3.5 представлен баланс при работе всех секций, дренажа и нагонной канавы. Балансы реки и нагорной канавы объединены. Здесь же приведены результаты предыдущих расчетов

Таблица 3.5 Баланс при работе всех секций при различных значениях $Kф$ шлама

Баланс модели	Показатели баланса, куб м в сут	
	$Kф$ шлама 0,1 мсут	$Kф$ шлама 0,05 мсут
Приток со стороны	-2761	-2321
Дрена	-21906	-14869
Инфильтрация на поверхность	601	595
Река плюс нагорная канава	-13628	-12834
2 и 3 секции и отстойник	37693	29457
Невязка баланса	-1	28

Пополнение водой области модели идет за счет утечек из секций 29457 куб м в сут. и инфильтрационного питания.

Снижение потерь достигнуто за счет уменьшения $Kф$ шлама с 0.1 м/сут до 0.05 м/сут и снижения $Kф$ дамбы в совокупности с $Kф$ основания.

Существенного различия в распределении потока подземных вод изменение $Kф$ шлама не привело.

Влияние шламохранилища на подземные воды ограничивается с востока и северо-востока нагорной канавой с юга и запада рекой.

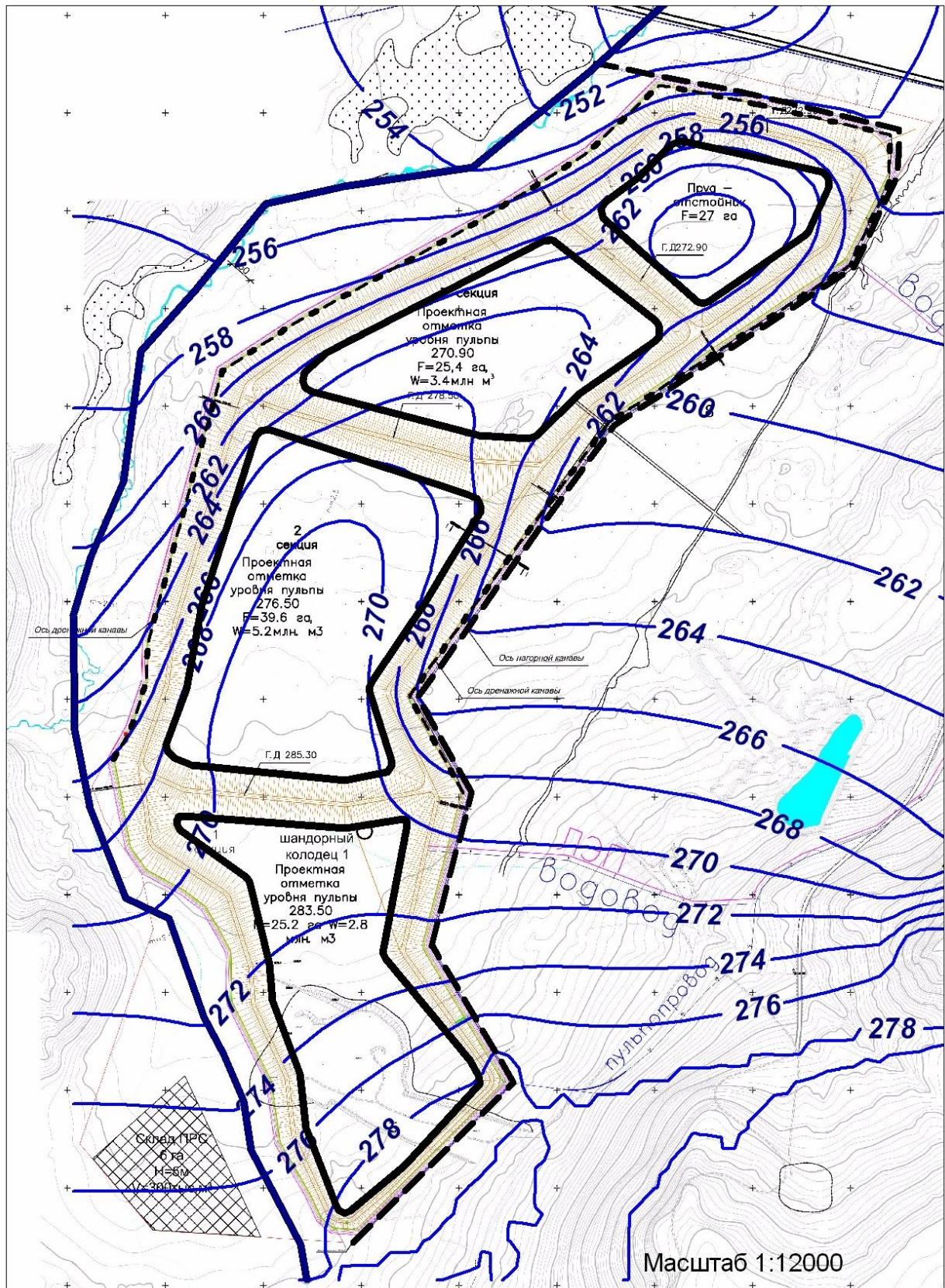


Рис. 3.3. Положение УГВ 2-го напорного слоя при K_f шлама 0,05 м/сут

3.3. Расчет баланса и положения УГВ при экранировании основания секций

Предполагается внутренний контур секции 3 и отстойника заизолировать водонепроницаемой мембраной, а в секциях 1 и 2 в основании положить слой глины с Кф 0.00007 м/сут

Геометрические параметры секций шламохранилищ приведены в табл.3.6

Секция 3 и пруд отстойник в фильтрационных расчетах не учитываются из-за их полной гидроизоляции

Таблица 3.6. Параметры секций 1 и 2

Характеристики	Показатели	
	1-ая секция	2-ая секция
Средняя отм. дна, м БС	272	263
Отметка шлама, м БС	283,5	276,5
Слой воды над шламом, м	1	1
Слой глинистого экрана на дне	1	1
Слой шлама, м	11,5	12,5
Кф шлама, м/сут	0,05	0,05

Коэффициенты фильтрации (Кф) дамб определены расчетным путем при движении воды перпендикулярно слоям (экран из глины и пригрузочная дамба из пород вскрыши)

По формуле

$$K_f = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{k_1} + \frac{m_2}{k_2}}; \quad (1)$$

где m1 – средняя мощность глинистого экрана 6 м, с Кф (k1) = 0,00007 м/сут

где m2 – средняя ширина пригрузочной дамбы 45 м, с Кф (k2) = 10 м/сут.

$$K_f = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{k_1} + \frac{m_2}{k_2}} = \frac{6 + 45}{\frac{6}{0,00007} + \frac{45}{10}} = 0,0006 \frac{\text{м}}{\text{сут}}$$

Фильтрационные параметры дамбы определяются, в основном, фильтрационными параметрами глинистого экрана

Кф вертикальный рассчитываем с блоком 1-го слоя, у которого Кф верт. 2 м/сут, а у глинистого экрана дамбы 0,00007 м/сут. Расчет выполняем для схемы фильтрации перпендикулярно слоям по формуле (1)

$$K_f = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{k_1} + \frac{m_2}{k_2}} = \frac{1 + 5}{\frac{1}{0,00007} + \frac{5}{2}} = 0,00042 \frac{\text{м}}{\text{сут}}$$

где m_1 – средняя мощность глинистого экрана 1м, с Кф (k_1)=0,00007 м/сут

где m_2 – средняя мощность подстилающих грунтов 1-го слоя 5м с Кф в вертикальном направлении (k_2)=2 м/сут.

Кф в горизонтальном направлении определяем с учетом дамбы (k_1 =0,0006 м/сут;

m_1 =13 м), подстилающего глинистого экрана (k_2 =0.00007 м/сут, m_1 =1 м) и подстилающего секции 1-го слоя (k_3 =3 м/сут, m_3 =5 м) по формуле 2 (при фильтрации параллельно слоям

$$Kф = \frac{m_1*k_1+m_2*k_2+m_3*k_3}{m_1+m_2+m_3} \quad (2)$$

где m_1 – средняя высота напора перед дамбой 13 м, с Кф (k_1)=0,0006 м/сут;

m_2 – средняя мощность подстилающего глинистого экрана 1м, с Кф (k_2)=0.00007 м/сут

m_3 – средняя мощность 1-го слоя 5 м, с Кф (k_3)=3 м/сут.

Получаем осредненный Кф в блоке дамба, подстилающий слой

$$Kф = \frac{13,*0,0006,+1,*0,00007,+5,*3}{13,+1,+5} = 0,79 \text{ м/сут.}$$

Для дальнейших расчетов используем значения для блока дамба основание (1-ый слой):

Кф вертикальный 0,00042 м/сут;

Кф горизонтальный 0,79 м/сут.

В таблице 3.7 представлен баланс при работе всех секций, дренажа и нагонной канавы. Балансы реки и нагонной канавы объединены. Здесь же приведены результаты предыдущего расчета

Баланс модели, куб. м/сут	Без изоляции основания	В основании экран
Отток на сторону	-2321	-2141
Дрена	-14869	-2211
Инфильтрация на поверхность	595	577
Река плюс нагонная канава	-12834	-410
Потери из 1 и 2 секции	29457	4191
Невязка баланса	28	6

Положение УГВ 1-го слоя при работе хвостохранилща приведено на рис. 3.4, 2-го слоя на рис.3.5

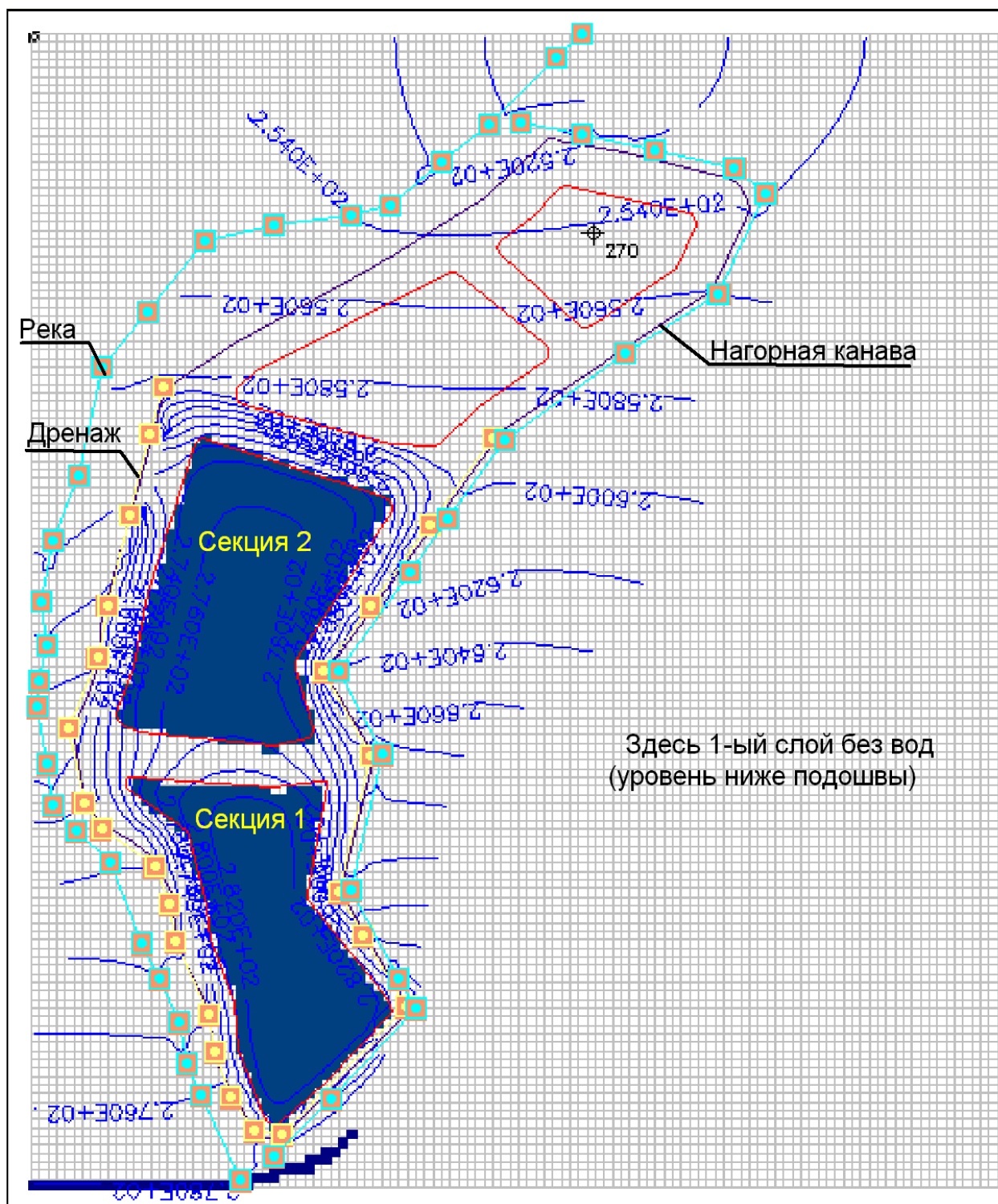


Рис. 3.4. Положение УГВ 1-го слоя при работе хвостохранилища

Устройство хвостохранилища при изоляции бортов и основания практически не оказывает влияния на основной водоносный горизонт (2-ой слой) (рис.3.5).

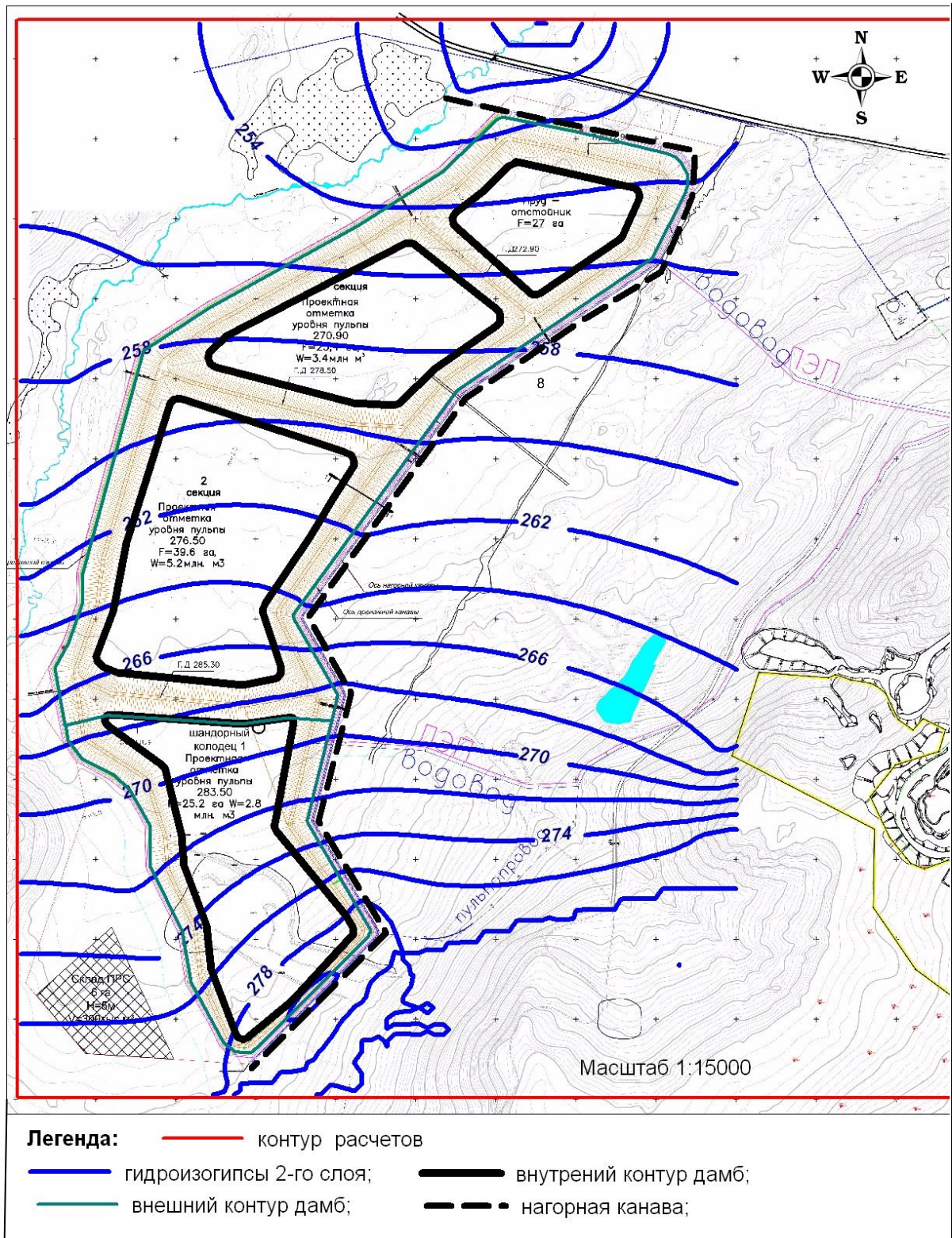


Рис. 3.5. Положение УГВ 2-го слоя при работе хвостохранилища

Список использованных материалов

1. Технический отчёт по результатам инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной документации. «Хвостовое хозяйство обогатительной фабрики №5-к АО «Вишневогорский ГОК» (Хвостовое хозяйство ОФ) в Каслинском районе Челябинской области, на участке в кв. № 53, 54, 55, 56, 57, 70, 71, 72, 84, 85, Вишневогорского лесничества» ООО «ЧЕЛЯБГИПРОМЕЗ-Проект» ч-90911-ИГИ1, г. Челябинск, 2021
2. Рекомендации по проектированию и строительству шламонакопителей и хвостохранилищ металлургической промышленности. – М., Стройиздат, 1986. -128с.
3. McDonald, M. C. and A. W. Harbaugh, 1988. MODFLOW, A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model, U. S. Geological Survey, Open-file report 83-875
4. Chiang W-H and W. Kinzelbach, 1998, Processing Modflow: A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution, Hamburg–Zürich

Приложение 1

Таблица П.1. Скважины, использованные для построения модели

№№ п.п	Исходн. № скв.	Координаты			Скваж. глуб.м	УГВ м БС	Подошвы слоев. М БС		Архив. № отчета
		X	Y	Z, м БС			Абс.bot1	Абс. bot2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	23251	-10315	129649	222.4	10	213.92	215.4	202.4	4136
2	2423	-10127	129649	224.5	10	214.7	214.4	204.5	4136
3	2370	-9944	129669	226	12	217	217	206	4136
4	2770	-9825	129677	229.5	15	212.8	212.5	209.5	4137
5	770	-9864	129749	225	2.3	212.5	213	205	4136
6	4231	-10183	129750	218.9	7.8	213.5	213.3	198.9	4136
7	370	-9969	129756	220.9	11.2	215.85	212.25	200.85	4136
8	422	-10086	129757	218.6	8	212.9	211.75	198.55	4136
9	4251	-10289	129761	218	8	212.9	214	198	4136
10	771	-9864	129790	222.2	11	212.48	211.88	202.18	4136
11	160	-10180	129828	215.8	5	213.58	211.48	195.78	4136
12	772	-9864	129829	220.6	12	212.46	212.06	200.56	4136
13	153	-10086	129836	215.3	5.2	211.48	211.38	195.28	4136
14	146	-9970	129840	216.7	5	212.72	210.72	196.72	4136
15	4241	-10293	129842	215.7	6.6	211.89	211.69	195.69	4136
16	184	-10505	129863	214.8	6.3	212.1	212.8	194.8	4136
17	210	-10764	129865	213.8	6	211.8	213.5	193.8	4136
18	202	-10681	129868	213.8	5	212.06	210.46	193.76	4136
19	231	-11023	129888	212	5	210.6	208.7	192	4136
20	176	-10403	129890	214.1	10.3	211.34	211.34	194.14	4136
21	147	-9969	129904	212.5	5	212.44	209.54	192.54	4136
22	161	-10191	129906	214	5	213.1	210.1	194	4136
23	211	-10771	129926	212.3	4.6	210.55	211.95	192.25	4136
24	141	-9860	129926	215.9	6.5	212.18	211.88	195.88	4136
25	185	-10506	129929	211.9	3.2	211.2	209.1	191.9	4136
26	168	-10298	129930	213.4	5	211.43	211.73	193.43	4136
27	203	-10689	129980	212	6.5	210.55	208.45	191.95	4136
28	142	-9862	130002	212.6	5	211.68	211.58	192.58	4136
29	212	-10780	130005	212.6	4	210.6	209	192.6	4136
30	154	-10084	130005	212.4	5	211.23	209.63	192.43	4136
31	148	-9970	130005	211.3	4.4	211.3	207.9	191.3	4136
32	162	-10191	130006	211.1	5	210.83	208.93	191.13	4136
33	186	-10507	130010	212.4	5.1	211.18	208.58	192.38	4136

34	177	-10403	130015	211	5.1	210.4	207.4	191	4136
35	169	-10297	130031	211.8	5	210.58	209.68	191.78	4136
36	204	-10693	130055	211.9	5	210.68	210.28	191.88	4136
37	178	-10404	130092	212.3	5	210.63	210.83	192.33	4136
38	232	-11078	130095	212.8	5	210.62	210.02	192.82	4136
39	143	-9860	130103	211.1	5	210.33	208.93	191.13	4136
40	213	-10793	130104	212.6	5	210.97	210.27	192.57	4136
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
41	149	-9969	130106	211.3	5	211.27	208.57	191.27	4136
42	163	-10191	130107	212.4	5	210.96	210.46	192.36	4136
43	187	-10508	130110	212.5	5	210.56	209.86	192.46	4136
44	170	-10297	130114	212.4	5	210.47	211.27	192.37	4136
45	205	-10700	130154	212.3	5	211	209.28	192.28	4136
46	144	-9858	130184	211.4	5	210.43	208.43	191.43	4136
47	179	-10402	130194	211.8	4.5	210.54	210.24	191.84	4136
48	214	-10805	130203	213	5	211.25	210.25	192.95	4136
49	156	-10082	130204	211.8	5	210.92	210.82	191.82	4136
50	233	-11108	130208	213	5	211.75	210.35	192.95	4136
51	171	-10299	130208	212.1	4.5	210.58	209.88	192.08	4136
52	150	-9969	130208	211.4	4.1	211.23	208.33	191.43	4136
53	188	-10509	130210	211	5	210.6	210.2	191	4136
54	206	-10708	130254	213.1	5	211.64	210.74	193.14	4136
55	145	-9857	130259	211.1	5	210.13	209.03	191.13	4136
56	180	-10403	130294	210.7	5	210.44	208.44	190.74	4136
57	215	-10818	130304	213.3	5	212.1	210.8	193.3	4136
58	157	-10080	130305	211.9	5	210.86	210.56	191.86	4136
59	151	-9968	130305	211.2	3.7	211.08	209.78	191.18	4136
60	172	-10298	130306	211.2	3.9	210.44	209.94	191.24	4136
61	189	-10510	130310	213.4	4.7	211.9	211.1	193.4	4136
62	164	-10191	130328	212.4	5	210.74	210.14	192.44	4136
63	207	-10716	130352	213.4	5	211.73	211.13	193.43	4136
64	152	-9965	130372	211.1	3.7	211	209.5	191.1	4136
65	181	-10401	130395	213	5	211.59	211.29	192.99	4136
66	216	-10831	130400	214.5	5	213.16	212.16	194.46	4136
67	173	-10296	130409	212.5	3.7	211.05	210.65	192.45	4136
68	190	-10511	130412	213.1	4.5	212	211.1	193.1	4136
69	165	-10191	130428	211.1	3.8	210.63	210.53	191.13	4136
70	158	-10077	130436	211.8	4.2	210.66	210.56	191.76	4136
71	208	-10723	130452	213.9	4.3	212.1	212.7	193.9	4136
72	166	-10178	130490	212.5	3.8	211.7	210.2	192.45	5817
73	182	-10402	130494	213.5	5	211.68	211.68	193.48	4136

74	217	-10845	130503	214.7	5	213.65	213.15	194.65	4136
75	323	-10001	130505	215.4	4	211.38	210.58	195.38	5817
76	321	-10215	130507	212.5	1.5	211.87	210.38	192.47	5817
77	1221	-9963	130507	211.9	5	210.65	210.55	191.85	4136
78	503	-9920	130507	210.4	2.4	209.89	209.59	190.39	5817
79	174	-10295	130508	213.4	5	211.96	211.96	193.36	4136
80	191	-10512	130510	213.7	5	212.45	211.35	193.65	4136
81	159	-10076	130518	212.1	3.2	211.18	209.59	192.08	5817
82	322	-10051	130522	211.4	5	211.3	212.36	191.4	5817
83	166	-10191	130530	212.5	3.8	211.95	211.55	192.45	4136
84	318	-11025	130537	215.5	4	213.82	215.49	195.53	5817
85	209	-10732	130552	214.4	4.3	212.46	212.66	194.36	4136
86	159	-10074	130558	212.1	3.6	211.18	210.58	192.08	4136
87	3	-9991	130579	212.7	5.5	209.1	207.9	192.7	6360
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
88	320	-10270	130584	213.6	4	211.88	211.09	193.58	5817
89	183	-10403	130595	213.9	5	211.86	212.56	193.86	4136
90	167	-10189	130595	213.4	5	212.94	212.34	193.44	4136
91	175	-10296	130610	213.9	5	211.98	211.88	193.88	4136
92	611	-9971	130613	211.2	3	210.95	210.85	191.15	4424
93	201	-10715	130615	215	2.7	211.95	211.65	194.95	5817
94	605	-9851	130623	210.5	2.8	209.96	209.86	190.46	4424
95	319	-10903	130628	216.6	4	213.89	210.53	196.59	5817
96	192	-10547	130637	214.8	3	212.98	209.45	194.78	5817
97	499	-10460	130638	214.5	4.2	213.74	212.18	194.54	5817
98	192	-10512	130640	214.8	3.1	212.98	212.18	194.78	4136
99	608	-9902	130640	211	2	210.41	210.71	191.01	4424
100	603	-9857	130667	213.5	4.5	211.24	212.84	193.54	4424
101	615	-9925	130671	213.8	7	211.37	209.57	193.77	4424
102	76	-10425	130690	214.3	4.5	212.76	211.77	194.26	5817
103	627	-10226	130723	214.9	6	212.84	211.24	194.94	4424
104	599	-9949	130726	214.2	6	212.46	211.06	194.16	4424
105	602	-9858	130736	213.5	5.3	211.42	211.12	193.52	4424
106	695	-10058	130757	214.7	6.3	213.04	212.74	194.74	4424
107	697	-10198	130763	215.5	7.2	213.37	212.57	195.47	4424
108	690	-10130	130772	215.5	6.7	213.61	213.01	195.51	4424
109	669	-9857	130798	213.7	6	212.58	212.38	193.68	4424
110	709	-10316	130818	215	6	214.54	212.04	195.04	4424
111	707	-10278	130823	215.4	12	214.14	211.84	195.44	4424
112	686	-10059	130826	214.5	6.5	213.49	211.49	194.49	4424
113	681	-10121	130837	215.6	8.1	213.81	212.61	195.61	4424

114	557	-10340	130856	215.2	2	215.14	213.09	195.19	4419
115	559	-10265	130856	216.1	12.8	215.15	211.1	196.1	4424
116	194	-10061	130862	214.6	6	213.49	212.49	194.59	4424
117	665	-9857	130872	213.7	6	212.93	210.58	193.68	4424
118	93	-10291	130880	216.6	8	214.89	212.84	196.64	4424
119	661	-9905	130892	214.3	5.5	213.46	211.66	194.26	4424
120	158	-10002	130893	214.4	6	213.69	213.09	194.39	4424
121	556	-10328	130900	216.4	8	215.26	213.46	196.36	4422
122	579	-10160	130903	216.2	8	215.24	213.84	196.24	4424
123	577	-10215	130906	216.7	8	215.24	213.19	196.69	4424
124	571	-10107	130936	215.2	6.5	214.78	212.73	195.23	4424
125	656	-9955	130937	214.4	6.2	213.82	212.22	194.42	4424
126	588	-9877	130938	214.3	6.5	213.71	212.46	194.26	4424
127	561	-10340	130940	217.2	11.4	215.91	213.91	197.21	4420
128	575	-10170	130940	216.2	7.5	215.27	213.22	196.22	4424
129	84	-10328	130956	217.6	12.5	216.34	213.64	197.64	4423
130	246	-9847	130985	214.7	8	213.8	212.65	194.65	4424
131	82	-10270	130987	217.7	11.5	216.41	211.71	197.71	4424
132	583	-9952	130998	215	8	214.56	212.46	194.96	4424
133	79	-10340	131000	216.9	12	215.81	210.86	196.86	4421
134	569	-10050	131012	215.5	6.5	214.87	213.27	195.47	4424
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
135	584	-9869	131012	215.3	7	214.6	212.1	195.3	4424
136	130	-10153	131015	216.3	9	215.44	213.49	196.29	4424
137	562	-10222	131017	216.6	7.8	215.84	212.99	196.59	4424
138	66	-10677	130534	216.1	12	211.57	210.97	196.07	2020
139	67	-10653	130534	216.1	11	211.63	208.43	196.13	2020
140	68	-10653	130504	216.3	11	211.41	208.81	196.31	2020
141	69	-10677	130504	216.3	11	211.54	211.24	196.34	2020
142	70	-10628	130534	216.3	10	211.19	209.29	196.29	2020
143	71	-10604	130526	216.2	11	210.97	209.67	196.17	2020
144	72	-10604	130504	216.5	10	210.67	210.67	196.47	2020
145	73	-10627	130504	216.2	11	210.4	209.4	196.2	2020
146	74	-10571	130534	214	9	211.6	210	194	2020
147	75	-10554	130534	213.8	7	211.66	210.76	193.76	2020
148	76	-10554	130504	213.2	8	211.18	210.68	193.18	2020
149	77	-10578	130504	215.6	10	210.44	211.64	195.64	2020

Примечания: Плановая схема размещения скважин по номерам приведена на КФМ (рис. П.1.1)

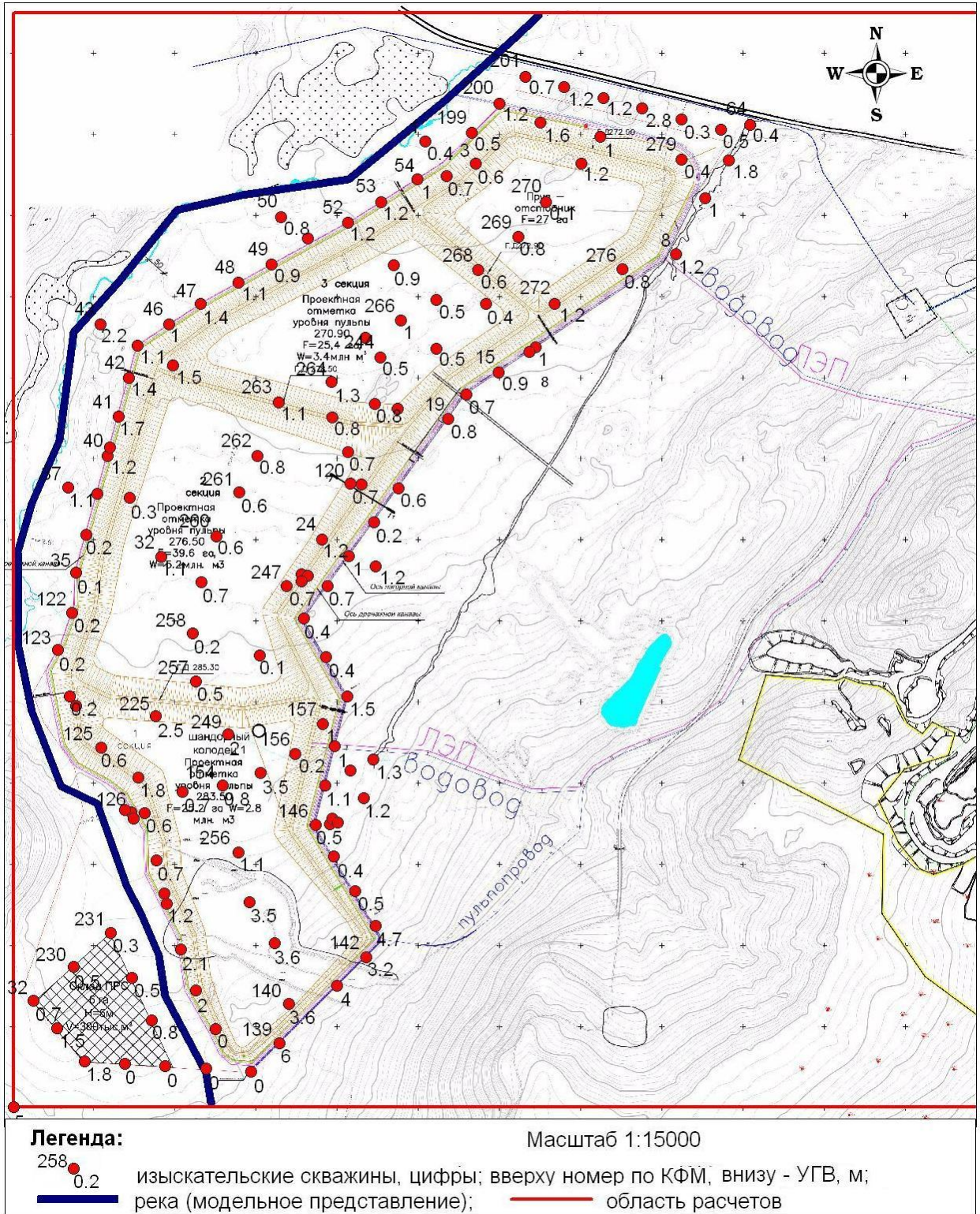


Рис. П.1. Карта фактического материала. Приводится по материалам изысканий

2. Верификация разработанной модели. *Результаты решения обратной задачи*

2.1. Верификация разработанной модели

Для проверки адекватности созданной модели, выполняется решение обратной задачи, которая заключается в том, что по имеющимся значениям уровней грунтовых вод (УГВ) подбираются остальные параметры модели. В нашем случае идет подбор коэффициентов фильтрации (Кф) и инфильтрационного питания (ω).

При калибровке добивались соответствия фактических уровней подземных вод в водоносном горизонте на участке работ и сопредельных территориях с результатами моделирования.

Для сравнения использовались данные значениям уровней в скважинах, полученные при изысканиях под проект. Сопоставление фактических и модельных уровней, показывающее качество решения обратной задачи в стационарных условиях, дано на графике сходимости (рис. П. 2.1) и в табл. П.2.1

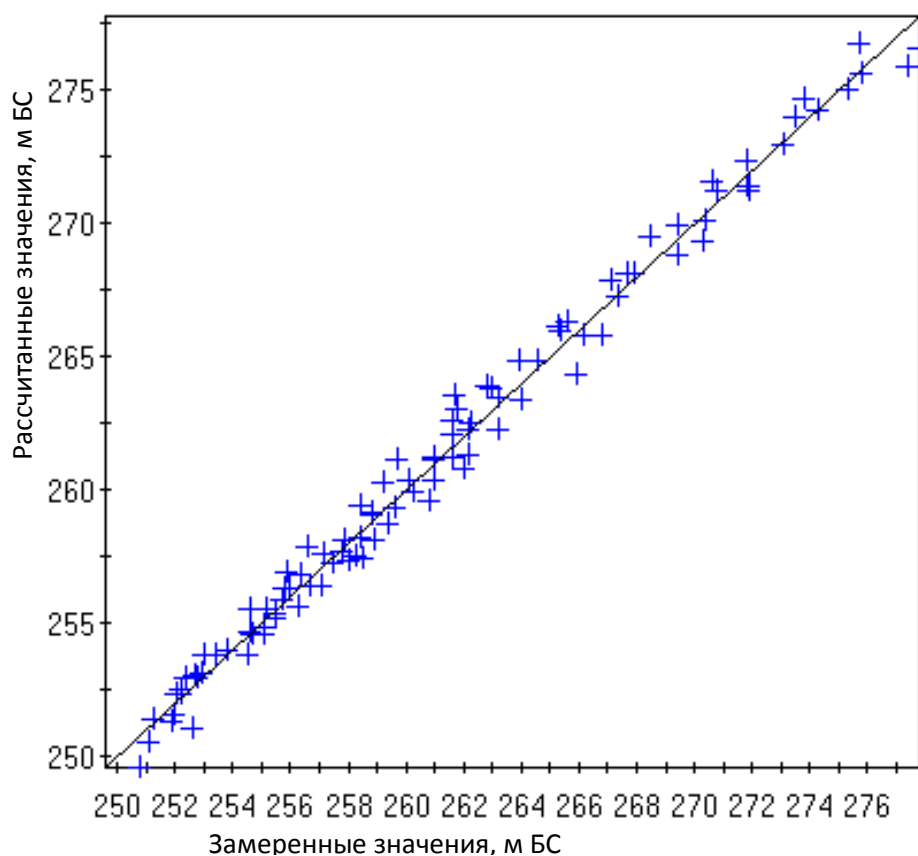


Рис. П.2.1. Диаграмма сопоставления расчетных и фактических уровней подземных вод

Таблица П.2.1. Сопоставление замеренных и расчетных уровней (модельных) уровней

№№ п.п.	№№ скважин	Уровни воды, м БС		Невязка калибровки, м (разница столбцов 3-4)
		замеренные	расчетные	
1	2	3	4	5
1	1	251.02	252.6	-1.58
2	3	252.54	252.2	0.34
3	8	255.41	255.5	-0.09
4	14	257.42	258.5	-1.08
5	141	257.54	258.3	-0.76
6	15	258.1	258.9	-0.8
7	17	258.71	259.4	-0.69
8	19	259.36	259.6	-0.24
9	20	255.53	254.6	0.93
10	21	261.23	261.6	-0.37
11	22	262.14	261.6	0.54
12	23	263.09	261.8	1.29
13	24	262.62	261.6	1.02
14	26	263.91	262.8	1.11
15	27	264.82	263.9	0.92
16	32	262.55	262.25	0.3
17	35	262.27	263.2	-0.93
18	36	261.33	262.2	-0.87
19	37	259.92	260.3	-0.38
20	38	260.4	261	-0.6
21	39	260.8	262	-1.2
22	40	259.63	260.8	-1.17
23	42	258.24	258.4	-0.16
24	43	257.34	258	-0.66
25	44	257.67	257.8	-0.13
26	45	258.11	257.9	0.21
27	46	257.27	257.5	-0.23
28	47	256.81	256.4	0.41
29	48	256.3	256	0.3
30	49	255.86	255.7	0.16
31	50	254.82	255.1	-0.28
32	51	255.16	255.5	-0.34
33	52	254.56	254.7	-0.14
34	53	253.81	253	0.81
35	54	253.03	252.7	0.33
36	55	252.93	252.4	0.53
37	62	254.58	255.1	-0.52
38	64	253.97	253.8	0.17
39	120	261.13	261	0.13
40	1201	261.16	259.7	1.46
41	122	263.43	264	-0.57
42	123	264.36	265.9	-1.54
43	124	265.79	266.8	-1.01
44	1241	266.18	265.3	0.88
45	125	267.84	267.1	0.74

46	126	269.97	269.4	0.57
47	1271	271.22	270.8	0.42
48	128	272.39	271.8	0.59
49	132	275.04	275.3	-0.26
50	134	276.8	275.7	1.1
51	140	276.57	277.8	-1.23
52	1401	274.73	273.8	0.93
53	143	275.86	277.4	-1.54
54	146	271.37	271.8	-0.43
55	1461	271.46	271.9	-0.44
56	1462	271.29	271.9	-0.61
57	1483	271.45	271.9	-0.45
58	147	270.12	270.4	-0.28
59	148	268.86	269.4	-0.54
60	149	267.28	267.4	-0.12
61	150	266	265.4	0.6
62	154	269.55	268.5	1.05
63	155	269.35	270.3	-0.95
64	157	268.1	267.7	0.4
65	1571	268.1	267.9	0.2
66	199	251.57	252	-0.43
67	200	250.57	251.1	-0.53
68	201	249.59	250.8	-1.21
69	203	251.36	251.9	-0.54
70	204	252.35	252.1	0.25
71	205	253.14	252.9	0.24
72	206	253.75	253	0.75
73	230	274.05	273.5	0.55
74	231	273	273.1	-0.1
75	232	274.29	274.3	-0.01
76	238	275.67	275.8	-0.13
77	242	256.41	257.1	-0.69
78	243	257.61	257.2	0.41
79	244	257.91	256.6	1.31
80	245	259.09	258.8	0.29
81	2451	259.17	258.8	0.37
82	246	260.33	259.2	1.13
83	247	263.86	263	0.86
84	2471	263.55	261.7	1.85
85	248	265.8	266.2	-0.4
86	256	271.63	270.6	1.03
87	257	266.29	265.6	0.69
88	258	264.86	264.6	0.26
89	259	263.47	263.2	0.27
90	260	262.29	262.2	0.09
91	261	261.22	261	0.22
92	262	260.36	260.1	0.26
93	266	256.95	255.9	1.05

94	267	256.36	255.8	0.56
95	268	255.54	255.2	0.34
96	269	254.69	254.6	0.09
97	270	253.82	254.5	-0.68
98	2701	259.45	258.4	1.05
99	271	252.97	252.8	0.17
100	272	256.36	256.7	-0.34
101	273	252.37	252.2	0.17
102	274	251.42	251.25	0.17
103	276	255.63	256.3	-0.67
104	279	253.79	253.4	0.39
Минимальное значение, м				-1.58
Максимальное значение, м				1.85
Сумма отклонений, м				0.27
Отклонение на 1 скважину, м				0.04
Среднеквадратичное отклонение, м				0.52

Как видно из графика и таблицы сопоставлений, модельные уровни несколько выше, чем замеренные. Допустимое среднеквадратичное отклонение 10% от минимального – максимального значения уровней. Разработанная модель в данные пределы вписывается.

Величина коэффициента фильтрации (Кф) и инфильтрационного питания (ω) по всей площади расчетов, по результатам решения обратной задачи, приняты без районирования территории.

Обобщенные значения коэффициентов фильтрации по слоям (Кф) приведены в табл. П.2.2.

Таблица П.2.2. Значения Кф, полученные в результате решения обратной задачи

Слой	Направление фильтрации	Кф, м/сут
1	горизонтальное	3
	вертикальное	2
2	горизонтальное	5
	вертикальное	7

Величина инфильтрационного питания 0,00017 м/сут принята на основе анализа количества выпадающих осадков в горно-заводской зоне Челябинской области и ландшафтных условий территории размещения хвостохранилища.

2.2. Результаты решения обратной задачи

По результатам решения обратной задачи была получена карта гидроизогипс (Рис. П.2.2) соответствующая расчетному состоянию уровня подземных вод, при величинах инфильтрации $\omega=0.00017$ м/сут и значениях K_f приведенных в табл. П.2.2.

Параметры решения обратной задачи используем для прогнозных расчетов.

Модельный баланс района работ приведен в табл.П.2.3

Таблица П.2.3.Баланс воды в расчетном контуре

Статьи баланса	Объем, м ³ /сут
Приток на территорию	+3669
Инфильтрация в расчетном контуре	+561
Река	-4227
Ошибка расчета	0,1%

Примечания: знак «плюс» показывает, что вода поступает в область модели, знак «минус» - изымается из области расчетов различными сооружениями и природными объектами.

Питание подземных вод происходит за счет притока с гипсометрически выше расположенных территорий и инфильтрационного питания. Разгрузка осуществляется в реку.

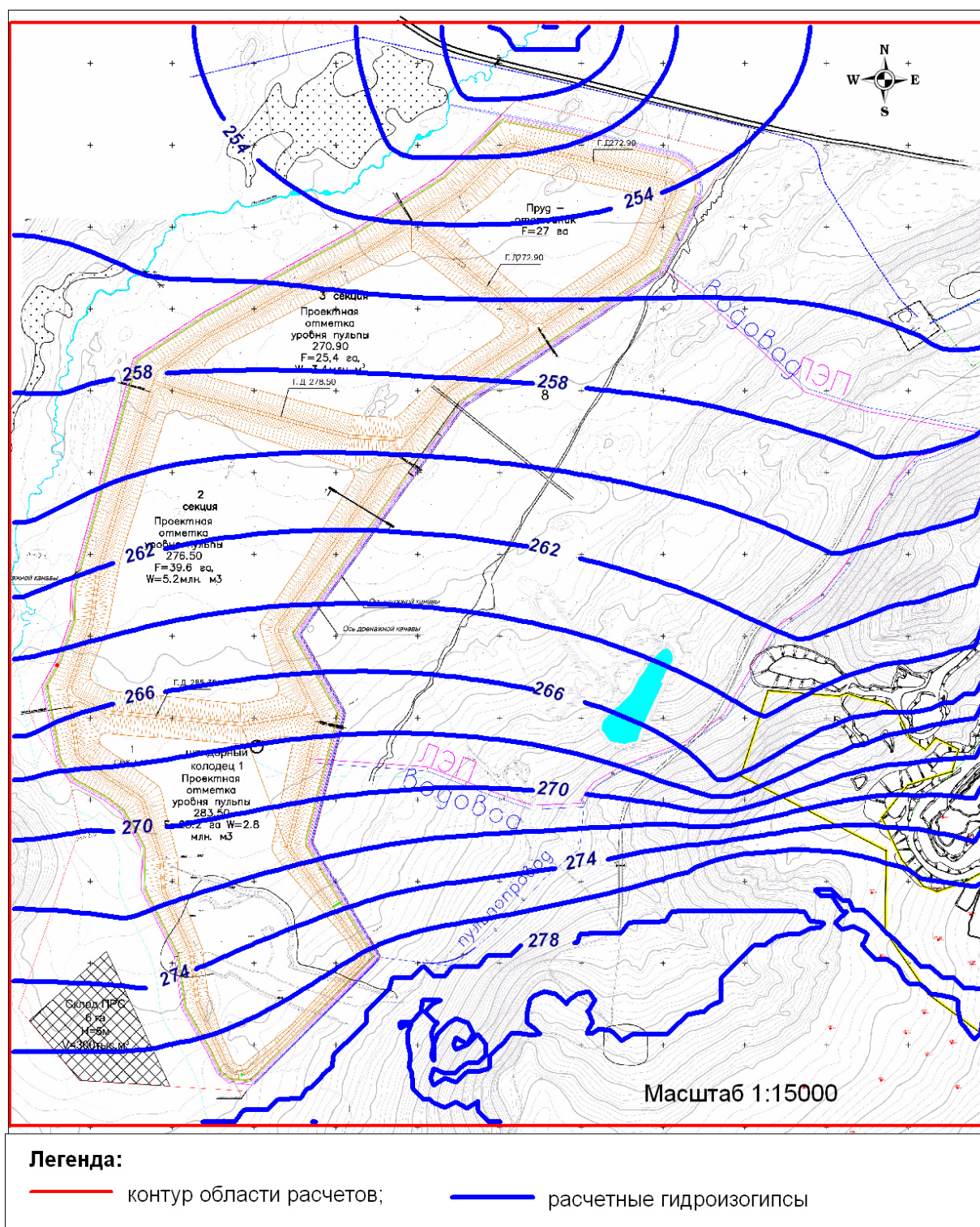


Рис. П.2.2 Карта гидроизогипс 2-го слоя, построенная по данным решения «обратной задачи»

Вывод. Разработанная модель может быть использована для оценочных гидродинамических расчетов.