

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
им. А.П. Карпинского»

На правах рукописи

Семенчук Александр Владимирович

**«УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ
(КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)»**

Специальность 25.00.07 – Гидрогеология

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель –
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент Петров Владимир Викторович

Санкт-Петербург – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	8
1.1. Общая характеристика проблематики	8
1.2. Состояние изученности проблемы	10
1.3. Методика исследования и прогнозирования процессов миграции	15
1.4. Выводы к главе 1	17
2. ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ	19
2.1 Физико-географические условия района исследований.....	19
2.1.1. Особенности экономики и инфраструктуры района	21
2.2. Геологическое строение и гидрогеологические условия	22
2.2.1. Структурно-тектонические условия.....	22
2.2.2. Геологическое строение территории работ	24
2.2.3. Гидрогеологические условия территории работ	33
2.3. Выводы к главе 2	41
3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ	42
3.1. Характеристика существующего водоотбора	42
3.1.1. Централизованный водозабор г. Балтийска.....	42
3.1.2. Ведомственные водозаборы г. Балтийска.....	45
3.2. Характеристика гидродинамического режима.....	46
3.3. Характеристика качества подземных вод.....	48
3.3.1. Вологодско-московский межморенный водоносный горизонт.....	50
3.3.2. Окско-вологодский межморенный водоносный горизонт.....	52
3.3.3. Среднепалеогеновый алкский водоносный горизонт.....	55
3.3.4. Верхнемеловой водоносный горизонта	58
3.4. Характеристика качества поверхностных вод.....	60
3.4.1. Калининградский залив	60
3.4.2. Гданьский залив	62
3.5. Анализ геолого-гидрохимических условий.....	64
3.6. Выводы к главе 3	71
4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	73
4.1. Результаты опытно-фильтрационных работ.....	73
4.2. Разработка математической геофильтрационной модели.....	77
4.2.1. Дискретизация модельной области	78
4.2.2. Схематизация гидрогеологических условий	79
4.3. Модельная интерпретация результатов опытно-фильтрационных работ	86
4.4. Общие принципы калибровки геофильтрационной модели.....	89
4.4.1 Калибровка геофильтрационной модели	89

4.4.2. Результаты калибровки геофильтрационной модели	90
4.4.3. Анализ водного баланса	101
4.5. Выводы к главе 4	101
5. РАЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА БАЛТИЙСКА В УСЛОВИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОРСКИХ И ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД	103
5.1. Анализ опыта эксплуатации водозаборов морских побережий	103
5.2. Схематизация гидрохимических условий	107
5.3. Прогноз изменения качества подземных вод при различных сценариях водоотбора	111
5.3.1 Сценарий 1 - сохранение существующей схемы и объемов водоотбора	112
5.3.2 Сценарий 2 - сохранение существующей схемы и объемов водоотбора с учетом работы участка «Восточная Грива»	116
5.3.3 Сценарий 3 - увеличение водоотбора на 25 % с сохранением существующей схемы	119
5.3.4 Сценарий 4 - уменьшение водоотбора на 25 % с сохранением существующей схемы	123
5.3.5 Сценарий 5 - увеличение водоотбора на 50 % с сохранением существующей схемы	126
5.3.6 Сценарий 6 - уменьшение водоотбора на 50 % с сохранением существующей схемы	130
5.4. Выбор оптимального сценария водоотбора и схемы расположения скважин	134
5.5. Выводы к главе 5	139
Заключение	140
Список литературы	142

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. В настоящее время в ряде прибрежных районов Калининградской области актуальной является проблема водоснабжения населения питьевой водой соответствующего качества. Наиболее остро эта проблема стоит в г. Балтийске, расположенном на Балтийской косе. Водоснабжается город исключительно за счет подземных источников. На протяжении длительного времени здесь фиксируется разрастание зоны некондиционных вод, послужившее причиной дефицита пресной воды питьевого качества, составившего 4 тыс. м³/сут при численности населения города 33,1 тыс. человек в 2014 г.

За 60-летний период исследования загрязнения подземных вод Балтийской косы выдвигались различные предположения, такие как: техногенный генезис [116], естественная зональность [116, 119, 128] и интрузия морских вод [118, 120, 126, 127]. Однако, однозначных результатов, направленных на решение проблемы, получено не было. В частности, до конца не изучены источники формирования подземных вод Балтийской косы. Не производился анализ геофильтрационных и геомиграционных процессов в условиях перетекания, смещения естественной гидрохимической зональности и связи пресных подземных и соленых морских вод. За всю историю проблемы водоснабжения не оценены прогнозные сценарии развития загрязнения и его реабилитации. О серьезности проблемы говорит и тот факт, что за длительный период эксплуатации здесь так и не были утверждены запасы подземных вод, притом, что суточный водоотбор в разные годы превышал 15 тыс. м³/сут, а в планах было его увеличение до 47 тыс. м³/сут [127]. В связи с чем, изучение закономерностей формирования подземных вод Балтийской косы и оценка перспектив использования подземных вод для водоснабжения населения представляются весьма важными и актуальными.

Целью работы является изучение условий и закономерностей формирования подземных вод для обоснования их рационального использования и охраны от загрязнения при эксплуатации прибрежных водозаборов Балтийской косы.

Основные задачи исследований:

- Анализ гидрохимического режима подземных вод Балтийской косы и поверхностных вод Балтийского моря.
- Разработка и верификация математической модели сложного природного объекта.
- Изучение закономерностей движения некондиционных солоноватых вод в водоносных горизонтах Балтийской косы с использованием математического моделирования.

- Нахождение оптимального сценария эксплуатации водоносных горизонтов Балтийской косы в условиях взаимодействия солоноватых и пресных подземных вод.

Фактический материал, методы исследований, личный вклад автора. Диссертационная работа является результатом научно-исследовательской и производственной деятельности автора в области изучения гидрогеологических условий Калининградского полуострова. Автор проанализировал большой объем материалов ранее выполненных здесь геологических и гидрогеологических исследований, а также выполнял полевые (опытно-фильтрационные работы и режимные наблюдения, эколого-гидрогеологическое обследование, отбор проб подземных и поверхностных вод) и камеральные (интерпретация результатов опытно-фильтрационных работ, разработка геофильтрационной и геомиграционной моделей, построение картографического материала и написание итогового отчета) работы, направленные на оценку эксплуатационных запасов Новобалтийского месторождения пресных подземных вод, проводимых АО «Северо-Западное ПГО» с 2014 по 2017 годы.

В процессе работы над диссертацией анализировались материалы, полученные следующими методами: 1. Сбором и обобщением опубликованной и фондовой литературы по геолого-гидрогеологическим условиям формирования подземных вод Калининградского полуострова; 2. Бурением разведочных скважин и анализом кернового материала; 3. Гидрохимическим опробованием поверхностных и подземных вод и анализом результатов лабораторных исследований проб воды; 4. Выполнением комплекса опытно-фильтрационных работ; 5. Режимными наблюдениями за уровнями и химическим составом подземных и поверхностных вод; 6. Математическим моделированием с использованием программного комплекса Processing Modflow 8.0; 7. Построением трехмерных моделей, карт, схем и графиков с использованием программ ArcGIS 10.0, Seer3D 2 и Surfer 13.

Научная новизна. 1. Установлены закономерности распространения и формирования подземных вод Балтийской косы, а также их гидрохимических особенностей; 2. Определены причины ухудшения качественного состава подземных вод; 3. Построены и апробированы геофильтрационная и геомиграционная математические модели Балтийской косы и прилегающей акватории Балтийского моря; 4. При помощи математических моделей изучены закономерности движения некондиционных солоноватых вод в водоносных горизонтах Балтийской косы, а полученные результаты сопоставлены с их фактическим гидродинамическим и гидрохимическим режимом; 5. Предложена методика рациональной организации централизованного водоснабжения прибрежных населенных пунктов в условиях взаимодействия морских и пресных подземных вод.

Защищаемые положения:

1. Основной причиной ухудшения качества пресных подземных вод прибрежных водоносных горизонтов Балтийской косы является внедрение (интрузия) морских солоноватых вод Балтийского моря, развивающееся под действием интенсивного водоотбора. Роль других факторов, таких как естественная гидрохимическая зональность и техногенное загрязнение, незначительна.

2. Надежность прогнозных решений повышается при использовании единой схематизации гидрогеологических условий на всех этапах разработки математической модели: как на этапе обработки полевых материалов, в том числе интерпретации результатов опытно-фильтрационных работ методом математического моделирования, так и на этапе прогнозного моделирования.

3. В условиях, когда водопотребность населения превышает величину естественных ресурсов территории, разработанная математическая модель Балтийской косы позволяет определить оптимальный сценарий водоотбора из эксплуатационных скважин, при котором достигается минимизация влияния интрузии морских вод на качество подземных вод целевых водоносных горизонтов.

Практическая значимость. Результаты проведенного исследования являются опорной точкой решения проблемы устойчивого обеспечения качественными подземными водами, прежде всего г. Балтийска, а также могут использоваться при организации водоснабжения других социально-значимых объектов, находящихся в аналогичных геолого-гидрохимических условиях не только в Калининградской области, но и в других регионах России: Краснодарский, Приморский и Хабаровский край, Ленинградская и Сахалинская области.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав и заключения; изложена на 152 страницах, содержит 47 рисунков и 33 таблицы; список использованной литературы включает 129 наименований. Доказательная база защищаемого положения № 1 раскрыта во второй и третьей главах, положения № 2 – в четвертой главе, положения № 3 – в пятой главе.

В ***первой главе*** описано состояние изученности проблемы и методика исследования; во ***второй главе*** рассмотрены структурно-тектоническое строение и геолого-гидрогеологические условия исследуемой территории; в ***третьей главе*** приводится характеристика качественного состава подземных и поверхностных вод и делается анализ гидрохимических условий района; в ***четвертой главе*** описана методика обоснования параметрической базы математической модели Балтийской косы; ***пятая глава*** содержит

сравнительную характеристику результатов прогнозов изменения качественного состава подземных вод.

Апробация работы. Результаты диссертации освещены в 5 публикациях, в том числе в 2 статьях, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: «II Международная научно-практическая конференция «Современное состояние, тенденции и перспективы развития гидрогеологии и инженерной геологии» (Горный университет, 2017), «V Международная конференция молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского «Взаимодействие учреждений Роснедр, Минобрнауки России и РАН при региональном геологическом изучении территории Российской Федерации и ее континентального шельфа» (ВСЕГЕИ, 2017), «XV Всероссийская научная конференция «Вузовская наука – региону 2016» (Вологодский университет, 2017).

Благодарности. За научное сопровождение и методическую помощь на всем протяжении выполнения работы автор выражает глубокую признательность научному руководителю заведующему сектором гидрогеологии и гидрогеохимии ВСЕГЕИ, к.г.-м.н. *В.В. Петрову*. За ценные советы, консультации и конструктивные замечания автор благодарен к.г.-м.н. *И.Л. Хархордину* (ООО «Геостройпроект»), к.г.-м.н. *П.К. Коносовскому* и *Р.А. Филину* (СПбГУ). За холодную критику и ценные дискуссии по улучшению работы, автор выражает благодарность *А.А. Потанову* (СПбГУ) и *Г.И. Смеловой* (Санкт-Петербургский филиал ФБУ «ГКЗ»). За вдохновение и моральную поддержку автор благодарит *А.А. Семенчук*.

1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

1.1. Общая характеристика проблематики

На сегодняшний день Калининградская область входит в число наиболее динамично развивающихся субъектов Российской Федерации. Территория Калининградской области достаточно урбанизирована: 22 города и 6 поселков городского типа, 1096 сельских населенных пунктов. Наиболее крупные города области – Калининград (431,1 тыс. чел.), Черняховск (43,3 тыс. чел.), Советск (43,6 тыс. чел.), Гусев (28,1 тыс. чел.), Балтийск (31,3 тыс. чел.).

Промышленность региона включает следующие виды экономической деятельности: добыча полезных ископаемых (104 предприятий), обрабатывающие производство (5362 предприятий), производство и распределение электроэнергии, газа и воды (270 предприятия). Наиболее развитая отрасль промышленности – машиностроение. На территории области в производстве этого направления задействованы 8 крупных заводов. На территории области находятся три крупных целлюлозно-бумажных предприятий – ЗАО «Цепрусс» в г. Калининград, ООО «Неманский ЦБК» в городе Неман и ОАО «Советский ЦБЗ» в г. Советск. Развитая экономика вызывает антропогенное загрязнение всех источников водоснабжения: подземных и поверхностных.

В пределах региона отрицательно воздействие промышленности на недра повсеместно. Подземные воды, добываемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения, как правило, подвержены техногенному загрязнению. Около 80 % отбора ПВ осуществляется в пределах границ промышленной застройки, где вероятность загрязнения эксплуатируемых водоносных горизонтов достаточно велика (гг. Калининград, Балтийск и др.).

На территории Калининградской области находится 79 потенциально опасных объектов, из них химически опасных 19. Ежегодно на предприятиях области образуется порядка 550-600 тысяч тонн отходов. На полигоны ТБО ежегодно вывозится порядка 2 млн. м³ отходов, на долю населения приходятся более половины. Мусор десятилетиями сваливается прямо на почву, без какой-либо защиты от фильтрата, вредные вещества попадают в почву, загрязняя наземные и подземные источники воды. Приблизительные подсчеты, опирающиеся на площадь существующих свалок, объем осадков и количество отходов, показывают, что ежегодно со свалок поступает в окружающую среду около 2-х миллионов кубических метров загрязненных стоков [27, 36, 37].

Другим не менее важным фактором является сложная водохозяйственная обстановка в прибрежных районах рассматриваемой территории.

Наиболее крупным потребителями подземных вод в прибрежных районах являются города Светлогорск, Балтийск, Светлый, пос. Янтарный и др., водоснабжение которых основывается на эксплуатации сразу нескольких водоносных горизонтов (четвертичный, палеогеновый и верхнемеловой водоносные комплексы). Здесь пресные подземные воды подвержены как подтягиванию солоноватых вод из нижележащих горизонтов, так и интрузии морских вод, что особенно проявляется при нарушении естественного гидродинамического режима под влиянием снижения уровня подземных вод в результате интенсивного водоотбора.

Особенно остро эта проблема оказывает негативное влияние на централизованное водоснабжение г. Балтийска. Сложность геолого-гидрохимических условий исследуемой территории заключается в расположении в пределах северной части морского аккумулятивного образования – Балтийской косы. Рассматриваемая территория имеет небольшую ширину (в среднем около 2 км) и омывается с трех сторон морскими водами. Гидрогеологические условия также осложнены наличием древней погребенной долины, прорезающей с юго-востока на северо-запад Балтийскую косу и уходящую в Балтийское море. Долина прорезает четвертичные и палеогеновые отложения, что обуславливает наличие гидравлической связи между среднепалеогеновым водоносным горизонтом и межморенным окско-вологодским водоносным горизонтом.

С целью повышения эффективности планирования водохозяйственных мероприятий на территории северо-западной части Калининградского полуострова с 1956 г. по настоящее время неоднократно ставились как региональные исследования, так и локальные поисково-оценочные работы, связанные с выявлением эксплуатационных возможностей месторождений подземных вод. Особенно важным объектом исследований являются месторождения подземных вод Балтийской косы, приуроченные к межморенным, среднепалеогеновым и верхнемеловым водоносным горизонтам.

Необходимость обоснования многоцелевого использования подземных вод этих месторождений в сложных геолого-гидрохимических условиях требует разработки методики специальных гидрогеологических исследований с учетом современных методов и средств решения поставленных задач.

Гидрогеологические условия Балтийской косы имеют удовлетворительную изученность. Учитывая цель наших исследований, автором проанализированы, обобщены и развиты имеющиеся сведения по региону, причем основное внимание уделено комплексному решению задач.

Настоящие гидрогеологические исследования проводятся с целью изучения условий и закономерностей формирования подземных вод для обоснования их рационального

использования и охраны от загрязнения при эксплуатации прибрежных водозаборов Балтийской косы. Загрязнение подземных вод и изменение их качества во многих случаях могут быть вызваны притоками некондиционных вод (поверхностных и подземных). Примером этого явления является как засоление в береговой зоне пресных подземных вод под влиянием контактирующих с ними морских вод [59], так и подтягивание солоноватых вод из ниже- и вышележащих водоносных горизонтов [38].

В настоящее время централизованное водоснабжение г. Балтийска осуществляется артезианскими водозаборными скважинами, расположенными, главным образом, несколькими достаточно компактными группами в северо-восточной части города. Кроме того, в пределах городской застройки имеется ряд одиночно стоящих водозаборных скважин.

На водозаборном участке в пределах долины в разные годы работало от 11 до 25 скважин, при этом за всю историю его развития было пробурено не менее 100 скважин. В настоящее время с переменным успехом работают 8 скважин. Основной причиной сокращения парка эксплуатационных скважин на участке является осложнение гидрохимической обстановки в центральной части палеодолины, где был сосредоточен самый высокий и бесконтрольный уровень водоотбора (до 16,0 тыс. м³/сут, а в перспективе до 44,7 тыс. м³/сут). Такая эксплуатация не могла не вызвать заметных изменений гидрогеологических условий, что естественно отразилось на режиме уровня и качестве подземных вод.

Разрастание зоны некондиционных вод в центре водозабора и, как следствие, к югу от него, вынудило систематически выводить из эксплуатации скважины с гидрохимическими показателями, превышающими ПДК питьевых вод, или ограничивать их водоотбор.

В связи с этим, возник вопрос о возможности эксплуатации подземных вод в создавшихся гидрогеологических условиях и оценки перспектив и вариантов развития водоотбора с учетом постоянного увеличения потребности воды для водоснабжения. Такая постановка является наиболее общей и актуальнейшей задачей оценки эксплуатационных возможностей подземных вод для комплексного использования. Отмеченное выше, обусловило выбор подземных вод Балтийской косы в качестве объекта исследований.

1.2. Состояние изученности проблемы

Поставленные в данной работе проблемы водоснабжения Балтийской косы ранее решались рядом исследователей. Бокиным В.П. в 1956 г. впервые на основе анализа режима эксплуатации действующего водозабора г. Балтийска предварительно оценены эксплуатационные ресурсы верхнечетвертичного (2663 м³/сут) и палеогенового (11908 м³/сут) водоносных горизонтов [116]. Автором работы был сделан вывод о том, что использование верхнемеловых отложений для централизованного водоснабжения

г. Балтийска представляется нецелесообразным, ввиду относительно слабой водообильности и возможности подтягивания солоноватых вод, залегающих в подошве горизонта.

С 1959 по 1966 Казановым Ю.В. выполнена комплексная геолого-гидрогеологическая съемка масштаба 1:200 000 охватывающая северо-запад Калининградской области [119]. Автором было сделано детальное описание водоносных комплексов от четвертичного до палеогенового возраста включительно. Воды мелового комплекса детально не изучались, несмотря на их широкое распространение. Был сделан вывод, что они не имеют практического значения для водоснабжения южной части Калининградской области ввиду их повышенной минерализации. Воды юрских и ниже залегающих отложений на данной территории изучены не были и рассмотрены весьма схематично.

В 1964-1966 гг. Чудиновым Н.И. были проведены специальные разведочные работы для водоснабжения г. Балтийска [128]. В рамках работы было выделено пять водоносных горизонтов. Первый приурочен к верхнечетвертичным отложениям, второй к палеогеновым, нижезалегающие – к меловым. Совокупное количество эксплуатационных запасов по всем горизонтам составило 20200 м³/сут. В своей работе авторы пришли к выводу о том, что водопотребность г. Балтийска в питьевой воде с учетом перспективной водопотребности может быть обеспечена лишь в результате использования вод среднерусско-валдайского водоносного горизонта (ныне вологодско-московского). А также посредством расширения существующего водозабора на север вдоль побережья Калининградского залива на палеогеновые отложения и устройством водозабора на меловые водоносные горизонта до глубины 220-250 м.

В 1974 г. Кирпечевой И.В. была составлена первая детальная гидрогеологическая карта масштаба 1:50000 всего Калининградского полуострова [121]. В основу карты положены материалы предыдущих геолого-гидрогеологических съемок, результаты различных геолого-гидрогеологических работ (бурение скважин для водоснабжения, разведочные работы на подземные воды и твердые полезные ископаемые, изучение режима эксплуатации действующих водозаборов). В работе приведена подробная характеристика водоносных горизонтов четвертичных и палеогеновых отложений, послужившая основой для первой региональной оценки эксплуатационных запасов подземных вод Калининградского полуострова методом математического моделирования, выполненной в целом для Прибалтийского артезианского бассейна (ПАБ).

Наибольший научно-практический вклад в изучение эксплуатационных запасов пресных подземных вод не только северо-запада Калининградской области, но и всего ПАБ внес В.И. Иодказис. В 1977 г. им была выполнена региональная оценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод Прибалтийского артезианского бассейна [118]. На

аналоговой математической модели были оценены эксплуатационные запасы пресных подземных вод для водоснабжения населенных пунктов Калининградского полуострова. Запасы пресных подземных вод по месторождению «Балтийское» в данной работе отдельно не оценивались, однако следует отметить, что Балтийская коса в данном исследовании была выделена как зона со средней проводимостью ($200 \text{ м}^2/\text{сут}$) для четвертично-палеогенового водоносного комплекса и коэффициентом пьезопроводности $1 \times 10^3 \text{ м}^2/\text{сут} - 5 \times 10^3 \text{ м}^2/\text{сут}$.

В 1982-1984 гг. под руководством Труфановой Л.Ф. была произведена предварительная разведка подземных вод для водоснабжения г. Балтийска, выполненная в два этапа [127]. На первом этапе был изучен опыт эксплуатации существующего водозабора, оконтурена погребенная долина, изучен литологический состав и водообильность верхнемеловых отложений. На втором этапе были определены фильтрационные параметры межморенного окско-вологодского и верхнемелового водоносных горизонтов, установлена граница пресных и соленых вод. В результате проведенных работ наиболее перспективным был признан межморенный литовско-среднерусский (окско-вологодский) водоносный горизонт, дополнительным источником – верхнемеловой водоносный горизонт. Окско-вологодский водоносный горизонт был признан перспективным, потому что являлся основным источником существующего на тот момент водоснабжения города Балтийска (водоотбор составлял 13,1 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$). Утвержденных запасов подземных вод не имелось. Верхнемеловой был признан перспективным в результате того, что имеет повсеместное распространение, значительную мощность и содержит пресные воды.

Объектом работ являлось месторождение подземных вод «Балтийское», расположенное на юго-западе района на Балтийской косе на северо-западной окраине г. Балтийска. Автором были предложены к утверждению запасы подземных вод для водоснабжения г. Балтийска в количестве 44,7 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ по категориям А+В+С₁, в оцененную величину запасов вошла цифра водоотбора – 13,1 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ (предлагали категорию А) [127]. Но вследствие возможного подтягивания солоноватых морских вод постановка детальной разведки в пределах Балтийской косы с целью водоснабжения г. Балтийска признана нецелесообразной (протокол института ВСЕГИНГЕО от 14.18.1984 г.), поэтому последующие разведочные работы были поставлены на территории юго-запада Калининградского полуострова.

В 1986-91 гг. Тиуновым В.Ю. была проведена детальная разведка пресных подземных вод для водоснабжения г. Балтийска. Разведочные работы были проведены в юго-западной части г. Балтийска на двух участках: Восточный и Парусный. На первом участке перспективным был признан вологодско-московский водоносный горизонт, на втором – среднепалеогеновый алкский водоносный горизонт. Также был изучен опыт эксплуатации действующего водозабора в г. Балтийске. Был сделан вывод о том, что при последующей

эксплуатации вод чертветрично-палеогенового горизонта с существующей на тот момент производительностью (12,68 тыс. м³/сут) ожидается дальнейшее ухудшение качества подземных вод [126]. Были даны рекомендации: не превышать, а по возможности сокращать существующий водоотбор на Балтийской косе, исключив из эксплуатации скважины, дающие некондиционную воду; усилить контроль качества воды и принять меры по перераспределению водозабора. По мере ввода двух новых участков рекомендовалось сокращать водоотбор, доведя его до минимума, а после оставить это минимальное количество скважин его в качестве резервного источника водоснабжения, перейдя полностью на два новых участка. На основании результатов оценочных работ протоколом ГКЗ № 11155 от 04.12.1991 г. были утверждены запасы подземных вод на участке Восточный Балтийского месторождения в количестве 25,2 тыс. м³/сут, на участке Парусный Балтийского месторождения в количестве 9,6 тыс. м³/сут. Однако разведанные запасы так и не были освоены, в связи с чем, в период 2010-2012 г. были сняты с учета и, соответственно, списаны с баланса по результатам оценки состояния месторождений подземных вод с целью приведения их запасов в соответствие с действующим законодательством и нормативными правовыми документами [129].

В период с 1999 по 2004 г. ввиду острой проблемы с водоснабжением на территории Балтийской косы, так и не решившегося в предыдущее годы, была предпринята еще одна попытка произвести изучение условий формирования запасов подземных вод в районе г. Балтийска. В работах приняли участие И.В. Карпов и В.В. Антонов [120]. В задачи исследования входило изучение всего комплекса водоносных горизонтов, развитых в пределах Балтийской косы путем буровых, опытных и стационарных гидрогеологических работ, включая обработку результатов методом математического моделирования. Ввиду прекращения финансирования проекта, работы не были завершены, а отчетные материалы так и не были апробированы.

Таким образом, за более чем шестидесятилетний период исследования проблемы формирования подземных вод Балтийской косы и их рационального использования, в условиях взаимодействия с солоноватыми водами, не было получено однозначных результатов, имеющих выраженную научно-практическую значимость.

Последствием этого стал дефицит пресных подземных вод, составивший в 2014 г. 4 тыс. м³/сут при численности населения города 33,1 тыс. человек. В период с 2014 г. по 2017 г. в рамках государственного контракта между АО «Северо-Западное ПГО» и Севзапнедра под руководством автора диссертационного исследования Семенчука А.В. были проведены поисково-оценочные работы, целью которых являлось решение проблемы хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Балтийска. В качестве перспективного участка

был выбран лес Восточная Грива. На участке недр произведено изучение вологодско-московского и среднепалеогенового алкского водоносных горизонтов, пробурено 8 разведочных скважин и выполнены опытно-фильтрационные работы и гидрохимическое опробование. В результате работ методом математического моделирования были оценены запасы подземных вод в количестве 1 тыс. м³/сут по категории С₁ и 3 тыс. м³/сут по категории С₂ [124]. Однако, было отмечено, что без оптимизации всей сети имеющихся скважин, гидрохимическая обстановка в пределах Балтийской косы продолжит ухудшаться, а имеющийся фронт интрузии морских вод продвинется в направлении разведанного Новобалтийского месторождения пресных подземных вод [65].

Нужно заметить, что теоретические основы взаимодействия разноплотностных жидкостей, не только в условиях планового смещения гидрохимической зональности (интрузия морских вод), но и профильного (подтягивание некондиционных вод в разрезе), к настоящему времени довольно детально описаны в трудах Полубариновой-Кочиной П.Я. [60], Гольтберга В.М. [15 - 19], Грегораускаса М.М. [23, 24], Зекцера И.С. [30 - 34], Фролова А.П. [77, 78], Минкина Е.Л. [52], Веригина Н.Н. [9], Голубева [14], Bear J. [89], Badon-Ghyben W. [87], Herzberg A. [98], Henry H.R. [97], Kohout F.A. [99], Krieger R.A. [100], Lusczynski N.J. [102], Pinder G.F. [106], Reilly G.F. [107], Schmorak S. [108], Segol G. [109], Shamir U. [110], Tamai N. [111], Todd O.K. [112] и др.

Вместе с тем, отмечается неоднозначность в подходе к решению проблемы эксплуатации водоносных горизонтов в подобных условиях в ряде регионов России, в связи, с чем поиски оптимизационных (рациональных) решений применительно к практическим решениям проблемы водоснабжения являются необходимыми [54, 67, 82].

Это актуально и в связи с относительно слабым освещением вопросов формирования подземных вод исследуемого региона в литературе. В основном это работы 50-х – 70-х годов Духаниной В.И. [26], Зекцера И.С. [35], Кондратаса А.Р. [46], Каменского Г.Н. [42], Иппена А.Т. [41] и др. Исключением можно назвать работу Иодказиса В.И. [38], в которой освещены вопросы схематизации гидрогеологических условий Прибалтийского артезианского бассейна и приведены принципы рационального освоения ресурсов подземных вод. В том числе, описаны особенности оценки ресурсов подземных вод с использованием методов аналогового математического моделирования, доступных на тот момент времени. Однако и она не включает в себя в полной мере результатов гидрогеологических исследований, особенно широко выполнявшихся в течение последних десятилетий Хубляряном М.Г. [80-85], Куваевым А.А. [49, 51], Коносавским П.К. [47], Фроловым А.П. [76], Васильевым А.Н. [8], Михайловым В.Н. [56], Frind E.O. [93], Meinardi C.R. [104], Mercer J.W. [105] и Volker R.E. [113].

В частности, не изучены источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод морских аккумулятивных образований и роли их в формировании состава подземных вод в условиях нарушенного режима фильтрации. Практически не затрагивались вопросы анализа геофильтрационных и геомиграционных процессов в условиях перетекания подземных вод из смежных водоносных горизонтов и связи пресных подземных вод с солеными водами морских заливов. За всю историю решения проблемы водоснабжения рассматриваемого района не оценены прогнозные сценарии развития процесса загрязнения подземных вод и его реабилитации с целью рациональной организации водоснабжения в условиях взаимодействия пресных и морских вод.

Решение этих вопросов способствует более обоснованным представлениям о формировании подземных вод региона и определяет актуальность работы.

1.3. Методика исследования и прогнозирования процессов миграции

В количественном описании процессов взаимодействия чистых подземных вод и некондиционных вод различного генезиса, решающая роль принадлежит методам математического моделирования. Это обусловлено исключительной ролью данного метода в исследовании (а не только в прогнозировании) геофильтрационных и геомиграционных процессов, заменяя физический инструмент в условиях, когда последний либо нерационален, либо же вообще невозможен [54].

Такое значение этого метода в общем комплексе гидрогеологических работ определяют возрастающие требования к достоверности и точности расчетов с целью рационального использования ресурсов подземных вод.

Согласно методическому руководству ГКЗ по применению Классификации эксплуатационных запасов подземных вод, математическое моделирование является разновидностью гидродинамического метода подсчета запасов. Необходимость его применения при оценке эксплуатационных запасов подземных вод возникает на объектах со сложными гидрогеологическими (гидродинамическими и гидрогеохимическими) условиями.

Сложность гидрогеологических условий определяется:

- фильтрационной неоднородностью водовмещающих отложений;
- характером граничных условий в плане и разрезе;
- напорно-безнапорным режимом фильтрации;
- нарушением сплошности потока (изменением условий взаимосвязи подземных и поверхностных вод и/или водоносных горизонтов);
- большим количеством взаимодействующих водозаборов подземных вод и других объектов техногенной нагрузки;
- наличием источников загрязнения;

- недостатком необходимой информации и т.п.

Важной особенностью математических моделей является возможность точного количественного прогнозирования в пространстве и времени не только естественных и техногенных процессов, но и анализ с их помощью любых инженерных решений. При этом под математической моделью понимается функциональная система, которая путем численного решения систем дифференциальных уравнений, позволяет получить искомые характеристики объекта на основе исходной информации. Современные методы математического моделирования основаны на численном решении дифференциальных уравнений геофильтрации. Для такого решения чаще всего используются методы конечных разностей и конечных элементов [72].

Как правило, в результате моделирования доказывается возможность использования разработанной математической модели гидрогеологического объекта для решения поставленных задач.

На сегодняшний день, математическое моделирование получило широкое распространение в виду наглядности конечного результата. Так как по окончании расчетов мы получаем подробную карту распределения напоров подземных вод в системе водоносных горизонтов, можем с высокой точностью проанализировать водный баланс территории моделирования и выполнить прогнозные оценки интересующих нас характеристик в пространстве и времени.

Разработка математической модели включает в себя ряд этапов:

- 1) сбор и анализ геолого-гидрогеологической и гидрологической информации (фильтрационные и емкостные параметры, абсолютные отметки кровли и подошвы гидрогеологических подразделений, инфильтрационное питание, естественные ресурсы и др.)
- 2) разработку модели (схематизация внешних и внутренних гидрогеологических условий и пространственно-временная дискретизация);
- 3) калибровку модели (решение обратных и инверсных гидрогеологических задач);
- 4) воспроизведение существующего режима фильтрации;
- 5) воспроизведение ненарушенного режима фильтрации;
- 6) прогнозное моделирование;
- 7) решение геомиграционных задач (расчет ЗСО, миграционное моделирование и др.).

В своем исследовании автором использован лицензионный программный комплекс Processing ModFlow v. 8. Пакет предназначен для решения широкого спектра гидрогеологических задач, связанных с расчетом фильтрационных потоков подземных вод в многослойных системах в рамках предпосылок сплошности среды и ламинарного режима

течения. Он позволяет решать задачи в стационарной и нестационарной постановке и моделировать как напорную, так и безнапорную фильтрацию [96, 123].

Программный комплекс обладает широкими возможностями для задания граничных условий любого рода (как для фильтрационных, так и для миграционных процессов), моделирования скважин и дрен, взаимосвязи подземных вод с поверхностными водотоками и водоемами и т.д. Для различных классов задач в данном пакете используются свои решающие модули. В частности, при решении задачи для моделирования геофильтрационных процессов использовалась программа ModFlow, являющаяся, в данной области мировым стандартом, использующим метод конечных разностей.

Как правило, прогнозы загрязнения подземных вод имеют дело с их нарушенным режимом, закономерности формирования которого контролируются многими факторами. Отражение всей совокупности этих факторов в единой расчетной модели является задачей повышенной трудности. Поэтому непосредственному выбору и построению прогнозных моделей должна предшествовать схематизация условий и процессов массопереноса, в которой предполагается выделение двух этапов: предварительный – геофильтрационный и собственно миграционный [54].

Учитывая это, постановка задачи по исследованию и прогнозированию процессов взаимодействия подземных вод различной минерализации методом математического моделирования сводится к следующему:

- схематизация гидрогеологических и гидрохимических условий с обоснованием параметрической базы;
- воспроизведение существующих условий эксплуатации скважин на территории Балтийской косы;
- воспроизведение естественных гидрогеологических условий (расходы водозаборов равны нулю);
- прогнозная оценка увеличения существующего водоотбора.

Такая постановка задачи определяет следующий подход к ее решению:

- исследование существующих источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод и определение геофильтрационных и геомиграционных параметров;
- анализ различных сценариев водоотбора и схемы размещения эксплуатационных скважин при помощи геофильтрационной и геомиграционных моделей.

1.4. Выводы к главе 1

В результаты анализа изученности поставленных в настоящем исследовании проблем, можно выделить ряд факторов, требующих детального рассмотрения. Во-первых, это сложные гидрохимические условия: возможность смещения гидрохимической зональности

как плановой, так и профильной, наличие нескольких зон гидрохимических аномалий уже получивших развитие на участках действующих водозаборов, наличие гидравлической взаимосвязи между засоленными и «чистыми» эксплуатационными водоносными горизонтами и их отдельными частями.

Во-вторых, это сложные водохозяйственные условия: наличие действующего ярусного водозаборного сооружения в пределах единого эксплуатационного участка – одновременная эксплуатация трех смежных вод и оносных горизонтов и наличием ряда ведомственных водозаборов.

В-третьих, это сложные геоэкологические и геолого-гидрогеологические условия: существование исторически сложившейся городской застройки в пределах эксплуатируемого месторождения подземных вод; весьма невыдержанное геологическое строение, характеризующееся выклиниванием водоносных горизонтов, изменчивостью их мощностей и литологического состава водовмещающих пород, наличием погребенной палеодолины, простирающейся за пределы Балтийской косы под акваториями Балтийского моря и Калининградского залива и пререзающей всю толщу четвертичных и среднепалеогеновых отложений, включая верхнемеловые отложения.

В этих условиях автором было принято правильное решение использовать для исследования и прогнозирования миграционных процессов метод математического моделирования. Использование метода математического моделирования позволит получить подробную карту распределения напоров подземных вод в системе водоносных горизонтов, с высокой точностью проанализировать водный баланс исследуемой территории и выполнить прогнозные оценки интересующих нас характеристик в пространстве и времени.

На данном этапе были выделены основные проблемы района исследования, намечены пути их решения. Исследовательская работа будет включать изучение существующих источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод, определение геофильтрационных параметров, рассмотрение вариантов увеличения существующего водоотбора при помощи геофильтрационной модели и использование геомиграционной модели для прогнозных оценок изменений качества подземных вод при различных сценариях водоотбора.

2. ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ

2.1 Физико-географические условия района исследований

Площадь исследования охватывает северную часть Балтийской косы и протягивается примерно на 22 км от г. Приморска через г. Балтийск и полностью расположена в Балтийском муниципальном районе Калининградской области (рис. 1.1). Балтийский район на юго-западе граничит с Польшей, с востока омывается Калининградским заливом, с запада омывается водами Гданьского залива, на севере граничит с Зеленоградским районом. Город Балтийск полностью расположен в пределах площади исследования и является административным центром и самым западным городом России, расположен в 40 километрах западнее Калининграда.

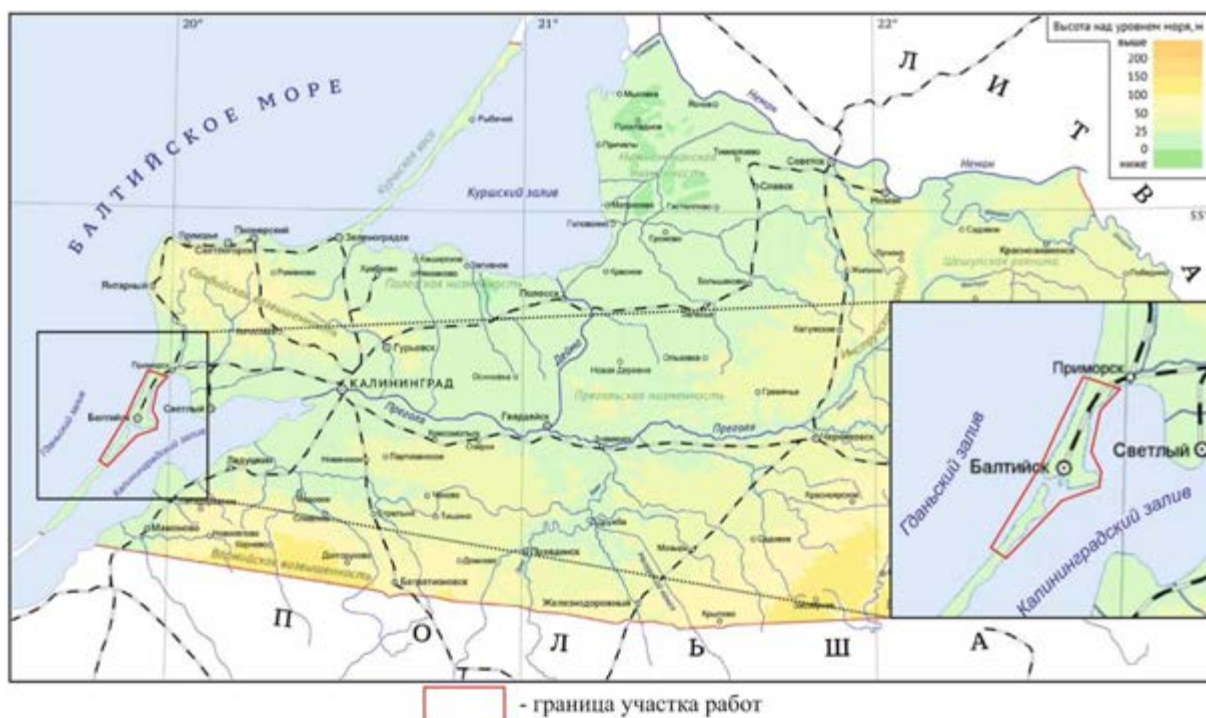


Рисунок 1.1. Обзорная карта исследуемой территории

Рельеф. Территория исследования расположена на западной окраине Восточно-Европейской равнины, где основным рельефообразующим фактором являлась ледниковая деятельность. Простирается в пределах длительно развивавшейся Балтийской синеклизы с глубоким погружением поверхности кристаллического фундамента и достаточно мощным осадочным чехлом, компенсирующим этот прогиб. Подобное геологическое строение определяет в целом равнинный характер рельефа области с преобладающими абсолютными высотами 20-50 м. Однако, новейшие тектонические движения, охватившие отдельные участки платформенного чехла, расчлененного на блоки, привели к некоторому поднятию их на общем фоне прогибания. К таким блокам относятся Калининградский полуостров, особенно его западная часть, омываемая Балтийским морем. Поэтому здесь сформировалось

платообразное возвышение – Самбийская возвышенность с высотами более 50-60 м [44]. Ее рельеф представлен несколькими сериями конечно-моренных гряд с общей ориентацией – с северо-запада на юго-восток, отдельные звенья вытянуты с севера на юг и с запада на восток. Гряды образованы последовательно сменяющимися друг друга удлиненными холмами со склонами средней крутизны, разделенными довольно широкими ложбинами. Отдельные вершины гряд в виде крупных холмов поднимаются до абсолютных высот 60-80 м. Самбийская возвышенность граничит на востоке в Полесской и Прегольской низменностями, на юге – с Вармийской возвышенностью, на остальной территории – с водами заливов и моря.

Северная часть исследуемой территории в пределах Калининградского полуострова с г. Балтийском является юго-западной оконечностью Самбийского плато с уклоном в западном и юго-западном направлении и абсолютными отметками 5-25 м, ограниченная крутым уступом в сторону моря. Представляет собой слабо всхолмленную поверхность. Центр данной территории занимает плоская слабоволнистая озерно-ледниковая равнина. Балтийское побережье представлено холмисто-грядовым дюнным рельефом с абсолютными отметками 15-25 м. В северной части развиты довольно крупные дюны размером в основании до 300 м и относительной высотой до 15 м.

Южная часть исследуемой территории – северное окончание Балтийской косы. На косе распространены цепи песчаных дюн, а вдоль низменных берегов залива – прибрежно-морские аккумулятивные низменности.

Особо охраняемые природные территории. С 1963 г. на территории Балтийской косы функционировал государственный природный заказник «Вислинская коса». Постановлением Губернатора Калининградской области от 18.05.1998 г. №351 заказник «Вислинская коса» был лишен статуса особо охраняемой территории. Балтийская (Вислинская) коса ныне является охраняемой территорией в соответствии с рекомендациями ХЕЛКОМ 15/5 (Конвенция по защите морской среды района Балтийского моря, 1974 г) [2].

Климат является переходным от морского к континентальному. Характеризуется очень мягкой зимой, часто без устойчивого снегового покрова, теплой и дождливой осенью, умеренно теплым летом, высокой влажностью воздуха в течение всего года. Температуру воздуха определяет поступление воздушных масс с Атлантики и близость незамерзающего Балтийского моря [3, 4]. Среднегодовые температуры увеличиваются с 6,5 °С на востоке области до 7,5 °С на юго-западе. Годовые амплитуды температуры воздуха составляют 20-21 °С. Обычно самый холодный месяц январь, самый теплый месяц – июль. Максимальная температура воздуха летом составляет 22-26 °С, минимальная температура зимой – от -18 до -23 °С. Среднесуточные температуры воздуха в январе около -2 °С, летом +16°-+77 °С.

Абсолютный минимум составлял в городах Советске и Нестерове – -35°C , абсолютный максимум (в Калининграде) – $+37^{\circ}\text{C}$ [5].

Абсолютные максимумы температуры поверхности почвы достигают $52-54^{\circ}\text{C}$.

Пространственное распределение осадков определяется расстоянием от моря и особенностями рельефа. Годовое количество осадков на большей части территории составляет 750-800 мм. По данным метеостанции № 26701 в г. Балтийске среднегодовое количество осадков за период с 1964 по 2016 гг. составляет 649 мм/год с минимумом 403 мм/год (1976 г.) и максимумом – 988 мм/год (1970 г.). В летние месяцы благодаря усилению конвективно-грозовой деятельности увеличивается количество осадков и одновременно уменьшается продолжительность их выпадения. Большая часть осадков (75 %) выпадает в виде дождя. Твердые осадки выпадают в основном в январе-феврале [12].

В осенний период часто над областью проходят западные штормовые ветры. Число дней с сильным ветром на побережье доходит до 35. Грозы в области могут случаться в течение всего года, хотя зимой они бывают в среднем раз в 10 лет

Гидрографическая сеть района. Поверхностные водотоки на территории отсутствуют.

Описываемая территория с запада омывается Гданьским заливом, с востока – Калининградским заливом, с юга – Калининградский судоходный канал.

2.1.1. Особенности экономики и инфраструктуры района

Город Балтийск – административный центр Балтийского района Калининградской области с населением 33,1 тыс. чел. Город является крупным морским портом. Здесь имеется паромный терминал и железнодорожный вокзал. В Балтийске расположена Балтийская военно-морская база Балтийского флота – крупнейшая в России на Балтийском море.

Основными отраслями экономики города являются портовое хозяйство, судоремонт и пищевая промышленность. Недавно стал развиваться туризм. Сельское хозяйство развито слабо.

Ведущее промышленное предприятие – судоремонтный завод № 33, работающий с военными и гражданскими судами России и иностранных государств. В городе расположено ЗАО «Балтийская нефтеперевалочная компания», которая обладает мощностями для перевалки 2,7 млн. тонн нефтепродуктов в год. Порт, находящийся у выхода в открытое море, является одним из ключевых предприятий города.

Городской транспорт Балтийска – это маршрутные и обычные такси. Имеется автобусное сообщение с Калининградом, Янтарным, Зеленоградском, Пионерском, Светлогорском и Светлым. С Балтийской косой город связан пассажирской паромной линией. С Калининградом налажено железнодорожное сообщение посредством дизельных поездов. Главный транспортный узел города – грузопассажирский паромный терминал.

Паромные линии соединяют Балтийск с Санкт-Петербургом, Засницем (Германия), Клайпедой (Литва), Карлсхамном (Швеция) и Гдыней (Польша).

2.2. Геологическое строение и гидрогеологические условия

2.2.1. Структурно-тектонические условия

Рассматриваемая территория расположена в юго-западной части Балтийской синеклизы – крупной тектонической структуры Восточно-Европейской платформы, граничащей на северо-западе с Готландской моноклиной, на севере – с южным склоном Балтийского щита, на востоке – с Латвийской седловиной, на юге – с Мазурско-Белорусской антеклизой (рис. 2.2). В геологическом строении района выделяются два крупных структурных этажа: архей-протерозойский кристаллический фундамент и фанерозойский платформенный чехол.

Кристаллический фундамент залегает на глубинах от 1100 до 3350 м с общим погружением в западном направлении. В строении фундамента участвуют два структурных комплекса – архейский и раннепротерозойский (свекофенский), имеющие ограниченное развитие.

Архейский представляет собой фрагменты коры метаосадочно-базитового типа, претерпевшей неоднократную складчатость. В настоящее время это изолированные по глубоким разломам блоки пород, прорванные свекофенскими и рифейскими интрузиями. Архейские образования распространены в восточной части территории листов N-34-XIV-N-34-VIII. Западный (раннепротерозойский) блок отделен от восточного (архейского) крупной зоной разломов субмеридионального простирания, она прослеживается западнее г. Лиепая, о. Сааремаа и далее на север через Финский залив. В настоящее время западный блок сложенный гнейсами, мигматитами и более молодыми телами габбро-норитов, анортозитов и гранитов-рапакиви, разбит сетью мелких разрывных нарушений.

Структуры осадочного чехла. На архейско-протерозойском кристаллическом фундаменте залегает мощная (до 3300 м) толща осадочных пород, слагающих чехол, в строении которого участвуют образования каледонского, киммерийского и альпийского структурных ярусов. Основные структурные элементы осадочного чехла в пределах рассматриваемой территории связаны со структурными формами поверхности фундамента и разрывной тектоникой.

Разрывные нарушения различаются как по своему положению, длительности развития и влиянию на вмещающие отложения, так глубине и времени заложения. Наиболее крупный субмеридиональный разлом разделяет свекофенский и архейский блоки фундамента. Прослеживается в северном направлении на сотни километров и представляет собой параллельно сближенную систему разрывных нарушений шириной около 5 км, не находящую отражение в структуре поверхности фундамента. К нему приурочены интрузии

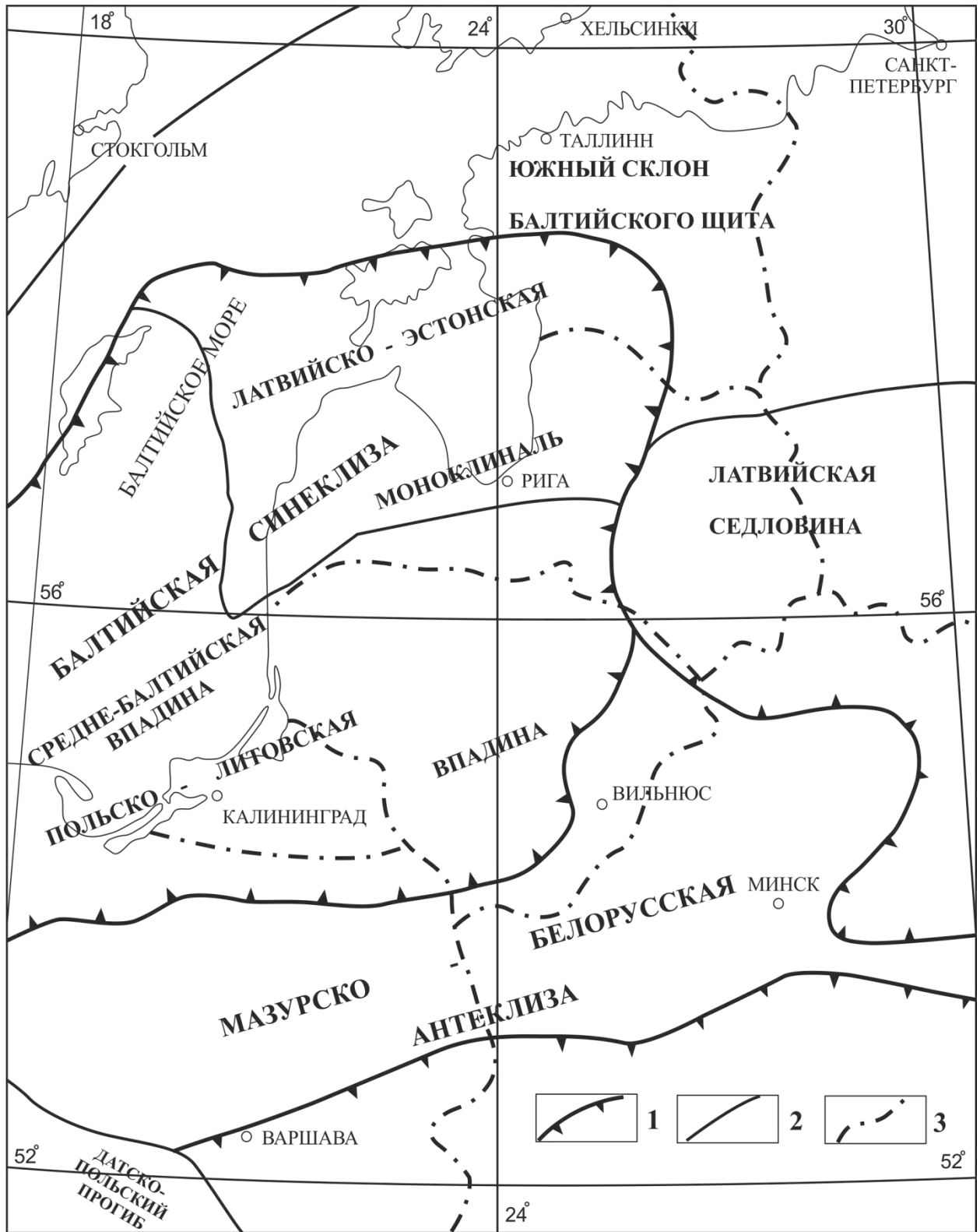


Рисунок 2.2. Схема тектонического районирования Калининградской области. Условные обозначения: 1 – границы крупных структурных подразделений (синеклиз, антеклиз); 2 – границы мелких структур (2-го порядка); 3 – государственные границы России и сопредельных государств [28].

нижнепротерозойских габброидов и нижнерифейских массивов гранит-рапакиви. Большая часть разрывных нарушений связаны с платформенным этапом развития территории. Среди них преобладают субширотные, имеющие протяженность в первые десятки, иногда сотни километров. Здесь выделяются каледонские, герцинские и альпийские, по типу смещения блоков делятся на сбросы, реже взбросы и сдвиги. Преобладают в районе каледонские. Величины перемещения блоков небольшие, не превышающие обычно первые сотни метров. Диагональные разрывные нарушения северо-восточных направлений играют подчиненную роль и смещения по ним незначительны. Многие из присутствующих разломов являются долгоживущими, неоднократно подновляющимися и могут выходить на дочетвертичную поверхность. Сближенные системы разломов сопровождаются зонами повышенной трещиноватости, выходящими на дочетвертичную поверхность и могли быть использованы в формировании палеоврезов.

2.2.2. Геологическое строение территории работ

Рассматриваемая территория располагается в пределах листов N-34-VIII и N-34-XIV разграфки Государственной геологической карты масштаба 1:200 000. Площадь исследования расположена на западе Восточно-Европейской (Русской) платформы, в приосевой части Балтийской синеклизы.

В геологическом строении территории принимают участие породы кристаллического фундамента архейско-протерозойского возраста, перекрытые толщей осадочных пород фанерозоя мощностью от 2300 до 3100 м [117]. Кристаллический фундамент представлен гнейсами, гранито-гнейсами и мигматитами.

В строении осадочной дочетвертичной толщи принимают участие породы кембрия, ордовика, силура, девона, перми, триаса, юры, мела и палеогена.

В соответствии с целями исследования, глубина изучения рассматриваемой территории равна мощности зоны пресных подземных вод и составляет порядка 100-150 м, поэтому описание геологического строения будет произведено от четвертичных до меловых отложений включительно.

Мезозойская эратема

Меловая система (К)

Меловые отложения, представленные нижним и верхним отделами, трансгрессивно залегают на верхнеюрских. На большей части территории перекрываются отложениями палеогена. В местах распространения древней погребенной долины, вытягивающейся с СЗ на ЮВ, эти отложения перекрыты четвертичными образованиями и выходят на дочетвертичную поверхность. Полная мощность меловых отложений вскрыта на Балтийской косе (скв. 0211)

– 194,6 м [127]. На прилегающих к району площадях мощность меловых осадков изменяется от 300 м до 400 м.

Нижний отдел (K₁)

Альбский ярус

Цнинский горизонт

Есяская свита распространена повсеместно и несогласно залегает на юрских отложениях. Глубина залегания кровли составляет 304,5 м (скв. 0211), что соответствует абсолютной отметке кровли - 294,5 м. Мощность составляет 23,1 м. Отложения свиты сформированы в позднеальбское время и представлены зеленовато-серыми глауконит-кварцевыми песками, алевролитами и слабо сцементированными алевролитами. Содержание глауконита в этих породах может достигать 30-50 %. В кровле свиты иногда отмечаются желваки фосфоритов. Возраст свиты обоснован палинологическими данными. Мощность свиты не превышает 30 м.

Верхний отдел (K₂)

Глубина залегания кровли увеличивается в юго-западном направлении от 99,7 м (скв. XXVIII) до 148 м (скв. 4), абсолютные отметки кровли изменяются соответственно от - 98,3 м до 134,4 м (скв. 151). Полная мощность верхнемеловых отложений вскрыта скважиной 0211 и составляет 171,5 м. Породы верхнего мела выходят на дочетвертичную поверхность в районе погребенной долины.

Сеноманский ярус

Добринская серия

Добринская серия объединяет чкаловскую и побединскую свиты.

Чкаловская свита распространена повсеместно и несогласно перекрывает нижнемеловые отложения. Сложена глауконито-кварцевыми песками, алевролитами и слабо сцементированными алевролитами, содержащими незначительную примесь гравийного материала. В подошве свиты залегает маломощный (0,5-2,0 м) слой средне- и крупнозернистых глауконито-кварцевых песчаников с кремнисто-фосфатно-кальцитовым цементом («фосфоритовая плита»). Этот слой является хорошим маркирующим горизонтом за счет повышенной гамма-активности. Мощность чкаловской свиты может достигать 40 м, но чаще она не превышает 5 м.

Побединская свита имеет ограниченное развитие, наблюдается только в наиболее пониженных участках, несогласно перекрывает отложения чкаловской свиты, контакт с которой четкий. Сложена свита глауконито-кварцевыми алевролитами с примесью карбонатов, полевых шпатов, хлорита, цеолитов и слюды. Иногда встречаются прослои

темно-серой глины (0,5-1,0 м). В отложениях свиты нередко встречаются зубы акул и двустворки. Мощность свиты до 30 м.

Туронский, коньякский и сантонский ярусы

На отложениях сеномана несогласно залегают осадки туронского, коньякского и сантонского ярусов. В пределах рассматриваемой территории на палеоподнятиях отложения того или иного ярусов могут отсутствовать.

Славская серия

Славская серия объединяет отложения высококовской, дубровской и демидовской свит, отвечающих по объему туронскому, коньякскому и сантонскому ярусам соответственно.

Высоковская свита распространена практически повсеместно и залегает несогласно на сеноманских отложениях. Сформировалась она в течение туронского века и представлена, в основном, зеленовато-серыми глауконито-кварцевыми алевролитами, перекрытыми иногда маломощным слоем светло-серых мелоподобных мергелей, с мелкими стяжениями фосфоритов. Мощность высококовской свиты достигает 30 м, составляя чаще 10-15 м.

Дубровская свита распространена практически повсеместно и залегает несогласно на отложениях высококовской свиты. Представлена мелоподобными мергелями светло-серого или белого цвета. Встречаются прослои белого кремнеземистого мела, в котором содержание опала может достигать 35 %, отмечаются также зерна глауконита и мелкие фосфоритовые включения. По всему разрезу свиты отмечены чешуя и зубы рыб, остатки криноидей. Мощность свиты изменяется от 10 до 40 м.

Демидовская свита распространена спорадически и несогласно залегает на дубровской свите. Представлена алевролитистым мергелем светло-серого цвета с зеленоватым оттенком, встречаются гнезда и мелкие линзы глауконитового песка. По всему слою отмечаются участки темно-серого окремненного мергеля, которые выполнены аморфным опалом и халцедоном. Нередки включения фосфатов. Мощность свиты достигает 60 м.

Кампанский и маастрихтский ярусы

Гусевская серия

Гусевская серия, завершающая разрез меловых отложений, объединяет лозняковскую и калиновскую свиты кампана, воронцовскую и спасскую свиты маастрихта.

Лозняковская свита (K_2/lz) распространена повсеместно и несогласно залегает на отложениях славской серии. Представлена карбонатно-кремнистыми породами и мергелями серого и светло-серого цвета с прослоями алевроитов и темно-серых глин. По всему разрезу наблюдаются участки интенсивного окремнения. В подошве встречаются частые стяжения пирита и гравийные зерна кварца. Отложения свиты содержат органические остатки – зубы акул, фрагменты иноцерамусов, белемниты, отпечатки мшанок. Мощность свиты – до 100 м.

Калиновская свита (K_2kl) распространена повсеместно и согласно залегает на отложениях лозняковской свиты. Сложена серыми сильно алевроитистыми мергелями и глауконито-кварцевыми алевролитами. Встречаются гнезда сильно окремненных пород и конкреции пирита. По всему разрезу отмечаются чешуя рыб и зубы акул. Мощность свиты не превышает 50-60 м.

Воронцовская свита (K_2vr) распространена только в южной части площади и согласно перекрывает отложения калиновской свиты. Представлена серым с зеленоватым оттенком мергелем, сильно глинистым, с включением глауконито-кварцевого песка, с прослоями алевролитов. По всему слою свиты встречаются окремненные желваки. Мощность свиты не превышает 20-25 м.

Спаская свита (K_2sp) развита на юге изученной территории и согласно залегает на воронцовской свите. Сложена преимущественно алевролитами кварцево-глауконитового состава с карбонатным цементом. Встречаются прослои и гнезда тонкозернистого песка и алевролитов того же состава, а также включения окремненных алевролитов с опаловым цементом. Мощность свиты не превышает 30 м.

Кайнозойская эратема

Кайнозойские образования представлены осадками палеогена, неогена и квартера.

Палеогеновая система (Р)

Палеогеновые отложения развиты практически повсеместно, отсутствуют на Балтийской косе на площади развития погребенной долины. Представлены палеоценовыми, эоценовыми и олигоценовыми отложениями. Залегают они на размытой поверхности мела, и перекрываются, в основном, четвертичными образованиями. Представлены морскими мелководными, преимущественно мелко- и тонкообломочными породами, иногда слабо известковистыми [1].

Глубина залегания кровли палеогеновых пород изменяется от 20,6 м (скв. 22-1) до 137 м (скв. 158), абсолютные отметки от -10,7 м (скв. XXX) до -119,8 м (скв. 158). Погружение кровли наблюдается в юго-западном направлении. Мощность отложений составляет порядка 47-84,8 м, вблизи погребенной долины и под ее ложем, где они остались не размытыми, зафиксирована их минимальная мощность – 8,0 м (скв. 17).

Палеоцен

Зеландский ярус

Любавская свита (P_1lb) распространена в юго-восточной части рассматриваемой территории и залегает несогласно на верхнемеловых отложениях, местами выходит на дочетвертичную поверхность. Представлена зеленовато-серыми известковистыми глауконит-

кварцевыми песками и алевролитами, а также алевролитами с глинистым цементом. Обычно породы некарбонатные [25]. Мощность свиты – до 30 м.

Эоцен

Ипрский ярус

Самбийская свита (P_{2sm}) несогласно залегает на любавской свите, распространена практически повсеместно, местами выходит на дочетвертичную поверхность. Сформировалась она в раннем эоцене и сложена некарбонатными серыми и темно-серыми глинами и алевролитами, с гнездами окремненных пород и желваками фосфоритов. Отложения содержат богатую микрофлору. Мощность свиты – до 35 м.

Бартонский ярус

Алкская свита (P_2^{2al}) трансгрессивно перекрывает отложения палеоцена и нижнего эоцена. Имеет широкое распространение, отсутствует в местах выхода на дочетвертичную поверхность отложений самбийской свиты, а также отложений верхнего мела в пределах распространения погребенной долины. Сложена зеленовато-серыми глауконито-кварцевыми песками и алевролитами. Мощность свиты от 7 до 26,5 м [126].

Приабонский ярус

Прусская свита (P_2^{3pr}) развита на юге и севере рассматриваемой территории (в центральной части отсутствует), несогласно залегает на отложениях алкской свиты и сложена зеленовато-серыми глауконито-кварцевыми песками и алевролитами с обильными конкрециями фосфоритов в основании («дикая земля»), а вышезалегающие породы содержат включения янтаря, которые нередко образуют промышленные скопления («голубая земля») [43]. Мощность свиты колеблется в пределах 3-29 м.

Олигоцен

Рюпельский и хаттский ярусы

Пальвесская свита (P_3^{1pl}) имеет ограниченное развитие, в основном на западном побережье Калининградского полуострова, и несогласно перекрывает отложения прусской свиты. На Балтийской косе отсутствует. Сложена глауконит-кварцевыми глинистыми песками и алевролитами с обломками обуглившейся древесины с редкими включениями янтаря и желваковых фосфоритов. Отложения содержат зубы акул олигоцена. Максимальная мощность свиты 13 м.

Четвертичная система (Q)

Четвертичные отложения на описываемой территории развиты повсеместно. Залегают на палеогеновых, в местах размыва палеогеновых – на верхнемеловых отложениях. Наибольшая мощность зафиксирована на участке древней погребенной долины на Балтийской косе. Мощность четвертичных отложений обычно составляет 30-80 м, достигая

150-170 м в глубоких палеоврезах [29]. Мощность четвертичных отложений Балтийской косы по данным бурения меняется от 20,6 м (скв. 22-1) до 148 м (скв. 151) [127]. Представлены они образованиями нижнего, среднего и верхнего звеньев неоплейстоцена и голоцена.

Неоплейстоцен

Нижнее звено (Q_I)

Нижнее звено представлено литовским надгоризонтом. Эти отложения сохранились только в древних погребенных долинах. Залегают они на дочетвертичных породах и перекрываются отложениями среднего звена.

Литовский надгоризонт (It)

Надгоризонт представлен окским горизонтом.

Окский горизонт (Iok) в районе работ слагает погребенную долину, простирающуюся узкой полосой с юго-востока на северо-запад. Залегает на дочетвертичных отложениях, перекрывается отложениями трубайского горизонта или среднерусского надгоризонта. Максимальная мощность отмечается на юго-западе района в центральной части палеодолины.

Флювиогляциальные отложения (flok) представлены песками разнотерными, иногда глинистыми, часто с примесью гравия и гальки кристаллических и осадочных пород. Пески обычно буровато-серого и серого цвета, плохо сортированные. Эти отложения содержат до 40-60% гравия и до 10% гальки и 2-5% валунов. Залегают они на дочетвертичных отложениях, их мощность достигает 20 м.

Озерно-ледниковые отложения (lglok) представлены коричнево-серыми известковистыми ленточными глинами и суглинками, с тонкими прослойками и линзочками светло-серых песков и алевроитов. Мощность достигает 30 м.

Ледниковые образования (glok) залегают преимущественно на дочетвертичных породах, в рассматриваемом районе отсутствуют. Представлены тяжелыми валунными суглинками, реже - супесями с содержанием гальки и гравия до 25-40 %. Иногда в морене присутствуют прослои или гнезда плохо отсортированных песков. Встречаются отторженцы палеогеновых и меловых пород мощностью до 3,5 м. Мощность ледниковых образований достигает 30 м.

Среднее звено (Q_{II})

Среднее звено сложено трубайским горизонтом, представляющей отложения межледниковья, и среднерусским надгоризонтом.

Трубайский горизонт (IIItr). Отложения трубайского горизонта на рассматриваемой территории развиты весьма незначительно и располагаются во впадинах древних долин.

Залегают они на образованиях литовского надгоризонта и на дочетвертичных породах. Отложения трубайского горизонта представлены межледниковыми озерными образованиями, которые сложены обычно глинами и тонкозернистыми песками с включениями обугленных растительных остатков. Мощность отложений межледниковья не превышает 5,0 м.

Среднерусский надгоризонт (sr)

В составе надгоризонта выделяются три горизонта: вологодский, горкинский и московский.

Вологодский горизонт (IIvl) залегает на отложениях трубайского горизонта, литовского надгоризонта и дочетвертичных породах, а перекрывается горкинским горизонтом, а также московским горизонтом.

Ледниковые отложения (gIIvl) повсеместно распространены в юго-западной части Калининградского полуострова. Они представлены валунными суглинками, супесями и глинами. Содержание гравия и гальки до 20-30%. Мощность ледниковых отложений достигает 36 м.

Флювиогляциальные отложения (fIIvl) представлены песками разнозернистыми, плохосортированными, с примесью гравия и гальки кристаллических пород до 30 %. Мощность этих отложений достигает 20 м.

Озерно-ледниковые отложения (lgIIvl) представлены песками тонко- и мелкозернистыми и глинами ленточными. Мощность отложений достигает 15 м.

Горкинский горизонт (IIgk) представлен **озерными образованиями**, не имеет широкого распространения. Сложен тонко- и мелкозернистыми кварцевыми песками, часто хорошо сортированными, с прослоями глин. Мощность горизонта достигает 10 м.

Московский горизонт (IIms) представлен ледниковыми и водноледниковыми отложениями.

Ледниковые отложения (gIIms) имеют ограниченное распространение в центральной части, на остальной площади рассматриваемой территории отсутствуют. Представлены валунными суглинками и глинами, реже - супесями с включением гравия, гальки и валунов изверженных, метаморфических и осадочных пород до 20-30 %. В морене встречаются линзовидные прослои гравийных песков, а также отторженцы дочетвертичных пород. Мощность отложений изменяется от 4-7 м, достигая 14 м.

Флювиогляциальные и озерно-ледниковые отложения (f,lgIIms) залегают на одноименной морене, реже – на дочетвертичных породах. Отложения представлены песками, песками с примесью гравия и гальки и гравийно-галечными отложениями. Мощность этих отложений достигает 6 м.

Верхнее звено (Q_{III})

Валдайский надгоризонт (vd)

Надгоризонт представлен осташковским горизонтом.

Осташковский горизонт (IIIos) сложен озерно-ледниковыми и флювиогляциальными образованиями.

Озерно-ледниковые отложения (lgIIIos). Представлены коричневато-серыми ленточными глинами, суглинками и супесями, имеют широкое распространение. Они плащеобразно перекрывают моренные отложения, частично нивелируя неровности ледникового рельефа, чаще перекрывают водно-ледниковые отложения. Нижняя граница этих отложений метакронная [10]. Перекрываются ленточные глины осадками Балтийского ледникового озера. Мощность отложений во впадинах достигает 10 м.

Водно-ледниковые отложения (f,lgIIIos). Эти отложения имеют развитие в пределах краевых ледниковых образований и залегают на водно-ледниковых или моренных отложениях. Представлены они гравийными песками и супесями. Гравийные пески, как правило, плохо сортированные, полевошпат-кварцевые, с высоким (до 40%) содержанием гравия и гальки. Мощность этих отложений достигает 15 м.

Озерно-ледниковые отложения Балтийского ледникового озера (lgIIIos). Отложения Балтийского ледникового озера обладают широким распространением. Они залегают на озерно-ледниковых и моренных отложениях, а перекрываются различными слоями голоценового возраста. На суше представлены пестроцветными глинами от слабо- до высокопластичных, с неясно выраженной слоистостью, а также тонко- и мелкозернистыми кварцевыми песками. Пески могут перекрывать глины, но чаще залегают под ними.

Мощность этих отложений достигает 16 м.

Голоцен

Голоценовые отложения широко распространены на всей территории - в пределах понижений моренной и ледниково-озерной равнин и по долинам рек и представлены морскими, озерными, аллювиальными, эоловыми и болотными образованиями.

Озерные и морские отложения отмечаются на побережье Калининградского залива. Они представлены разноморскими, иногда глинистыми песками и супесями. Мощность обычно не превышает первых метров.

Морские отложения развиты фрагментарно, узкой полосой вдоль берега Калининградского залива. Представлены песками с обломками раковин, гравелитистыми песками с галькой, с прослоями глин, торфа, редко супесей. Отложения перекрыты эоловыми песками. Мощность – до 10 м.

Аллювиальные отложения представлены русловой, пойменной и старичной фациями. Русловой аллювий выполняет днища рек и слагает островки и косы. Породы - галечники, пески с галькой и гравием. Мощность их составляет от 0,5 м до 5 м. Пойменный аллювий слагает низкую пойму и верхнюю часть высокой поймы, представлен мелко- и тонкозернистыми песками с прослойками глин, его мощность может достигать 5-10 м. Формирование пойменных фаций продолжается и в настоящее время. В долинах рр. Преголя и Неман иногда встречаются старицы. Старичные фации – илистые супеси, реже - суглинки. Мощность аллювия до 15 м.

Озерные отложения в основном развиты в понижениях моренной и озерно-ледниковой равнин. Представлены иловатыми суглинками, гумусированными супесями, илами, сапропелем, известковистыми глинами и илистыми песками. Часто они слагают также основание торфяников и подстилаются ледниковыми отложениями куршской толщи. Мощность отложений достигает 10-15 м.

Эоловые отложения слагают дюны высотой от 3 до 15 м, которые развиты в основном на Балтийской косе, а также вдоль р. Неман, на дельтовой равнине и в междуречье рр. Неман и Шешупе, подстилаются морскими образованиями. Представлены мелко- и среднезернистыми песками, мощностью - до 20 м.

Болотные отложения распространены небольшими спорадическими участками по всей территории области, развиты в понижениях рельефа, залегают, преимущественно, на отложениях ошашковского горизонта. Болотные образования - торфа различной степени разложения, сформировавшиеся в болотах низинного типа. Мощность достигает 6 м.

Техногенные образования распространены локально. Прежде всего, к техногенным отложениям относится поле супесчаных отложений, закартированное к югу от пос. Янтарный. Образование этих осадков было связано со сбросами пульпы из карьера янтарного комбината. Шлейф осадочного материала, поступавшего при этом в море, прослеживался вплоть до польской части Вислинской косы. Однако, в настоящий момент, по-видимому, осадки этого поля в значительной мере перекрыты и входят в состав голоценовых волновых отложений.

К техногенным отложениям относятся и подводные свалки грунтов, в основном, перемещенных в ходе дноуглубительных работ. Техногенный материал использовался также при строительстве искусственного пляжа в Светлогорской бухте. В составе сбрасываемого грунта преобладали мелкие фракции песков и моренные суглинки.

В районе г. Балтийск формируют насыпные территории для портовых сооружений, дамбы морского канала. Из грунтов, изъятых при углублении и чистке Балтийского канала на выходе из него также образована свалка. Техногенные отложения на суше приурочены к

промышленным и жилым зонам городов, имеющих здесь длительную историю развития. Мощность техногенных отложений весьма изменчива и достигает 15 м.

2.2.3. Гидрогеологические условия территории работ

Описание гидрогеологических условий дается на основе главы Гидрогеология в Объяснительной записки к Государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист (N-34) – Калининград [22]. Гидрогеологическая стратификация основана на Легенде Калининградской серии листов Гидрогеологической карты России, утвержденной НРС МПР России при ВСЕГИНГЕО в 2000 г. [117].

Исследуемая территория приурочена к южной окраине Прибалтийского артезианского бассейна (ПАБ) в пределах центральной, наиболее погруженной для Калининградской области, части тектонической структуры I порядка – Балтийской синеклизы. Данная структура представляет собой глубокую впадину, заполненную мощным чехлом осадочных отложений, представляющего собой многослойную систему водоносных и водоупорных пластов разного возраста, начиная от пород венда и кембрия.

Разрез осадочного чехла Прибалтийского артезианского бассейна заканчивается четвертичной толщей, образовавшейся в процессе оледенений. В связи с последним обстоятельством, характерной особенностью этой части разреза является наличие густой сети троговых (погребенных) палеодолин – ледниковых образований, возникающих при продвижении ледников и последующем их отступлении [73]. В большинстве случаев, данные образования унаследовали и изменили (расширив и углубив) существовавшие в те времена речные долины. Такая палеодолина имеет свое развитие и в пределах исследуемого района работ.

Верхний гидрогеологический этаж данного гидрогеологического бассейна, выделяемый по литолого-гидродинамическим признакам, приурочен к зоне активного водообмена и связан с четвертичными, палеогеновыми и меловыми отложениями. Основной областью питания данного комплекса водоносных горизонтов в изучаемом районе служит западная часть Самбийской возвышенности, располагаемая в пределах Калининградского полуострова.

Ниже будут рассмотрены основные гидрогеологические подразделения верхнего гидрогеологического этажа (рис. 2.3-2.5).

Подземные воды четвертичных отложений

Четвертичный надморенный водоносный комплекс (III-Н) – безнапорный и включает водоносные техногенные, биогенные, морские, эоловые, озерные, озерно-ледниковые и флювиогляциальные отложения. Воды горизонта имеют тесную связь с источниками атмосферного питания и поверхностными водами Калининградского и

Гданьского заливов. Удельные дебиты 0,01-4,5 л/с. Мощность горизонта варьирует по площади района работ от первых метров до 52 м (скв. 35). Горизонт представлен мелко- и тонкозернистыми песками с обломками раковин, гравием и галькой, прослоями глин и торфа, супесями, ленточными глинами, песчано-гравийными отложениями. Горизонт залегает на отложениях вологодско-московского межморенного горизонта, за исключением участков спорадического распространения московского относительно водоупорного ледникового горизонта

Московский относительно водоупорный ледниковый горизонт (gIIms) имеет спорадическое распространение в центральной части, на остальной площади рассматриваемой территории отсутствует. Залегает на вологодско-московском межморенном водоносном горизонте. Перекрывается надморенным водоносным комплексом. Представлен валунными суглинками с прослоями и линзами разномзернистых песков и ленточных глин. Мощность горизонта изменяется от 4-7 м до 14 м.

Вологодско-московский межморенный водоносный горизонт (f,lgIIvl-ms) имеет повсеместное распространение. Залегает на вологодском относительно водоупорном горизонте. Перекрывается преимущественно отложениями надморенного водоносного комплекса, на локальных участках - отложениями московской морены. Водовмещающие породы представлены разномзернистыми песками, на локальных участках до 10-15 м представлен пылеватыми песками с суглинком. Мощность водоносного горизонта изменяется от 4 м (скв. 35) до 54 м (скв. 6). Горизонт напорный на СВ, СЗ и ЮЗ, пьезометрический уровень имеет отметки 0,3-5 м. На остальной территории горизонт безнапорный. Уровень грунтовых вод устанавливается на глубине 0,9-11 м. Водообильность довольно пестрая, зависит от мощности и литологического состава. Удельные дебиты скважин в районе работ составляют порядка 0,08-0,6 л/с. Воды гидрокарбонатные кальциевые, реже кальциево-магниевого, пресные с минерализацией 0,2-0,6 г/дм³. Воды мягкие и умеренно-мягкие.

Питание горизонта осуществляется путем инфильтрации атмосферных осадков, а также за счет естественного потока из области питания, разгрузка осуществляется Балтийским морем. В районе исследования подземные воды данного горизонта используются крайне редко, в виду наличия гидравлической связи с поверхностными водами.

Вологодский относительно водоупорный горизонт (gIIvl) повсеместно распространен в юго-западной части Калининградского полуострова. Залегает на среднепалеогеновом алтском водоносном горизонте, в местах распространения погребенной долины — на окско-вологодском межморенном водоносном горизонте, перекрывается вологодско-московским водоносным горизонтом. Мощность горизонта колеблется в

широких пределах от 4 м (скв. 6) до 56 м (скв. 198). Увеличение мощности связано, как правило, с отрицательными формами палеорельефа. Горизонт представлен плотными моренными суглинками и глинами, в толще которых нередко встречаются супеси с содержанием до 20-30 % гравия и гальки.

Окско-вологодский межморенный водоносный горизонт (*f, IgIok-IIvI*) в районе работ слагает погребенную долину, простирающуюся узкой полосой с юго-востока на северо-запад. Залегает на палеогеновых отложениях, на участках размыва палеогена в подошве горизонта вскрываются верхнемеловые отложения. Перекрывается вологодским относительно водоупорным горизонтом. Глубина залегания изменяется от 17 до 93 м. Абсолютные отметки кровли - 13 м – - 81 м. Мощность горизонта от 3 м до 65 м. Максимальная мощность зафиксирована на юго-западе района работ в центральной части палеодолины. Мощность уменьшается к бортам до 4-8,5 м. Водовмещающие породы представлены разнотернистыми песками с гравием и галькой до 20%, местами в разрезе долины могут залегать суглинки и глины. Отложения горизонта замещают среднепалеогеновые пески алкской свиты. Водоносный горизонт напорный. Величина напора изменяется от 11 м до 60 м. Пьезометрический уровень устанавливается на глубине 1 – -29 м, на абсолютных отметках 4 м – -20 м. Удельные дебит около 1 л/с. Воды пресные со средней минерализацией 0,1-0,7 г/дм³. Данные режимных наблюдений свидетельствуют об увеличении минерализации подземных вод в различные годы до 1,3 и 2,8 г/дм³ от первоначальной – 0,15 г/дм³. По химическому составу гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-натриевые и магниевые, реже гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-натриевые. Хлоридный состав и повышенная минерализация подземных вод окско-вологодского водоносного горизонта обусловлены подтягиванием слабосоленоватых вод залива.

Питание водоносного горизонта осуществляется путем перетекания из ниже- и вышележащих смежных водоносных горизонтов и за счет естественного потока из области питания, расположенной на Самбийском плато. Разгрузка осуществляется в Балтийское море. Воды горизонта используются для водоснабжения отдельных населенных пунктов, а также служат одним из основных источников централизованного водоснабжения г. Балтийска.

Подземные воды дочетвертичных отложений

Среднепалеогеновый прусский водоносный горизонт (*P_{2pr}*) распространен на севере района и отдельными участками на юге. В центральной части площади исследования отсутствует. Представлен разнотернистыми алевритово-глинистыми песками, в подошве – плотными глинистыми алевритами. Мощность горизонта от 3 до 29 м. Глубина кровли

колеблется от 25 до 61 м. Напор достигает 26 м. Пьезометрический уровень устанавливается на глубине +0,3 м. Удельный дебит 0,67 л/с. Воды гидрокарбонатные, реже хлоридно-гидрокарбонатные кальциево-магниевого, натриево-кальциевого с минерализацией 0,2-0,4 г/дм³. В районе проведения работ для водоснабжения не используется.

Среднепалеогеновый алкский водоносный горизонт (P_{2al}) имеет широкое распространение на данной территории, и отсутствует лишь на площади развития окско-вологодского межморенного водоносного горизонта в пределах погребенной долины в пределах Балтийской косы, а также под акваторией заливов. Залегают среднепалеогеновый алкский водоносный горизонт под слабопроницаемыми относительно водоупорными глинами, суглинками и супесями вологодского возраста, реже под разнотерными глинистыми песками прусского горизонта. Подстилается среднепалеогеновым самбийским водоупорным горизонтом. Представлен мелко-, либо среднетерными песками с прослоями алевроитов. Мощность горизонта изменяется в пределах 7-26,5 м. Глубина залегания колеблется от 5 до 137 м. Абсолютные отметки кровли минус 0,8 – минус 120 м. Кровля погружается с северо-востока на юго-запад. Водовмещающими породами являются мелко- и среднетерные пески.

Среднепалеогеновый алкский горизонт напорный, статические уровни зафиксированы на глубинах от 2 до 28 м ниже поверхности земли (в среднем 14-16 м). Движение подземного потока юго-западное. Удельные дебиты изменяются от 0,08 до 5,6 л/с, коэффициент фильтрации 0,03-26 м/сут. Воды пресные с минерализацией 0,2-0,7 г/дм³, умеренно-жесткие до жестких. По химическому составу гидрокарбонатные кальциево-натриевые, реже гидрокарбонатно-хлоридные кальциевые.

Питание горизонта осуществляется путем перетекания вод из вышележащих четвертичных горизонтов и за счет естественного потока из области питания (район Самбийской возвышенности). Разгрузка осуществляется Балтийским морем.

Воды горизонта используются для централизованного водоснабжения г. Балтийска.

Средне-нижнепалеогеновый водоупорный горизонт ($P_{2sm}+P_1$) имеет практически повсеместное распространение, размыт лишь на участках максимального врезания погребенной долины. Залегают под среднепалеогеновым алкским водоносным горизонтом, подстилается меловыми отложениями. Представлен глинами, алевроитами и алевролитами. Глубина залегания кровли горизонта составляет 33-160 м, абсолютные отметки кровли -30 – -117 м. Мощность горизонта изменяется от 0 м (в районе врезания) до 65 м.

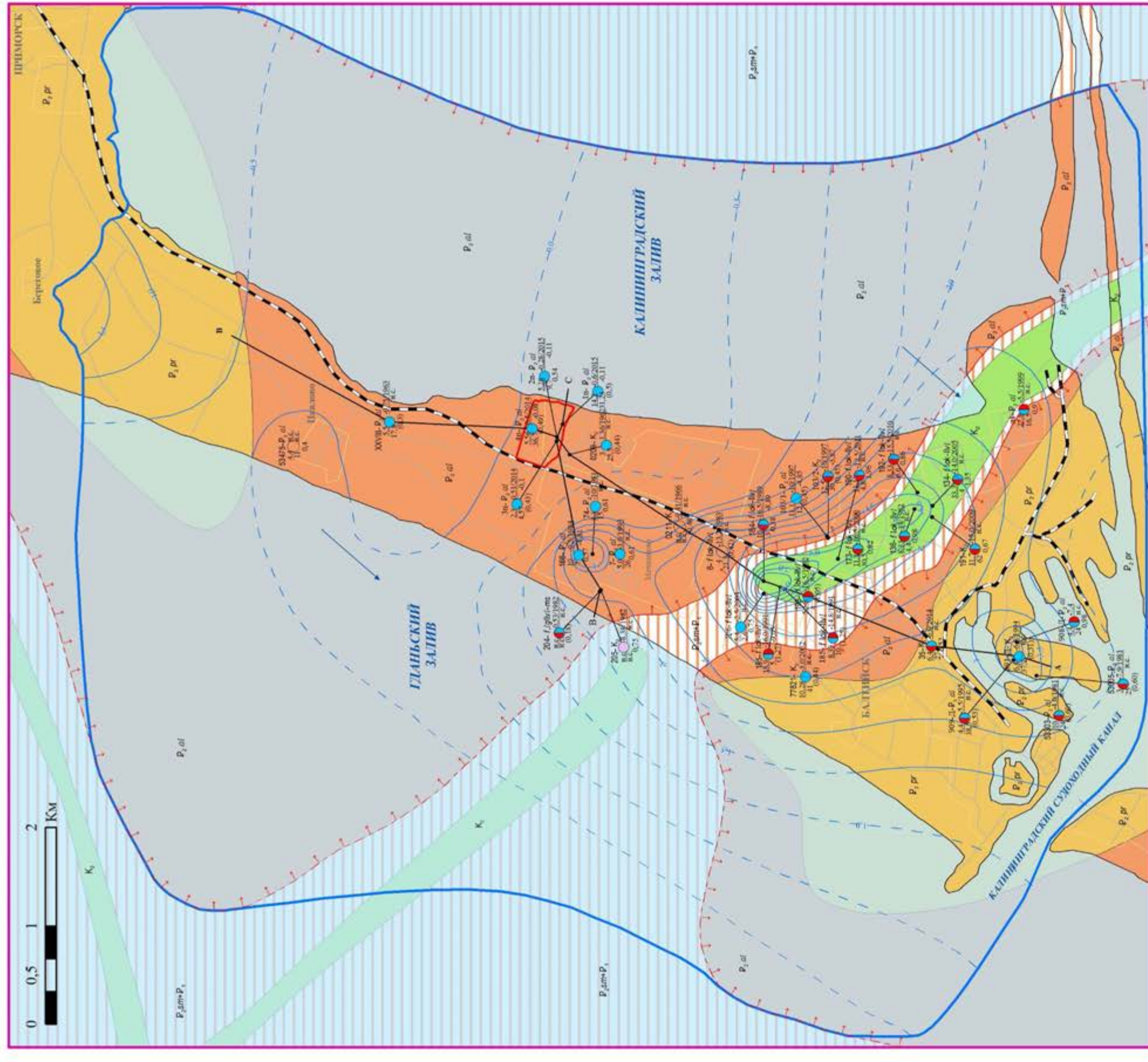
Верхнемеловой водоносный горизонт (K_2) залегает под среднепалеогеновым самбийским водоупорным горизонтом, на участках развития погребенной долины – под окско-вологодским водоносным горизонтом. Подстилается верхнемеловым водоупорным

горизонтом. Глубина залегания кровли горизонта составляет 89-166 м, в местах глубоких врезов четвертичных отложений доходит до 202 м, абсолютные отметки -73 – -163 м. Мощность около 172 м. Водовмещающими породами являются трещиноватые мергели и алевроиты.

Горизонт содержит напорные воды с величиной напора 105-156 м. Пьезометрический уровень устанавливается на глубине от 9 до 28 м на абсолютных отметках -0,5 – -12 м. Удельный дебит изменяется в пределах 0,001-0,56 л/с. Воды пресные с минерализацией 0,3-0,7 г/дм³. По химическому составу гидрокарбонатно-хлоридные и гидрокарбонатные натриевые, натриево-кальциевые и кальциево-натриевые, жесткие. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет перетекания из вышележащих водоносных горизонтов и подтока из области питания. Подземные воды горизонта используются для водоснабжения г. Балтийска.

Верхнемеловой водоупорный горизонт (K₂) представлен алевролитами. Залегают под верхнемеловым водоносным горизонтом, подстилается сеноманско-нижнемеловым водоносным комплексом. Глубина залегания 208-222 м, абсолютные отметки кровли -198 – -215 м. Мощность около 68 м. Предполагаемая граница между пресными и солоноватыми водами проходит по кровле горизонта на глубине около 220 м.

Сеноманско-нижнемеловой водоносный комплекс (K_{2ст}-K₁) приурочен к нижней песчаной пачке верхнего мела мощностью 30 м и более и к толще песков и песчаников нижнего мела мощностью 20 м и более. Водовмещающие породы представлены песками и песчаниками. Граница между верхним и нижним мелом проходит по «фосфоритовой плите» - черным разнотернистым песчаникам. Глубина залегания кровли около 273 м, абсолютная отметка -263 м. Дебит скважины 0,4 л/с при понижении 9 м, удельный дебит составил 0,04 л/с. Воды солоноватые с минерализацией 3,8 г/дм³. По химическому составу воды хлоридные натриевые. Для водоснабжения не используется.



Условные обозначения

I. Гидрогеологические подразделения, распространённые по площади

- Среднепалеогеновый прусский водоносный горизонт
- Разнозернистые глинистые пески и алевроиты
- Среднепалеогеновый алеский водоносный горизонт
- Мелко- и среднезернистые пески, алевроиты
- Средне-нижнепалеогеновый водоупорный горизонт
- Глины, плотные алевроиты
- Верхнемеловой водоносный горизонт
- Трешиноватые мергели и алевроиты
- Контур распространения среднепалеогенового алеского водоносного горизонта
- То же, по предположению

II. Водопункты

Гидрогеологическая скважина. Вверху: номер скважины и индекс опробованного водоносного горизонта. Слева: в числителе - дебит, л/с; в знаменателе - понижение, м. Справа: в числителе - абсолютная отметка уровня на год бурения, м. в знаменателе - тоже в 2016 г. Внизу - минерализация, г/дм³

III. Химический тип воды в водопунктах:

- гидрокарбонатный
- хлоридно-гидрокарбонатный
- гидрокарбонатно-хлоридный
- смешанный

IV. Движение подземных вод на 2016 год

- Гидроизолызы среднепалеогенового алеского водоносного горизонта
- То же, по предположению

V. Прочие обозначения

- Линия гидрогеологического разреза
- Граница участка "Восточная Грива"
- Граница области моделирования
- Активная область модели

Рисунок 2.4. Гидрогеологическая карта дочетвертичных отложений

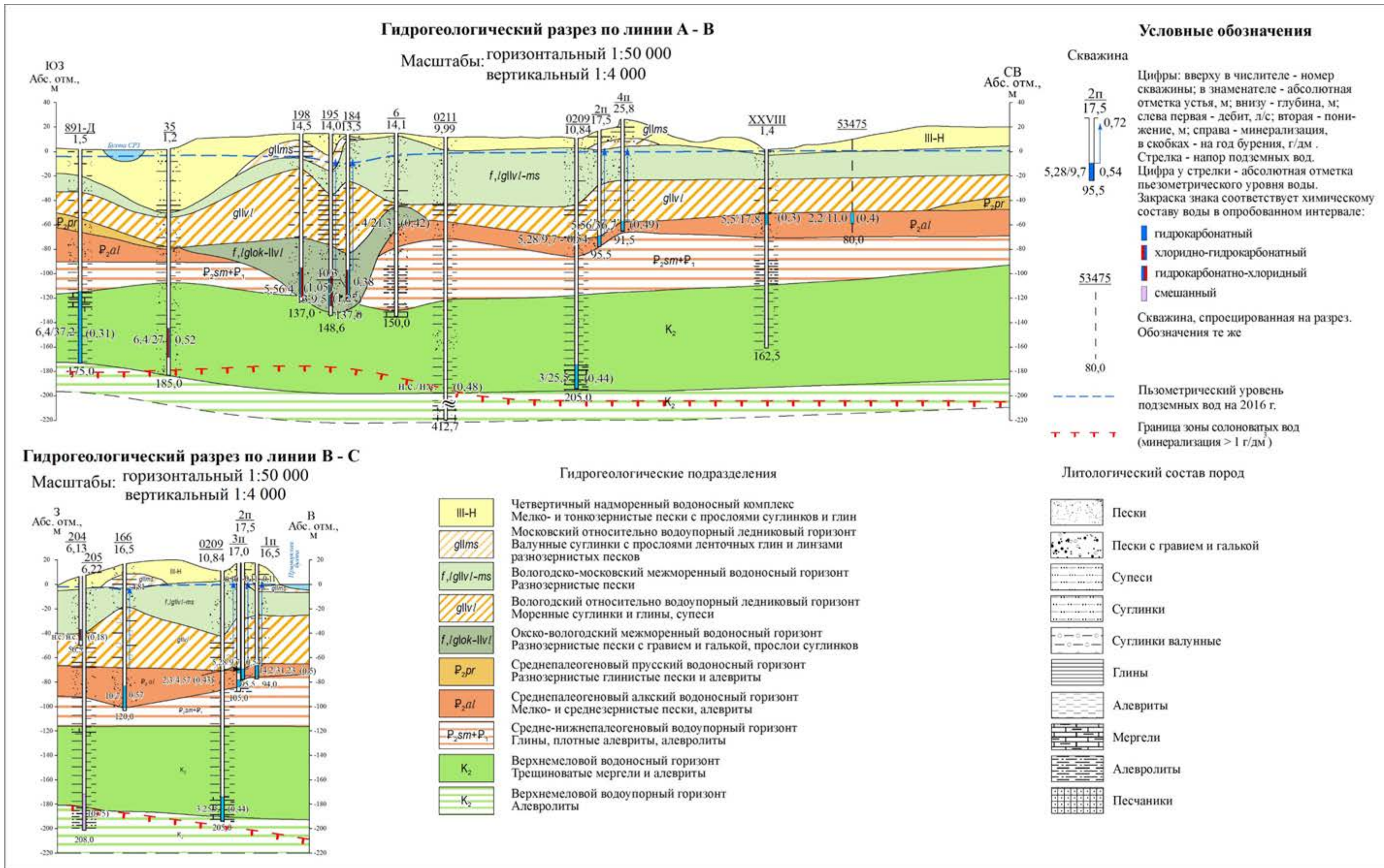


Рисунок 2.5. Гидрогеологические разрезы

2.3. Выводы к главе 2

Анализ физико-географических, геологических и гидрогеологических условий позволил получить полную картину природной гидрогеологической модели Балтийской косы и определить границы изучаемой области в плане и разрезе.

Наиболее освоенной частью района, где наблюдается наибольший дефицит пресных подземных вод, является территория г. Балтийска, расположенная на узкой косе, шириной не более 2 км. Данный участок суши омывается с трех сторон водами Балтийского моря, что создает предпосылки подтягивания некондиционных морских вод к многочисленным водозаборным сооружениям на территории города. С запада рассматриваемый район омывается водами Гданьского залива, с востока – Калининградского, с юга территорию города ограничивает Калининградский судоходный канал.

Мощность развития зоны пресных подземных вод составляет порядка 100-150 м, что позволяет ограничить область исследования в разрезе от четвертичных до верхнемеловых отложений. Основными ограничением в плане являются зоны выклинивания среднепалеогеновых отложений в пределах морской акватории на западе и на востоке территории.

Гидрогеологические условия осложнены наличием древней погребенной долиной, прорезающей с юго-востока на северо-запад Балтийскую косу и уходящую в Балтийское море. Долина прорезает четвертичные и палеогеновые отложения, что обуславливает наличие гидравлической связи между среднепалеогеновым водоносным горизонтом и межморенным окско-вологодским водоносным горизонтом.

3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ

На территории исследования пресные подземные воды, приуроченные к верхним водоносным горизонтам (интервал 0-150 м), в основном, имеют стабильным химический состав и минерализацию. Они чаще всего гидрокарбонатные кальциевые, магниевые-кальциевые или натриево-кальциевые, минерализация колеблется в пределах 0,3-0,6 мг/дм³.

По своему качественному составу пресные подземные воды различных водоносных горизонтов в естественных условиях имеют незначительные отличия. Но при эксплуатации подземных вод, возможны изменения показателей их качества (хлориды, минерализация и др.), что наблюдается на водозаборах г. Балтийска.

Детальный анализ опубликованных и фондовых материалов показал, что причинами ухудшения показателей качества подземных вод на территории Калининградской области, в частности это касается концентрации хлоридов и величины минерализации, могут служить следующие обстоятельства:

1. техногенное загрязнение подземных вод в результате утечки стоков промышленных предприятий, свалок твердых бытовых отходов, птицефабрик и др. [27, 36, 116];

2. нарушение профильной (в разрезе) природной гидрохимической зональности, когда в результате интенсивного водоотбора, граница солоноватых вод, находящихся в подошве пласта, может смещаться выше. Подобные случаи неоднократно фиксировались в ряде районов Калининградской области и доказаны опытом эксплуатации крупных групповых водозаборов [39, 46, 116, 122];

3. интрузия морских вод в эксплуатируемые водоносные горизонты, чаще всего возникающая из-за интенсивного водоотбора, приводящего к значительному снижению уровня подземных вод и захвату морских вод областью питания водозаборов в прибрежных районах [40, 74, 82, 118, 124, 126, 127].

Следовательно, изучение закономерностей формирования подземных вод района исследования должно базироваться на тщательном анализе эколого-гидрогеологической обстановки, гидродинамического и гидрохимического режимов подземных и поверхностных вод района.

3.1. Характеристика существующего водоотбора

3.1.1. Централизованный водозабор г. Балтийска

Водоснабжения г. Балтийска организовано за счет подземных вод посредством буровых скважин. На территории города имеются три водопроводные насосные станции – ВНС-1, ВНС-2, ВНС-3 и четыре повысительные насосные станции – ПНС. В городе существует трехзональная система водоснабжения.

Первая зона. ВНС-1 начала работу до 1945 года, является станцией подкачки в часы максимального водоотбора. В настоящее время ВНС замыкает четыре скважины, из которых три по различным причинам остановлены и требуют ремонта (скв. №№ 1097д/2, П-10786/65 и 193). Вода из скважины № 35 поступает в резервуар чистой воды объемом 600 м³. Скважины эксплуатируют верхнемеловой водоносный горизонт (интервал 145-170 м).

ВНС-1 расположена с южной стороны погребенной долины, где ввиду неконтролируемого интенсивного водоотбора (1964-1991) произошло ухудшение качественного состава подземных вод среднепалеогенового горизонта.

Конструкция скважины № 35 предусматривает надежную изоляцию горизонта, в результате чего на протяжении длительного периода (1945-2016 г.) не наблюдается изменений химического состава воды. Вода пресная, по основным показателям отвечает требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 [62], гидрокарбонатно-кальциевого состава, с минерализацией 0,45-0,53 г/дм³. Отмечается повышенное содержание железа (0,7-1,7 мг/дм³). Мутность достигает значений 197 - 6,3 ЕМФ.

ВНС-2 – это головное водозаборное сооружение, замыкающее 16 скважин. Действует с 1963 года. Вода из скважин поступает в сборный резервуар емкостью 500 м³, откуда забирается насосами и подается на очистку на станцию обезжелезивания проектной производительностью 10000 м³/сут. После очистки вода поступает в два резервуара чистой воды по 1000 м³ каждый и далее насосами – потребителям. Эксплуатационными водоносными горизонтами являются:

окско-вологодский – скважины 894д/6; П-69799/185; П-63845/173; 139/139; 190(АРС)/190; П-77639/192; 134/134; 066-1663/136;

верхнемеловой — скважина 191/191;

Ряд скважин в настоящее время по различным причинам остановлен, скважины требуют ремонта. По экономическим причинам до настоящего времени ремонт не был выполнен. К ним относятся скважины П-77626/195; П-69963/187; П-69962/184; П-69960/182; П-77782/198; 103/І/103/1; 103/ІІ/103/2; 3/3.

Скважины, замкнутые на ВНС-2, территориально расположены в пределах единой геологической структуры - погребенной долины.

Гидрохимические условия окско-вологодского горизонта сложные. В пяти из девяти скважин, вода пресная с минерализацией 0,5-0,9 г/дм³, гидрокарбонатно-кальциевого состава. В 2016 г. в ряде скважин (185, 190, 134, 136) была отмечена повышенная минерализация до 1 - 1,96 г/дм³ с одновременным увеличением жесткости, содержания хлоридов, железа и изменением состава воды гидрокарбонатного кальциевого на хлоридный кальциевый. В остальных скважинах по основным показателям химический состав воды

отвечает требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01, кроме железа, предельное содержание которого достигает $5,0 \text{ мг/дм}^3$. В целом после водоподготовки на ВНС-2 подаваемая в город вода соответствует установленным нормативам.

Обе станции (ВНС-1 и ВНС-2) оборудованы приборами для измерения расхода и давления воды, подаваемой в город. В отдельных микрорайонах города расположены 4 повысительные насосные станции для обеспечения водоснабжения многоэтажных жилых домов.

Вторая зона. Жилой район Мечниково расположен в северной части города и имеет автономное водоснабжение посредством ВНС-3, которая расположена в центральной части района и введена в действие в 1983 году. Станция оборудована манометрами и замыкает три скважины (П-53302/74, П-33345/7, П-59822/166), оборудованные на среднепалеогеновый алкский водоносный горизонт (интервал 82-120 м). Скважины П-59822/166 и П-33345/7 в настоящее время являются наблюдательными.

Третья зона. Жилой район Коса, отделенный от города Калининградским судоходным каналом, и имеет автономное водоснабжение. Вода подается непосредственно из артезианской скважины А-7764/3, оборудованной на среднепалеогеновый алкский водоносный горизонт (интервал 68-78 м).

Поселки Дивное и Цветное, расположенные севернее г. Приморска, водоснабжаются автономно. Вода подается непосредственно из артезианских скважин.

Эксплуатацию водозабора осуществляет МУП «Балтвода» МО городского поселения Города Балтийска. В таблице 3.1 приведены основные данные по действующим скважинам.

Основные данные по действующим скважинам

Таблица 3.1.

№ скв по паспорту	Год бурения Глубина, м	Каптированный водоносный горизонт	Глубина уровня воды на год бурения, м	Марка насоса Глубина загрузки, м	Средний водоотбор 2014-2016 г, м ³ /сут
ВНС-1					
35/1/35	<u>2014</u> 172	K ₂	10	<u>ЭЦВ 8-25-100</u> н.с.	362,4
ВНС-2					
894д/6	<u>2004</u> 131	f, lgIok-IIvl	32,5	<u>ЭЦВ 6-16-140</u> 62	845,6
139/139	<u>1997</u> 142	f, lgIok-IIvl	32	<u>ЭЦВ 8-25-100</u> 69	955,8
П-69779/185	<u>1989</u> 147	f, lgIok-IIvl	32	<u>ЭЦВ 6-25-140</u> 72	905,2
190(АРС)/190	<u>2011</u> 122	f, lgIok-IIvl	24	<u>ЭЦВ 8-25-100</u> 62	528,6
134/134	<u>2005</u> 122	f, lgIok-IIvl	19	<u>Grundfos</u> 55	1233,3
066-1663/136	<u>2014</u> 121	f, lgIok-IIvl	16,9	<u>Franklin</u> 55	718,7

№ скв по паспорту	Год бурения Глубина, м	Каптированный водоносный горизонт	Глубина уровня воды на год бурения, м	Марка насоса Глубина загрузки, м	Средний водоотбор 2014-2016 г, м ³ /сут
П-63845/173	<u>2014</u> 125	f, lgIok-IIvl	29,5	<u>Grundfos</u> 60	730,2
191/191	<u>2009</u> 170	K ₂	23	<u>ЭЦВ 8-25-100</u> 62	301,8
77639/192	<u>2010</u> 121	f, lgIok-IIvl	22	<u>ЭЦВ 8-25-100</u> 40	507,2
ВНС-3					
П-53302/74	<u>1981</u> 116	P _{2al}	34	<u>ЭЦВ 6-10-110</u> 84	705,8
п. Коса					
A-7764/3	<u>2001</u> 89	P _{2al}	7,0	Colpeda	18,0
п. Дивное					
526bis/1	<u>1990</u> 90	P _{2al}	15,0	<u>ЭЦВ 6-10-110</u> 30	384,0
1971/2	<u>1980</u> 87	P _{2al}	8,0	<u>ЭЦВ 6-10-110</u> 35	240,0
п. Цветное					
1цв	<u>1989</u> 74	P _{2al}	0	<u>ЭЦВ 6-10-110</u> 50	288,0

3.1.2. Ведомственные водозаборы г. Балтийска

В пределах г. Балтийска существует ряд предприятий, имеющих собственные водозаборные скважины для удовлетворения своих производственных и хозяйственно-питьевых нужд. Часть водозаборов курируется службой МИС Балтийского флота. Это водозаборы: в/г № 22 (скв. 8201), в/г № 5 (скв. 8205), в/г № 8 (скв. 8210), в/г № 10 (скв. 8211) и в/г № 4 (скв. 8206, 8207, 8208 и 8209). А также, скважины 8108, 8204, 8202 и 8203 находящиеся на территории военных городков в районе п. Береговое, полигона Хмелевка и п. Парусное соответственно.

Информация по данным скважинам носит отрывочный характер. Ответ на запрос о предоставлении материалов из штаба Балтийского флота не поступил. Тем не менее, согласно лицензии КЛГ 02373 ВЭ от 22 февраля 2013 г., разрешенный водоотбор из среднепалеогенового водоносного горизонта составляет 490,26 м³/сут, из вологодско-московского – 241,47 м³/сут.

Водоотбор из скважины № 53475 в районе Павлово составляет 480 м³/сут. (данные получены во время эколого-гидрогеологического обследования участка работ в 2014-2015 гг.)

Другая часть, это водозаборы принадлежащие предприятиям города: АО «Судоремонтный завод №33» (скв. №№ 53005, 908-Д, 909-Д), и АО «Балтийский хлеб» (скв. 77821). Информация о существующем водоотборе данными предприятиями предоставлена не была, в связи с чем, в отчете использованы данные из лицензий на право пользования недрами. Согласно лицензии КЛГ 02497 ВЭ, выданной АО «СРЗ 33»,

разрешенный водоотбор из среднепалеогенового водоносного горизонта составляет 1685,88 м³/сут. Согласно лицензии КЛГ 01981 ВЭ, выданной АО «Балтийский Хлеб», разрешенный водоотбор из среднепалеогенового водоносного горизонта составляет 64 м³/сут.

В таблице 3.2 приведены основные данные по действующим скважинам ведомственных водозаборов.

Основные данные по действующим скважинам

Таблица 3.2.

№ скв. по паспорту	Год бурения Глубина, м	Каптивированный водоносный горизонт	Глубина уровня воды на год бурения, м	Марка насоса Глубина загрузки, м	Сведения о водоотборе из скважин, м³/сут
МИС Балтийского флота					
8201	-	P_{2al}	-	-	81,71*
8202	-	f,lgIIvl-ms	-	-	40,245*
8203	-	f,lgIIvl-ms	-	-	40,245*
8204	-	f,lgIIvl-ms	-	-	40,245*
8205	-	f,lgIIvl-ms	-	-	40,245*
8206	-	P_{2al}	-	-	81,71*
8207	-	P_{2al}	-	-	81,71*
8208	-	P_{2al}	-	-	81,71*
8209	-	P_{2al}	-	-	81,71*
8210	-	f,lgIIvl-ms	-	-	40,245*
8211	-	f,lgIIvl-ms	-	-	40,245*
8108	-	P_{2al}	-	-	81,71*
Военный госпиталь					
53475	$\frac{1981}{80}$	P_{2al}	18	н.с.	480,0
АО «Судоремонтный завод №33»					
53005	$\frac{1981}{85}$	P_{2al}	10	н.с.	552,96*
909-Д	$\frac{1995}{130}$	P_{2al}	7	н.с.	552,96*
908-Д	$\frac{1995}{130}$	P_{2al}	8,9	н.с.	552,96*
АО «Балтийский хлеб»					
77821	$\frac{2002}{92}$	K_2	23	$\frac{н.с.}{55}$	64,0

*Ввиду отсутствия информации о распределении водоотбора по скважинам, величина лицензионного водоотбора пропорционально разделена на количество скважин, указанных в лицензии.

3.2. Характеристика гидродинамического режима

В формировании подземных вод Балтийской косы в основном принимают участие атмосферные осадки, частично подземные воды питаются за счет подземного стока со стороны Самбийской возвышенности и привлекаемых ресурсов из морских заливов.

По данным метеостанции № 26701 в г. Балтийске среднемноголетнее количество осадков за период с 1964 по 2016 гг. составило 649 мм/год с минимумом 403 мм/год (1976 г.) и максимумом – 988 мм/год (1970 г.). За период проведения режимных наблюдений с 2014 по 2016 год среднегодовая сумма осадков составила 443 мм/год.

Питание подземных вод за счет инфильтрации осадков происходит по всей площади. Коэффициент подземного стока, в среднем для рассматриваемого района составляет 10-15% (по опыту работ в Северо-Западном регионе). Таким образом, можно обозначить диапазон изменения величины инфильтрационного питания подземных вод Балтийской косы от 0,000110 до 0,000406 м/сут (в среднем 0,000267 м/сут).

Характеристика гидродинамического режима дается на основании анализа режимных наблюдений за уровнем подземных вод межморенного вологодско-московского, межморенного окско-вологодского, среднепалеогенового алкского и верхнемелового водоносных горизонтов организованного автором с 2014 по 2016 г. на территории исследования [125]. Замеры уровня производились уровнемером УСК-2ТЭ-100 с периодичностью один раз в 5 дней. Результаты замеров заносились наблюдателем в журналы, после обработки которых, были построены соответствующие графики (рис 3.1).

Следует отметить, что в пределах поисковой площади отсутствуют режимные скважины государственной мониторинговой сети, где проводились бы систематические замеры уровней подземных вод. Предприятием МУП «Балтвода» режимных наблюдений за ходом уровня подземных вод в собственных скважинах также не производится. Таким образом, проведенные режимные наблюдения являются единственным источником информации о естественных колебаниях уровней изучаемых водоносных горизонтов.

На графике приведены данные за период режимных наблюдений по среднемесячному водоотбору на участках ВНС-1, ВНС-2 и ВНС-3 (суммарно).

Также в работе была использована информация о среднесуточном положении уровня воды на гидропосте МГ-1 Балтийск (данные по гидропосту МГП Краснофлотское использованы не были, ввиду значительной удаленности последнего от площади проведения работ ~17 км). Данные о положении уровней поверхностных вод в морских заливах предоставило Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [125].

Результаты анализа режимных наблюдений показывают, что средняя амплитуда колебания уровня за весь период наблюдений в среднепалеогенового алкском водоносном горизонте (скважины 3п, 4п, 103/1 и 166) составляет 1,53 м, в вологодско-московском межморенном водоносном горизонте (скважины 3ч, 3п) – 0,33 м, в окско-вологодском межморенном водоносном горизонте (скважины 195, 184) – 2,08 м, в верхнемеловом водоносном горизонте (скважина 103/2) – 0,78 м.

В целом за период наблюдений по скважинам на фоне нарушенного режима (многочисленные эксплуатационные скважины), меженные отметки наблюдаются в сезоны года с минимальным количеством осадков, паводковые отметки уровней подземных вод

наблюдаются в периоды с максимальным количеством выпадающих осадков. Также следует отметить общую тенденцию восстановления уровней, которая прослеживается не только за период режимных наблюдений, но и при анализе архивной информации по уровням подземных вод в скважинах, пробуренных в районе работ в различные годы [124, 126, 127].

3.3. Характеристика качества подземных вод

В рамках исследования было проведено изучение качественного состава подземных вод как перспективного среднепалеогенового алкского водоносного горизонта, так и залегающего выше по разрезу – вологодско-московского межморенного водоносного горизонта на основании анализов, отобранных из вновь пробуренных скважин. Помимо этого, отбирались пробы воды в процессе обследования и режимных наблюдений из скважин, каптирующих окско-вологодский и меловой водоносный горизонты.

Подземные воды были детально изучены на соответствие требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 [62], ГН 2.1.5.1315-03 [13], СанПиН 2.6.1.2523-09 [63]. Отбор проб воды осуществлялся в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51592-2000 «Вода общие требования к отбору проб» и ИСО 5667/3-85 «Качество воды. Отбор проб. Руководство по хранению и обработке проб» [21]. Пробы воды отобраны автором в 2014 г. – 2016 г. в процессе проведения полевых работ.

Всего на исследуемой территории из вологодско-московского водоносного горизонта было отобрано 5 проб на полный химический анализ, 2 пробы на сокращенный химический анализ, 5 проб на радиологический анализ, 6 проб на бактериологические исследования. Из окско-вологодского водоносного горизонта было 3 пробы на полный химический анализ, 2 на сокращенный химический анализ, 1 проба на радиологический анализ и 2 пробы на бактериологический анализ. Из среднепалеогенового алкского водоносного горизонта было отобрано 8 проб на полный химический анализ, 18 проб на сокращенный химический анализ, 10 проб на радиологический анализ и 12 проб на бактериологический анализ. Анализы выполнялись по установленным методикам в аккредитованной лаборатории – ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Калининградской области». Объем выполненных анализов является достаточным для характеристики гидрогеологических подразделений района исследования.

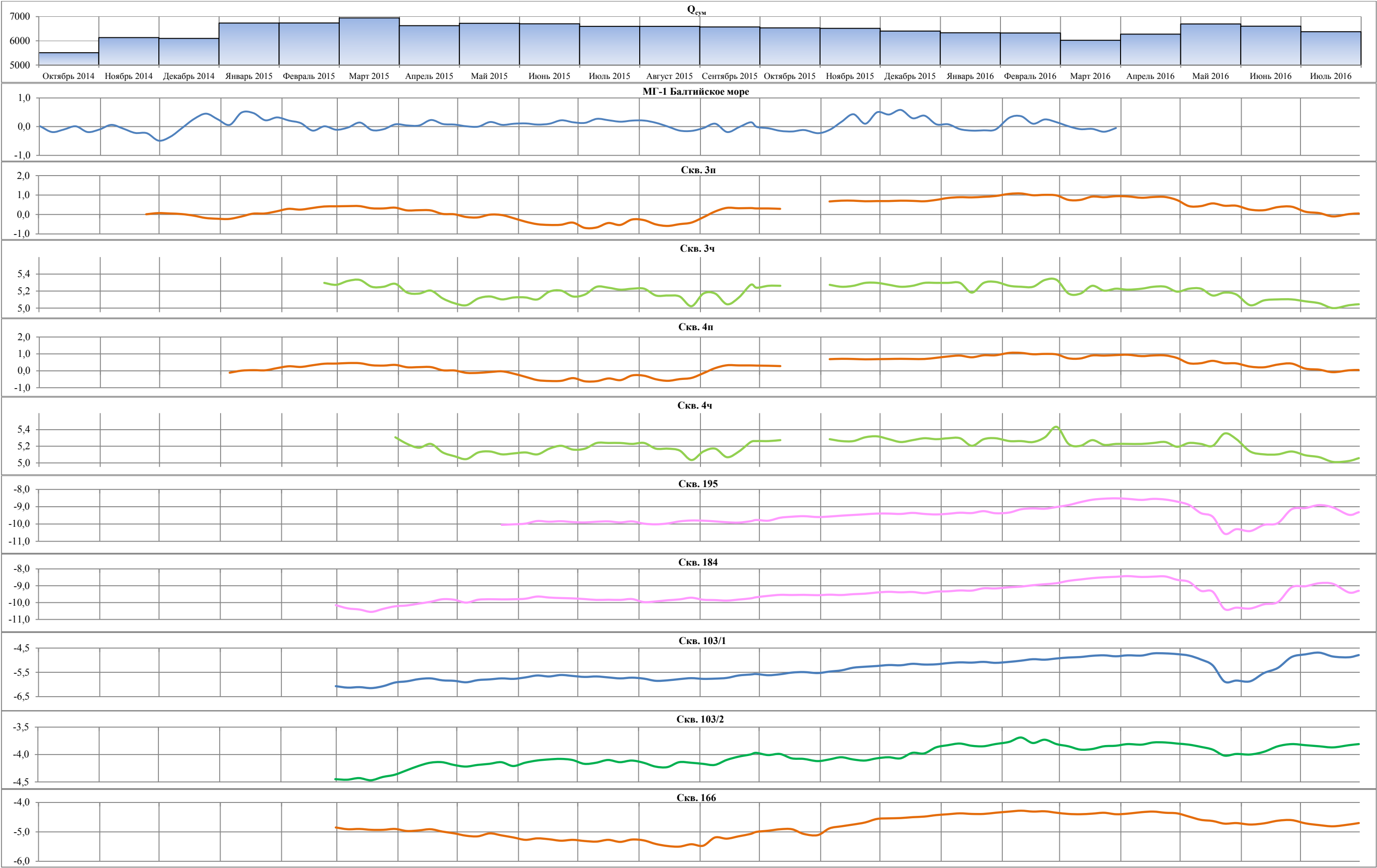


Рисунок. 3.1. Графики режимных наблюдений

3.3.1. Вологодско-московский межморенный водоносный горизонт

Характеристика качества подземных вод межморенного водоносного горизонта приведена в сводной таблице 3.3 и основана на результатах опробования четырех скважин №№ 1Ч, 2Ч, 3Ч и 4Ч в 2015-16 гг. Интервал опробования – 27,0-48,5 м.

Характеристика качества подземных вод вологодско-московского водоносного горизонта

Таблица 3.3.

№ № п/п	Показатель	Ед. изм.	ПДК по СанПиН 2.1.4.1074-01/ГН 2.1.5.1315-03	Значения показателей для вологодско-московского межморенного водоносного горизонта				
				минимала- льное значение	максима- льное значение	среднее значение	коли- чество опреде- лений	коли- чество превыше- ний ПДК
Обобщенные показатели								
1	Водородный показатель	Ед. pH	6-9	7,3	11,6	8,1	7	1
2	Сухой остаток	мг/дм ³	1000	317,5	443,0	394,7	7	0
3	Жесткость общая	ммоль/д м ³	7	4,0	9,8	6,6	7	3
4	Окисляемость	мгО ₂ /дм ³	5	1,50	4,50	2,83	7	0
5	Нефте- продукты	мг/дм ³	0,1	0,005	0,106	0,0353	7	1
6	ПАВ	мг/дм ³	0,1	0,025	0,025	0,025	7	0
7	Фенольный индекс/ фенол	мг/дм ³	0,25	0,0005	0,0005	0,0005	7	0
Неорганические вещества								
8	Алюминий (Al ³⁺)	мг/дм ³	0,2	0,010	0,047	0,017	5	0
9	Азот аммиака (NH ⁴⁺)	мг/дм ³	1,5	0,2	1,9	0,5	7	0
10	Барий (Ba ²⁺)	мг/дм ³	0,7	0,01	0,02	0,01	5	0
11	Бериллий (Be ²⁺)	мг/дм ³	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	5	0
12	Бор (В)	мг/дм ³	0,5	0,05	0,05	0,05	5	0
13	Гидро- карбонаты	мг/дм ³	-	128,1	481,9	302,3	7	0
14	Железо (Fe, суммарно)	мг/дм ³	0,3	0,2	8,8	4,6	7	6
15	Кадмий (Cd ⁺)	мг/дм ³	0,001	0,0001	0,0009	0,0003	5	0
16	Калий (K ⁺) + Натрий (Na ⁺)	мг/дм ³	200 (по Na)	2,5	71,3	24,1	6	0
17	Калий (K ⁺)	мг/дм ³	-	1,38	1,38	1,38	1	-
18	Кальций (Ca ²⁺)	мг/дм ³	-	62,9	136,7	84,8	7	-
19	Кобальт (Co)	мг/дм ³	0,1	0,001	0,001	0,001	5	0
20	Магний (Mg ²⁺)	мг/дм ³	50	10,9	53,5	29,1	7	1
21	Марганец (Mn)	мг/дм ³	0,1	0,0488	0,6325	0,3864	5	4
22	Медь (Cu, суммарно)	мг/дм ³	1	0,0024	0,0073	0,0045	5	0
23	Молибден (Mo)	мг/дм ³	0,07	0,001	0,001	0,001	5	0
24	Мышьяк (As)	мг/дм ³	0,01	0,0050	0,0050	0,0050	5	0

№ № п/п	Показатель	Ед. изм.	ПДК по СанПиН 2.1.4.1074-01/ГН 2.1.5.1315-03	Значения показателей для вологдско-московского межморенного водоносного горизонта				
				минимал- ное значение	максимал- ное значение	среднее значение	коли- чество опреде- лений	коли- чество превыше- ний ПДК
25	Натрий (Na^+)	мг/дм ³	200	8,3	8,3	8,3	1	0
26	Никель (Ni^+)	мг/дм ³	0,1	0,001	0,003	0,002	5	0
27	Нитраты (NO_3^-)	мг/дм ³	45	0,10	0,80	0,20	7	0
28	Нитриты (NO_2^-)	мг/дм ³	3,3	0,003	0,014	0,005	7	0
29	Ртуть (Hg)	мг/дм ³	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	5	0
30	Свинец (Pb, суммарно)	мг/дм ³	0,01	0,001	0,001	0,001	5	0
31	Селен (Se, суммарно)	мг/дм ³	0,01	0,002	0,002	0,002	5	0
32	Сероводород (H_2S)	мг/дм ³	0,05	0,002	0,002	0,002	5	0
33	Стронций (Sr^{2+})	мг/дм ³	7	0,237	1,155	0,539	5	0
34	Сульфаты (SO_4^{2-})	мг/дм ³	500	40,0	162,4	75,6	7	0
35	Фосфаты (по PO_4^{3-})	мг/дм ³	3,5	0,010	0,010	0,010	5	0
36	Фториды (F^-)	мг/дм ³	1,2-1,5	0,25	0,67	0,45	7	-
37	Хлориды (Cl^-)	мг/дм ³	350	20,9	50,0	28,8	7	0
38	Хром (Cr^{6+})	мг/дм ³	0,05	0,0010	0,0010	0,0010	5	0
39	Цианиды (CN)	мг/дм ³	0,07	0,010	0,010	0,010	5	0
40	Цинк (Zn^{2+})	мг/дм ³	1	0,001	0,002	0,001	5	0
41	Щелочность гидрокарбонатная	ммоль/ дм ³	-	2,1	7,9	4,6	5	0
Органолептические свойства								
42	Запах,	балл	2	2,0	2,0	2,0	7	0
43	Мутность	мг/дм ³	1,5	5,9	24,6	14,7	7	7
44	Цветность	град	20	3,0	7,0	5,1	7	0
Радиологические показатели								
45	Удельная суммарная альфа-активность	Бк/кг	0,2	0,05	0,10	0,08	5	0
46	Удельная суммарная бета-активность	Бк/кг	1	0,20	0,30	0,24	5	0
Бактериологические показатели								
47	ОМЧ	КОЕ/ 1 мл	50	1,0	1,0	1,0	6	0
48	ОКБ	КОЕ/ 100 мл	отсут.	0,0	0,0	0,0	6	0
49	ТКБ	КОЕ/ 100 мл	отсут.	0,0	0,0	0,0	6	0
50	Колифаги	БОЕ/ 100 мл	отсут.	0	0	0	5	0

Примечание: жирным шрифтом выделены значения показателей, превышающих нормативные значения.

По химическому составу подземные воды вологодско-московского водоносного горизонта гидрокарбонатные, реже сульфатно-гидрокарбонатные или смешанные, магниевые или натриево-кальциевые, реже кальциево-магнневые, пресные (с минерализацией 0,45-0,76 г/дм³), от слабощелочных до сильнощелочных (рН 7,3-11,6), от жестких до очень жестких (общая жесткость – 4,0-9,8 мг-экв/л).

Формула Курлова приведена ниже по результатам лабораторных исследований пробы из скважины № 2Ч:

$$M_{0,45} \frac{HCO_3 72 SO_4 17 Cl 10}{Ca 63 Mg 32} pH=7,5$$

Единичные превышения зафиксированы по водородному показателю (1,3 ПДК), нефтепродуктам (1,06 ПДК) и магнию (1,1 ПДК). Превышения по общей жесткости зафиксированы в трех случаях из семи (1,4 ПДК), одно из которых весьма незначительное. Превышения по мутности наблюдаются во всех пробах (до 16,4 ПДК). В четырех случаях из пяти зафиксированы превышения по марганцу (до 6,33 ПДК). Превышения по железу общему зафиксированы во всех пробах (до 29,3 ПДК), кроме одной. Во всех пробах отмечено низкое содержание фтора.

Зафиксированное весьма незначительное единичное превышение по нефтепродуктам и по магнию находится в пределах погрешности измерений.

3.3.2. Окско-вологодский межморенный водоносный горизонт

Характеристика качества подземных вод окско-вологодского водоносного горизонта приведена в сводной таблице 3.4 и основана на результатах опробования четырех скважин № 134, № 173, № 184 и № 187 в 2014 г. и 2016 г. Интервал опробования – 98,0-140,0 м.

Характеристика качества подземных вод окско-вологодского водоносного горизонта

Таблица 3.4.

№№ п/п	Показатель	Ед. измер.	ПДК по СанПиН 2.1.4.107 4-01/ГН 2.1.5.131 5-03	Значения показателей для окско-вологодского водоносного горизонта по результатам обследования				
				минималное значение	максимальное значение	среднее значение	количество определений	количество превышений ПДК
Обобщенные показатели								
1	Водородный показатель	Ед. рН	6-9	7,1	8,9	7,8	5	0
2	Сухой остаток	мг/дм ³	1000	229,0	950,0	567,0	5	0
3	Жесткость общая	ммоль/дм ³	7	3,0	11,9	7,8	5	3
4	Окисляемость	мгО ₂ /дм ³	5	1,40	4,80	3,36	5	0
5	Нефтепродукты	мг/дм ³	0,1	0,0050	0,0050	0,0050	5	0
6	ПАВ	мг/дм ³	0,1	0,025	0,025	0,025	5	0

№№ п/п	Показатель	Ед. измер.	ПДК по СанПиН 2.1.4.107 4-01/ГН 2.1.5.131 5-03	Значения показателей для окско-вологодского водоносного горизонта по результатам обследования				
				минима- льное значение	максима- льное значение	сред- нее значе- ние	количе- ство опреде- лений	количе- ство превы- шений ПДК
7	Фенольный индекс/ фенол	мг/дм ³	0,25	0,0005	0,0005	0,0005	5	0
Неорганические вещества								
8	Алюминий (Al ³⁺)	мг/дм ³	0,2	0,040	0,040	0,040	3	0
9	Азот аммиака (NH ₄ ⁺)	мг/дм ³	1,5	0,3	1,0	0,5	5	0
10	Барий (Ba ²⁺)	мг/дм ³	0,7	0,01	0,05	0,02	3	0
11	Бериллий (Be ²⁺)	мг/дм ³	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	3	0
12	Бор (В)	мг/дм ³	0,5	0,09	0,12	0,11	3	0
13	Гидрокарбонаты	мг/дм ³	-	146,4	451,6	332,0	5	0
14	Железо (Fe, суммарно)	мг/дм ³	0,3	0,4	14,4	4,5	5	5
15	Кадмий (Cd ⁺)	мг/дм ³	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	3	0
16	Калий (K ⁺) + Натрий (Na ⁺)	мг/дм ³	200 (по Na)	6,0	140,3	81,8	4	0
17	Калий (K ⁺)	мг/дм ³	-	7,0	7,0	7,0	1	0
18	Кальций (Ca ²⁺)	мг/дм ³	-	27,6	188,4	103,4	5	-
19	Кобальт (Co)	мг/дм ³	0,1	0,001	0,001	0,001	3	0
20	Магний (Mg ²⁺)	мг/дм ³	50	19,7	51,0	32,6	5,0	1
21	Марганец (Mn)	мг/дм ³	0,1	0,1140	0,3300	0,2447	3	3
22	Медь (Cu, суммарно)	мг/дм ³	1	0,0010	0,0050	0,0026	3	0
23	Молибден (Mo)	мг/дм ³	0,07	0,001	0,001	0,001	3	0
24	Мышьяк (As)	мг/дм ³	0,01	0,0050	0,0050	0,0050	3	0
25	Натрий (Na ⁺)	мг/дм ³	200	30,49	30,49	30,49	1	0
26	Никель (Ni ⁺)	мг/дм ³	0,1	0,001	0,001	0,001	3	0
27	Нитраты (NO ₃ ⁻)	мг/дм ³	45	0,01	0,16	0,09	5	0
28	Нитриты (NO ₂ ⁻)	мг/дм ³	3,3	0,003	0,500	0,120	5	0
29	Ртуть (Hg)	мг/дм ³	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	3	0
30	Свинец (Pb, суммарно)	мг/дм ³	0,01	0,001	0,001	0,001	3	0
31	Селен (Se, суммарно)	мг/дм ³	0,01	0,002	0,002	0,002	3	0
32	Сероводород (H ₂ S)	мг/дм ³	0,05	0,002	0,002	0,002	3	0
33	Стронций (Sr ²⁺)	мг/дм ³	7	0,840	1,400	1,113	3	0
34	Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	500	2,0	22,0	8,6	5	0
35	Фосфаты (по PO ₄ ³⁻)	мг/дм ³	3,5	0,020	0,020	0,020	3	0
36	Фториды (F ⁻)	мг/дм ³	1,2-1,5	0,10	0,21	0,16	5	0
37	Хлориды (Cl ⁻)	мг/дм ³	350	73,5	358,0	182,6	5	1
38	Хром (Cr ⁶⁺)	мг/дм ³	0,05	0,0010	0,0010	0,0010	3	0
39	Цианиды (CN)	мг/дм ³	0,07	0,010	0,010	0,010	3	0
40	Цинк (Zn ²⁺)	мг/дм ³	1	0,001	0,001	0,001	3	0

№№ п/п	Показатель	Ед. измер.	ПДК по СанПиН 2.1.4.107 4-01/ГН 2.1.5.131 5-03	Значения показателей для окско-вологодского водоносного горизонта по результатам обследования				
				минимал- ное значение	максимал- ное значение	сред- нее значе- ние	количе- ство опреде- лений	количе- ство превы- шений ПДК
41	Щелочность гидрокарбо- натная	ммоль/дм ³	-	7,2	7,4	7,3	3	0
Органолептические свойства								
42	Запах,	балл	2	2,0	2,0	2,0	5	0
43	Мутность	мг/дм ³	1,5	2,8	30,0	11,5	5	5
44	Цветность	град	20	3,0	6,0	4,8	5	0
Радиологические показатели								
45	Удельная суммарная альфа- активность	Бк/кг	0,2	0,05	0,05	0,05	1	0
46	Удельная суммарная бета- активность	Бк/кг	1	0,39	0,39	0,39	1	0
Бактериологические показатели								
47	ОМЧ	КОЕ/1 мл	50	1	11	6	2	0
48	ОКБ	КОЕ/ 100 мл	отсут.	0	0	0	2	0
49	ТКБ	КОЕ/ 100 мл	отсут.	0	0	0	2	0
50	Колифаги	БОЕ/ 100 мл	отсут.	0	0	0	1	0

Примечание: жирным шрифтом в таблице выделены значения показателей, превышающих нормативные значения.

По химическому составу подземные воды окско-вологодского водоносного горизонта хлоридно-гидрокарбонатные, реже гидрокарбонатно-хлоридные смешанные или натриево-кальциевые, реже кальциево-магниевые, пресные (с минерализацией 0,31-1,0 г/дм³) или слабосолоноватые (минерализация 1,17 г/дм³), от нейтральных до щелочных (рН 7,1-8,9), от умеренно жестких до очень жестких (общая жесткость – 3,0-11,9 мг-экв/л).

Хлоридный состав и повышенная минерализация подземных вод окско-вологодского водоносного горизонта обусловлены подтягиванием слабосолоноватых вод залива.

Формула Курлова приведена ниже по результатам лабораторных исследований пробы из скважины № 184:

$$M_{0,31} \frac{HCO_3 53 Cl 46}{Mg 35 (K + Na) 34 Ca 30} pH = 8,5$$

Единичные незначительные превышения наблюдаются по магнию (1,02 ПДК) и хлору (1,02 ПДК). Превышения по общей жесткости зафиксированы в трех случаях из пяти (1,7 ПДК). Превышения по мутности (до 20 ПДК) и марганцу (до 3,3 ПДК) наблюдаются во всех пробах. Во всех пробах отмечено низкое содержание фтора.

3.3.3. Среднепалеогеновый алкский водоносный горизонт

Характеристика качества подземных вод перспективного среднепалеогенового алкского водоносного горизонта приведена в таблице 3.5 и основана на результатах опробования семи скважин № 1П, № 2П, № 3П, № 4П, № 7, № 74 и № 166 в 2014-16 гг. Интервал опробования – 84,0-118,0 м.

Характеристика качества подземных вод среднепалеогенового алкского водоносного горизонта

Таблица 3.5.

№ № п/п	Показатель	Ед. изм.	ПДК по СанПи Н 2.1.4.1 074- 01/ГН 2.1.5.1 315-03	Значения показателей для среднепалеогенового алкского водоносного горизонта				
				миним альное значен ие	максима льное значение	среднее значение	количес тво определе ний	количес тво превыше ний ПДК
Обобщенные показатели								
1	Водородный показатель	Ед. pH	6-9	7,3	11,0	8,0	18	2
2	Сухой остаток	мг/дм ³	1000	229,0	430,0	329,4	18	0
3	Жесткость общая	ммоль/д м ³	7	0,3	6,3	4,5	18	0
4	Окисляемость	мгO ₂ /дм ³	5	1,40	8,90	2,91	18	1
5	Нефтеп- родукты	мг/дм ³	0,1	0,005	0,142	0,0157	18	1
6	ПАВ	мг/дм ³	0,1	0,025	0,029	0,026	18	0
7	Фенольный индекс/ фенол	мг/дм ³	0,25	0,0005	0,0009	0,0005	18	0
Неорганические вещества								
8	Алюминий (Al3+)	мг/дм ³	0,2	0,010	0,040	0,021	8	0
9	Азот аммиака (NH4+)	мг/дм ³	1,5	0,1	2,9	0,8	18	1
10	Барий (Ba2+)	мг/дм ³	0,7	0,01	0,04	0,01	8	0
11	Бериллий (Be2+)	мг/дм ³	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	8	0
12	Бор (В)	мг/дм ³	0,5	0,13	0,24	0,17	8	0
13	Гидрокар- бонаты	мг/дм ³	-	79,0	488,0	340,6	18	0
14	Железо (Fe, суммарно)	мг/дм ³	0,3	0,4	12,8	2,6	18	18
15	Кадмий (Cd+)	мг/дм ³	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	8	0
16	Калий (K+) + Натрий (Na+)	мг/дм ³	200 (по Na)	3,0	105,0	37,1	15	0
17	Калий (K+)	мг/дм ³	-	7,0	9,7	7,9	3	0
18	Кальций (Ca2+)	мг/дм ³	-	2,6	76,6	54,3	18	-
19	Кобальт (Co)	мг/дм ³	0,1	0,001	0,001	0,001	8	0
20	Магний (Mg2+)	мг/дм ³	50	1,6	42,5	21,6	18,0	0

№ № п/п	Показатель	Ед. изм.	ПДК по СанПи Н 2.1.4.1 074- 01/ГН 2.1.5.1 315-03	Значения показателей для среднепалеогенового алкского водоносного горизонта				
				миним альное значен ие	максима льное значение	среднее значение	количес тво определе ний	количес тво превыше ний ПДК
21	Марганец (Mn)	мг/дм ³	0,1	0,0010	0,5199	0,1701	8	5
22	Медь (Cu, суммарно)	мг/дм ³	1	0,001	0,005	0,0025	8	0
23	Молибден (Mo)	мг/дм ³	0,07	0,001	0,003	0,002	8	0
24	Мышьяк (As)	мг/дм ³	0,01	0,0050	0,0050	0,0050	8	0
25	Натрий (Na+)	мг/дм ³	200	30,49	43,55	38,04	3	0
26	Никель (Ni+)	мг/дм ³	0,1	0,001	0,011	0,004	8	0
27	Нитраты (NO ³⁻)	мг/дм ³	45	0,10	0,80	0,25	18	0
28	Нитриты (NO ²⁻)	мг/дм ³	3,3	0,003	0,250	0,024	18	0
29	Ртуть (Hg)	мг/дм ³	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	8	0
30	Свинец (Pb, суммарно)	мг/дм ³	0,01	0,001	0,005	0,002	8	0
31	Селен (Se, суммарно)	мг/дм ³	0,01	0,002	0,002	0,002	8	0
32	Сероводород (H ₂ S)	мг/дм ³	0,05	0,002	0,002	0,002	8	0
33	Стронций (Sr ²⁺)	мг/дм ³	7	0,330	0,910	0,705	8	0
34	Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	500	2,0	31,9	9,4	18	0
35	Фосфаты (по PO ₄ ³⁻)	мг/дм ³	3,5	0,010	0,098	0,038	8	0
36	Фториды (F ⁻)	мг/дм ³	1,2-1,5	0,10	0,64	0,32	18	18
37	Хлориды (Cl ⁻)	мг/дм ³	350	10,5	73,5	17,9	18	0
38	Хром (Cr ⁶⁺)	мг/дм ³	0,05	0,0010	0,0030	0,0013	8	0
39	Цианиды (CN ⁻)	мг/дм ³	0,07	0,010	0,010	0,010	8	0
40	Цинк (Zn ²⁺)	мг/дм ³	1	0,001	0,028	0,004	8	0
41	Щелочность гидрокарбонатная	ммоль/дм ³	-	4,8	6,6	5,9	8	0
Органические вещества								
42	Гамма-ГХЦГ (линдан)	мг/дм ³	0,002	0,0	0,0	0,0	4	0
43	ДДТ и его метаболиты	мг/дм ³	0,002	0,0	0,0	0,0	3	0
Органолептические свойства								
44	Запах,	балл	2	2,0	2,0	2,0	18	0
45	Мутность	мг/дм ³	1,5	2,8	21,2	6,8	18	18
46	Цветность	град	20	3,0	53,0	7,8	18	1

№ № п/п	Показатель	Ед. изм.	ПДК по СанПи Н 2.1.4.1 074- 01/ГН 2.1.5.1 315-03	Значения показателей для среднепалеогенового алкского водоносного горизонта				
				миним альное значен ие	максима льное значение	среднее значение	количес тво определе ний	количес тво превыше ний ПДК
Радиологические показатели								
47	Удельная суммарная альфа- активность	Бк/кг	0,2	0,04	0,15	0,10	10	0
48	Удельная суммарная бета- активность	Бк/кг	1	0,23	0,62	0,40	10	0
Бактериологические показатели								
49	ОМЧ	КОЕ/1 мл	50	1,0	16,0	3,4	12	0
50	ОКБ	КОЕ/100 мл	отсут.	0,0	0,0	0,0	12	0
51	ТКБ	КОЕ/100 мл	отсут.	0,0	0,0	0,0	12	0
52	Колифаги	БОЕ/100 мл	отсут.	0	0	0	9	0

По химическому составу подземные воды среднепалеогенового алкского водоносного горизонта гидрокарбонатные или хлоридно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые, смешанные по катионам, кальциево-магниевого, магниевое-кальциевые, реже натриевые или кальциево-натриевые, пресные (с минерализацией 0,14-0,66 г/дм³), от слабощелочных до сильнощелочных (рН 7,3-11,0), от очень мягких до жестких (общая жесткость – 0,26-6,3 мг-экв/л).

Формула Курлова приведена ниже по результатам лабораторных исследований пробы из скважины № 2П:

$$M_{0,51} \frac{HCO_3 93}{Ca 57 (K + Na) 24 Mg 18} pH=7,4$$

В двух пробах зафиксированы превышения по водородному показателю (до 1,2 ПДК). Единичные превышения наблюдаются по цветности (2,7 ПДК), перманганатной окисляемости (1,8 ПДК), азоту аммиака (1,9 ПДК) и по нефтепродуктам (1,4 ПДК). По марганцу больше половины проб получено с превышениями (до 5,2 ПДК), два из которых весьма значительные. Превышения нормативных значений по железу общему и мутности наблюдаются во всех пробах и доходят до весьма значительных: по железу (до 42,7 ПДК), по мутности (до 14,1 ПДК). Во всех пробах отмечено низкое содержание фтора.

Высокие значения мутности и цветности обусловлены повышенным содержанием в водах горизонта железа и марганца. Превышения по железу и марганцу характерны для

данной территории и встречаются повсеместно. Превышение по нефтепродуктам находится в пределах погрешности измерений.

3.3.4. Верхнемеловой водоносный горизонта

Характеристика качества подземных вод мелового водоносного горизонта приведена в сводной таблице 3.6 и основана на результатах опробования трех скважин № 35, № 65 и № 191 в 2014 г. – 2016 г. Интервал опробования – 145,0-177,0 м.

Характеристика качества подземных вод мелового водоносного горизонта

Таблица 3.6.

№№ п/п	Показатель	Ед. изм.	ПДК по СанПиН 2.1.4.1074- 01/ГН 2.1.5.1315-03	Значения показателей для мелового водоносного горизонта по результатам обследования				
				мини- мальное значе- ние	макси- мальное значение	сред- нее значе- ние	количе- ство опреде- лений	количе- ство превы- шений ПДК
Обобщенные показатели								
1	Водородный показатель	Ед. pH	6-9	7,4	9,7	8,0	4	1
2	Сухой остаток	мг/дм ³	1000	311,0	406,0	366,5	4	0
3	Жесткость общая	ммоль/дм ³	7	4,6	6,9	5,7	4	0
4	Окисляемость	мгО ₂ /дм ³	5	1,50	3,50	2,30	4	0
5	Нефтепродукты	мг/дм ³	0,1	0,0050	0,0052	0,0051	4	0
6	ПАВ	мг/дм ³	0,1	0,025	0,025	0,025	4	0
7	Фенольный индекс/ фенол	мг/дм ³	0,25	0,0005	0,0005	0,0005	4	0
Неорганические вещества								
8	Алюминий (Al ³⁺)	мг/дм ³	0,2	0,040	0,040	0,040	3	0
9	Азот аммиака (NH ₄ ⁺)	мг/дм ³	1,5	0,3	0,8	0,6	4	0
10	Барий (Ba ²⁺)	мг/дм ³	0,7	0,01	0,02	0,01	3	0
11	Бериллий (Be ²⁺)	мг/дм ³	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	3	0
12	Бор (В)	мг/дм ³	0,5	0,05	0,14	0,10	3	0
13	Гидрокар-бонаты	мг/дм ³	-	268,4	293,0	283,8	4	0
14	Железо (Fe, суммарно)	мг/дм ³	0,3	0,6	1,7	1,2	4	4
15	Кадмий (Cd ⁺)	мг/дм ³	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	3	0
16	Калий (K ⁺) + Натрий (Na ⁺)	мг/дм ³	200 (по Na)	6,4	63,3	30,7	4	0
17	Кальций (Ca ²⁺)	мг/дм ³	-	9,6	120,0	67,7	4	-
18	Кобальт (Co)	мг/дм ³	0,1	0,001	0,001	0,001	3	0
19	Магний (Mg ²⁺)	мг/дм ³	50	7,3	78,0	28,3	4,0	1
20	Марганец (Mn)	мг/дм ³	0,1	0,0560	0,2630	0,1445	3	2
21	Медь (Cu, суммарно)	мг/дм ³	1	0,0010	0,0024	0,0017	3	0
22	Молибден (Mo)	мг/дм ³	0,07	0,001	0,001	0,001	3	0
23	Мышьяк (As)	мг/дм ³	0,01	0,0050	0,0050	0,0050	3	0

№№ п/п	Показатель	Ед. изм.	ПДК по СанПиН 2.1.4.1074- 01/ГН 2.1.5.1315-03	Значения показателей для мелового водоносного горизонта по результатам обследования				
				мини- мальное значе- ние	макси- мальное значение	сред- нее значе- ние	количе- ство опреде- лений	количе- ство превы- шений ПДК
24	Никель (Ni ⁺)	мг/дм ³	0,1	0,001	0,007	0,003	3	0
25	Нитраты (NO ³⁻)	мг/дм ³	45	0,12	0,50	0,24	4	0
26	Нитриты (NO ²⁻)	мг/дм ³	3,3	0,006	0,075	0,026	4	0
27	Ртуть (Hg)	мг/дм ³	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	3	0
28	Свинец (Pb, суммарно)	мг/дм ³	0,01	0,001	0,001	0,001	3	0
29	Селен (Se, суммарно)	мг/дм ³	0,01	0,002	0,002	0,002	3	0
30	Сероводород (H ₂ S)	мг/дм ³	0,05	0,002	0,002	0,002	3	0
31	Стронций (Sr ²⁺)	мг/дм ³	7	0,743	1,054	0,942	3	0
32	Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	500	5,2	13,8	9,0	4	0
33	Фосфаты (по PO ₄ ³⁻)	мг/дм ³	3,5	0,020	0,076	0,057	3	0
34	Фториды (F ⁻)	мг/дм ³	1,2-1,5	0,13	0,31	0,21	4	0
35	Хлориды (Cl ⁻)	мг/дм ³	350	56,0	115,0	90,5	4	0
36	Хром (Cr ⁶⁺)	мг/дм ³	0,05	0,0010	0,0010	0,0010	3	0
37	Цианиды (CN)	мг/дм ³	0,07	0,010	0,010	0,010	3	0
38	Цинк (Zn ²⁺)	мг/дм ³	1	0,001	0,001	0,001	3	0
39	Щелочность гидрокарбонатная	ммоль/дм ³	-	4,7	4,8	4,7	3	0
Органолептические свойства								
40	Запах,	балл	2	2,0	2,0	2,0	4	0
41	Мутность	мг/дм ³	1,5	1,9	8,2	4,6	4	2
42	Цветность	град	20	3,0	5,0	4,0	4	0
Радиологические показатели								
43	Удельная суммарная альфа-активность	Бк/кг	0,2	0,07	0,07	0,07	1	0
44	Удельная суммарная бета-активность	Бк/кг	1	0,21	0,21	0,21	1	0
Бактериологические показатели								
45	ОМЧ	КОЕ/1 мл	50	1,0	1,0	1,0	1	0
46	ОКБ	КОЕ/100 мл	отсут.	0,0	0,0	0,0	1	0
47	ТКБ	КОЕ/100 мл	отсут.	0,0	0,0	0,0	1	0
48	Колифаги	БОЕ/100 мл	отсут.	0	0	0	1	0

Примечание: жирным шрифтом в таблице выделены значения показателей, превышающих нормативные значения.

По химическому составу подземные воды мелового водоносного горизонта хлоридно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые, магниевые-кальциевые, кальциевые, магниевые,

пресные (с минерализацией 0,45-0,57 г/дм³), от нейтральных до сильнощелочных (рН 7,4-9,7), от умеренно жестких до жестких (общая жесткость – 4,6-6,9 мг-экв/л).

Формула Курлова приведена ниже по результатам лабораторных исследований пробы из скважины № 35:

$$M_{0,45} \frac{HCO_3 72 Cl 24}{Ca 73 Cl 24} pH = 7,4$$

Единичные превышения зафиксированы по водородному показателю (1,07 ПДК) и магнию (1,6 ПДК). В двух из трех пробах зафиксировано превышение по марганцу (до 2,6 ПДК). Наблюдаются превышения во всех пробах по мутности (до 5,5 ПДК) и железу (до 5,7 ПДК). Во всех пробах отмечено низкое содержание фтора.

3.4. Характеристика качества поверхностных вод

На площади поисково-оценочных работ проведено изучение качественного состава поверхностных вод Гданьского и Калининградского заливов. В связи с возможностью подтягивания некондиционных морских вод к водозаборным сооружениям города Балтийска, было произведено детальное изучение поверхностных вод на соответствие требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 [62]. Отбор проб воды осуществлялся в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51592-2000 «Вода общие требования к отбору проб» и ИСО 5667/3-85 «Качество воды. Отбор проб. Руководство по хранению и обработке проб» [21].

Пробы воды отбиралась на всем протяжении работ с 2014 г. по 2016 г. в процессе проведения полевых работ. Совокупное количество отобранных из заливов проб равно 13. Из Калининградского залива отобрано 7 проб, из Гданьского – 6 проб. Из них по одной пробе из каждого залива отобрано на сокращенный перечень компонентов, остальные – на полный химический анализ. Анализы выполнялись по установленным методикам в аккредитованной лаборатории – ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Калининградской области».

3.4.1. Калининградский залив

По химическому составу подземные воды Калининградского залива хлоридные натриевые, реже магниевые-натриевые, солоноватые (с минерализацией 4,05-7,36 г/дм³), от нейтральных до слабощелочных (рН 7,3-8,5), очень жесткие (общая жесткость – 15,5-30,5 мг-экв/л).

Пример Формулы Курлова приведен ниже по результатам лабораторных исследований пробы из Калининградского залива:

$$M_{5,38} \frac{Cl 93}{(K + Na) 79 Mg 16} pH=8,2$$

Во всех пробах зафиксированы превышения по сухому остатку (до 8,6 ПДК), общей жесткости (до 4,4 ПДК), магнию (до 6,2 ПДК), хлору (до 11,2 ПДК). Превышения по натрию

(как при совместном определении натрия с калием, так и при единичном раздельном определении натрия) отмечены во всех пробах (до 13,1 ПДК). Во всех пробах, кроме одной зафиксированы превышения по окисляемости (до 2,3 ПДК) и мутности (до 5,9 ПДК). Превышения по бору отмечены в трех пробах из пяти (до 1,7 ПДК). Зафиксированы единичные превышения по запаху (1,5 ПДК), кадмию (5 ПДК) и свинцу (2 ПДК). Воды залива характеризуются низким содержанием фтора.

Характеристика качества поверхностных вод Калининградского залива приведена в сводной таблице 3.7.

Характеристика качества поверхностных вод Калининградского залива

Таблица 3.7.

№№ п/п	Показатель	Ед. измер.	ПДК по СанПиН 2.1.4.107 4-01/ГН 2.1.5.131 5-03	Значения показателей для поверхностных вод Калининградского залива				
				минима- льное значение	максима- льное значение	сред- нее значе- ние	количе- ство опреде- лений	количе- ство превы- шений ПДК
Обобщенные показатели								
1	Водородный показатель	Ед. pH	6-9	7,3	8,5	7,9	7	0
2	Сухой остаток	мг/дм ³	1000	3960,0	8616,0	6746,2	6	6
3	Жесткость общая	ммоль/дм ³	7	15,5	30,5	24,4	6	6
4	Окисляемость	мгО ₂ /дм ³	5	3,60	11,50	9,07	6	5
5	Нефтепродукты	мг/дм ³	0,1	0,0050	0,0900	0,0289	7	0
6	ПАВ	мг/дм ³	0,1	0,010	0,130	0,051	6	0
7	Фенольный индекс/ фенол	мг/дм ³	0,25	0,0005	0,0006	0,0005	7	0
Неорганические вещества								
8	Алюминий (Al ³⁺)	мг/дм ³	0,2	0,010	0,010	0,010	5	0
9	Азот аммиака (NH ₄ ⁺)	мг/дм ³	1,5	0,4	1,0	0,6	7	0
10	Барий (Ba ²⁺)	мг/дм ³	0,7	0,01	0,01	0,01	5	0
11	Бериллий (Be ²⁺)	мг/дм ³	0,0002	0,0001	0,0002	0,0001	6	0
12	Бор (В)	мг/дм ³	0,5	0,27	0,86	0,54	5	3
13	Гидрокарбонаты	мг/дм ³	-	91,5	305,0	162,9	7	0
14	Железо (Fe, суммарно)	мг/дм ³	0,3	0,1	0,3	0,2	6	0
15	Кадмий (Cd ⁺)	мг/дм ³	0,001	0,0001	0,0050	0,0011	6	1
16	Калий (K ⁺) + Натрий (Na ⁺)	мг/дм ³	200 (по Na)	1226,0	2620,0	2024,8	5	5
17	Калий (K ⁺)	мг/дм ³	-	71,04	71,04	71,0	1	-
18	Кальций (Ca ²⁺)	мг/дм ³	-	49,0	202,4	110,3	6	-
19	Кобальт (Co)	мг/дм ³	0,1	0,001	0,015	0,003	6	0
20	Магний (Mg ₂₊)	мг/дм ³	50	121,7	308,6	227,9	6	6
21	Марганец (Mn)	мг/дм ³	0,1	0,0031	0,0752	0,0285	6	0

№№ п/п	Показатель	Ед. измер.	ПДК по СанПиН 2.1.4.107 4-01/ГН 2.1.5.131 5-03	Значения показателей для поверхностных вод Калининградского залива				
				минимал- ное значение	максимал- ное значение	сред- нее значе- ние	количе- ство опреде- лений	количе- ство превы- шений ПДК
22	Медь (Cu, суммарно)	мг/дм ³	1	0,0010	0,0100	0,0028	6	0
23	Молибден (Mo)	мг/дм ³	0,07	0,001	0,002	0,001	6	0
24	Мышьяк (As)	мг/дм ³	0,01	0,0050	0,0050	0,0050	6	0
25	Натрий (Na ⁺)	мг/дм ³	200	1766,6	1766,6	1766,6	1	1
26	Никель (Ni ⁺)	мг/дм ³	0,1	0,001	0,015	0,004	6	0
27	Нитраты (NO ₃ ⁻)	мг/дм ³	45	0,10	4,50	1,54	7	0
28	Нитриты (NO ₂ ⁻)	мг/дм ³	3,3	0,003	0,041	0,011	7	0
29	Ртуть (Hg)	мг/дм ³	0,0005	0,0000	0,0001	0,0001	6	0
30	Свинец (Pb, суммарно)	мг/дм ³	0,01	0,001	0,020	0,005	6	1
31	Селен (Se, суммарно)	мг/дм ³	0,01	0,002	0,002	0,002	6	0
32	Сероводород (H ₂ S)	мг/дм ³	0,05	0,002	0,002	0,002	4	0
33	Стронций (Sr ²⁺)	мг/дм ³	7	0,330	2,515	1,279	6	0
34	Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	500	85,8	495,0	290,7	6	0
35	Фосфаты (по PO ₄ ³⁻)	мг/дм ³	3,5	0,010	0,100	0,032	6	0
36	Фториды (F ⁻)	мг/дм ³	1,2-1,5	0,10	0,54	0,23	6	0
37	Хлориды (Cl ⁻)	мг/дм ³	350	2138,0	3925,0	3418,0	6	6
38	Хром (Cr ⁶⁺)	мг/дм ³	0,05	0,0010	0,0200	0,0042	6	0
39	Цианиды (CN)	мг/дм ³	0,07	0,010	0,010	0,010	5	0
40	Цинк (Zn ²⁺)	мг/дм ³	1	0,001	0,004	0,002	6	0
41	Щелочность гидрокарбонатная	ммоль/дм ³	-	1,9	5,0	2,8	6	0
Органолептические свойства								
42	Запах,	балл	2	2,0	3,0	2,1	7	1
43	Мутность	мг/дм ³	1,5	0,8	8,8	4,4	6	5
44	Цветность	град	20	7,5	14,0	10,3	6	0

Примечание: жирным шрифтом в таблице выделены значения показателей, превышающих нормативные значения.

3.4.2. Гданьский залив

По химическому составу подземные воды Гданьского залива хлоридные натриевые, реже магниевые-натриевые, солоноватые (с минерализацией 4,32-7,79 г/дм³), слабощелочные (рН 7,5-8,3), очень жесткие (общая жесткость – 19,1-27,9 мг-экв/л).

Пример Формулы Курлова приведен ниже по результатам лабораторных исследований пробы из Гданьского залива:

$$M_{6,84} \frac{Cl95}{(K + Na)79 Mg16} pH=8,2$$

Во всех пробах зафиксированы превышения по сухому остатку (до 8,1 ПДК), общей жесткости (до 4,0 ПДК), магнию (до 5,4 ПДК), хлору (до 12,6 ПДК). Превышения по натрию (как при совместном определении натрия с калием, так и при единичном отдельном определении натрия) отмечены во всех пробах (до 12,8 ПДК). Во всех пробах, кроме одной зафиксированы превышения по окисляемости (до 2,8 ПДК), мутности (до 9,5 ПДК) и бору (до 1,7 ПДК). Зафиксированы единичные превышения по запаху (1,5 ПДК) и железу общему (2,5 ПДК). Воды залива характеризуются низким содержанием фтора.

Характеристика качества поверхностных вод Гданьского залива приведена в сводной таблице 3.8.

Характеристика качества поверхностных вод Гданьского залива

Таблица 3.8.

№ № п/п	Показатель	Ед. измер.	ПДК по СанПиН 2.1.4.1074 -01/ГН 2.1.5.1315 -03	Значения показателей для поверхностных вод Гданьского залива				
				минима- льное значение	максима- льное значение	сред- нее значе- ние	количе- ство опреде- лений	количе- ство превы- шений ПДК
Обобщенные показатели								
1	Водородный показатель	Ед. pH	6-9	7,5	8,3	8,0	6	0
2	Сухой остаток	мг/дм ³	1000	5076,0	8079,0	6474,2	6	6
3	Жесткость общая	ммоль/д м ³	7	19,1	27,9	25,6	6	6
4	Окисляемость	мгО ₂ /дм ₃	5	3,00	14,00	8,60	6	5
5	Нефтепродукты	мг/дм ³	0,1	0,0050	0,0630	0,0160	6	0
6	ПАВ	мг/дм ³	0,1	0,025	0,180	0,052	6	0
7	Фенольный индекс/ фенол	мг/дм ³	0,25	0,0005	0,0009	0,0006	6	0
Неорганические вещества								
8	Алюминий (Al ³⁺)	мг/дм ³	0,2	0,010	0,040	0,016	5	0
9	Азот аммиака (NH ₄ ⁺)	мг/дм ³	1,5	0,1	0,9	0,3	6	0
10	Барий (Ba ²⁺)	мг/дм ³	0,7	0,01	0,01	0,01	5	0
11	Бериллий (Be ²⁺)	мг/дм ³	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	5	0
12	Бор (В)	мг/дм ³	0,5	0,48	0,85	0,65	5	4
13	Гидрокарбонаты	мг/дм ³	-	91,0	195,0	130,9	6	0
14	Железо (Fe, суммарно)	мг/дм ³	0,3	0,1	0,8	0,2	6	1
15	Кадмий (Cd+)	мг/дм ³	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	5	0
16	Калий (K+) + Натрий (Na+)	мг/дм ³	200 (по Na)	1695,0	2561,0	2236,5	5	5
17	Калий (K+)	мг/дм ³	-	47,5	47,5	47,5	1	0
18	Кальций (Ca2+)	мг/дм ³	-	76,9	182,0	116,2	6	-
19	Кобальт (Co)	мг/дм ³	0,1	0,001	0,001	0,001	5	0

№ № п/п	Показатель	Ед. измер.	ПДК по СанПиН 2.1.4.1074 -01/ГН 2.1.5.1315 -03	Значения показателей для поверхностных вод Гданьского залива				
				минима- льное значение	максима- льное значение	сред- нее значе- ние	количе- ство опреде- лений	количе- ство превы- шений ПДК
20	Магний (Mg ²⁺)	мг/дм ³	50	185,4	272,0	239,3	6	6
21	Марганец (Mn)	мг/дм ³	0,1	0,0021	0,0730	0,0385	5	0
22	Медь (Cu, суммарно)	мг/дм ³	1	0,0010	0,0032	0,0017	5	0
23	Молибден (Mo)	мг/дм ³	0,07	0,001	0,002	0,002	5	0
24	Мышьяк (As)	мг/дм ³	0,01	0,0050	0,0050	0,0050	5	0
25	Натрий (Na ⁺)	мг/дм ⁴	200	1 216,0	1 216,0	1 216,0	1	1
26	Никель (Ni ⁺)	мг/дм ³	0,1	0,001	0,001	0,001	5	0
27	Нитраты (NO ³⁻)	мг/дм ³	45	0,10	1,20	0,45	6	0
28	Нитриты (NO ²⁻)	мг/дм ³	3,3	0,003	0,019	0,006	6	0
29	Ртуть (Hg)	мг/дм ³	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	5	0
30	Свинец (Pb, суммарно)	мг/дм ³	0,01	0,001	0,002	0,001	5	0
31	Селен (Se, суммарно)	мг/дм ³	0,01	0,002	0,002	0,002	5	0
32	Сероводород (H ₂ S)	мг/дм ³	0,05	0,002	0,002	0,002	3	0
33	Стронций (Sr ²⁺)	мг/дм ³	7	0,412	4,348	1,929	5	0
34	Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	500	67,7	493,0	307,3	6	0
35	Фосфаты (по PO ₄ ³⁻)	мг/дм ³	3,5	0,010	0,053	0,035	5	0
36	Фториды (F ⁻)	мг/дм ³	1,2-1,5	0,13	0,21	0,16	6	6
37	Хлориды (Cl ⁻)	мг/дм ³	350	2590,0	4400,0	3679,7	6	6
38	Хром (Cr ⁶⁺)	мг/дм ³	0,05	0,0010	0,0010	0,0010	5	0
39	Цианиды (CN ⁻)	мг/дм ³	0,07	0,010	0,010	0,010	5	0
40	Цинк (Zn ²⁺)	мг/дм ³	1	0,001	0,001	0,001	5	0
41	Щелочность гидрокарбона-тная	ммоль/д м ³	-	1,8	3,2	2,4	5	0
Органолептические свойства								
42	Запах,	балл	2	2,0	3,0	2,2	6	1
43	Мутность	мг/дм ³	1,5	0,9	14,3	6,3	6	5
44	Цветность	град	20	2,5	13,5	5,9	6	0

Примечание: жирным шрифтом в таблице выделены значения показателей, превышающих нормативные значения.

3.5. Анализ геолого-гидрохимических условий

Выводы по характеристики качества подземных и поверхностных вод даются на основании не только результатов лабораторных исследований проб подземных вод, отобранных и проанализированных автором с 2014 г. по 2016 г., но и на основании

материалов, предоставленных водопользователями, в частности, предприятием МУП «Балтвода».

Сложность геолого-гидрохимических условий исследуемой территории заключается в том, что Балтийскую косу пререзает погребенная долина, выполненная отложениями окско-вологодского горизонта, воды которого в районе вреза образует единую уровенную поверхность с подземными водами среднепалеогенового алкского водоносного горизонта. До развития водоснабжения города в пределах долины на основе окско-вологодского водоносного горизонта, основным источником водоснабжения служил среднепалеогеновый алкский водоносный горизонт, который каптировался скважинами, размещенными по обе стороны палеодолины [126]. Большинство из них сейчас ликвидированы. К настоящему моменту, подземные воды на территории, примыкающей к южному борту долины имеют преобладающую минерализацию 0,7-2,5 г/дм³. Со стороны северного борта долины воды палеогена сохранили свое первоначальное качество, что связано с поступлением вод со стороны материковой части. Вода горизонта на всей территории с севера от долины пресная, с минерализацией 0,42-0,66 г/дм³. По всем компонентам отвечает требуемым нормативам, кроме мутности (до 6,3 ПДК), марганца (до 1,07 ПДК) и железа (до 17 ПДК).

Многолетняя эксплуатация скважин, пробуренных в долине, привела к ухудшению гидрохимической обстановки в центральной части палеодолины. В районе водозабора в различные периоды производилось изучение взаимосвязи верхнемелового, среднепалеогенового и окско-вологодского эксплуатируемых водоносных горизонтов, а также изучение причин изменений химического состава подземных вод в результате интенсивной эксплуатации. Данные режимных наблюдений свидетельствуют об увеличении минерализации подземных вод в различные годы до 1,3 и 2,8 г/дм³ от первоначальной – 0,15 г/дм³ (рис. 4.1).

На водозаборном участке в пределах долины за всю историю его развития было пробурено не менее 100 скважин. В настоящее время в схему водоснабжения включено 8 рабочих скважин (д/6, 139, 185, 190, 134, 136, 173, 192), каптирующих окско-вологодский водоносный горизонт. Основная причина сокращения парка эксплуатационных скважин на участке обусловлена осложнением гидрохимической обстановки в центральной части палеодолины, где был сосредоточен самый высокий и бесконтрольный уровень водоотбора. Разрастание зоны некондиционных вод в центре водозабора и, как следствие, к югу от него, вынудило систематически выводить из эксплуатации скважины с высокими гидрохимическими показателями, или ограничивать их водоотбор. Что в свою очередь привело к значительному восстановлению уровней подземных вод не только в окско-вологодском горизонте, но и в среднепалеогеновом. Так в наблюдательных скважинах

№№ 184, 195 (ранее водозаборных), оборудованных на окско-вологодский горизонт, абсолютные отметки уровней подземных вод на момент бурения зафиксированы на значениях -16,5 (1989 г.) и -16,0 м (1991 г.) соответственно. За период режимных наблюдений (2015-2016 гг.) на фоне нарушенного режима минимальные уровни составили -10,55 и -10,56; максимальные: -8,43, -8,56 соответственно.

При этом, важно отметить ряд факторов, указывающий на причины ухудшения гидрохимической обстановки. Во-первых, не смотря на видимое развитие во времени фронта некондиционных вод с юга-запада на северо-восток [120] в отложениях окско-вологодского и среднепалеогенового возраста, отмечается полное отсутствие этих же превышений в верхнемеловых отложениях, даже на участке, где долина полностью пререзает водоупорные отложения средне-нижнепалеогенового горизонта. Это подтверждается не только актуальными на сегодняшний день результатами химического анализа проб воды из верхнемелового водоносного горизонта, но и ретроспективной информацией [116, 121, 126, 127].

Во-вторых, максимальные концентрации хлоридов приходятся на конец 80-х – начало 90-х годов, когда водоотбор в пределах палеодолины и к югу от нее был максимальный (рис. 3.2).

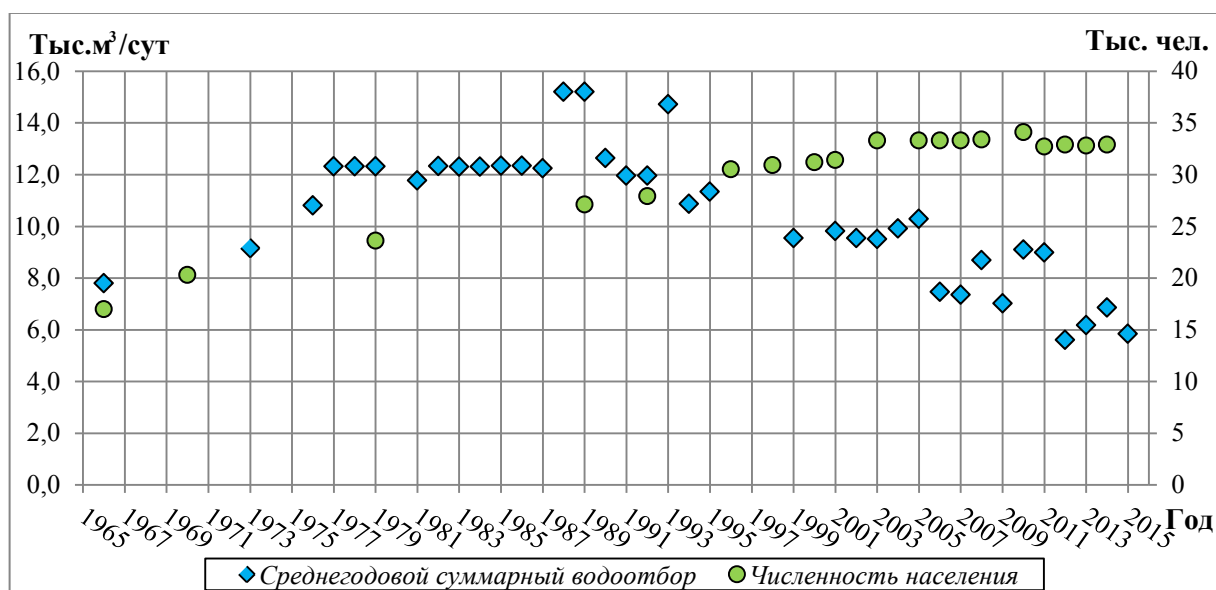


Рисунок 3.2. Динамика величины водоотбора в пределах г. Балтийска

Основная зона засоления, обнаруженная в 80-х годах здесь, имела тенденцию к расширению (рис 3.3-3.4). Именно с этим связано дальнейшее уменьшение водоотбора во временном разрезе, объясняющимся ухудшением гидрохимической обстановки на данной территории: зона засоления расширилась и примкнула в 1997 году к северному борту палеодолины, а к 2016 году фронт засоления продвинулся от центра в восточном направлении.

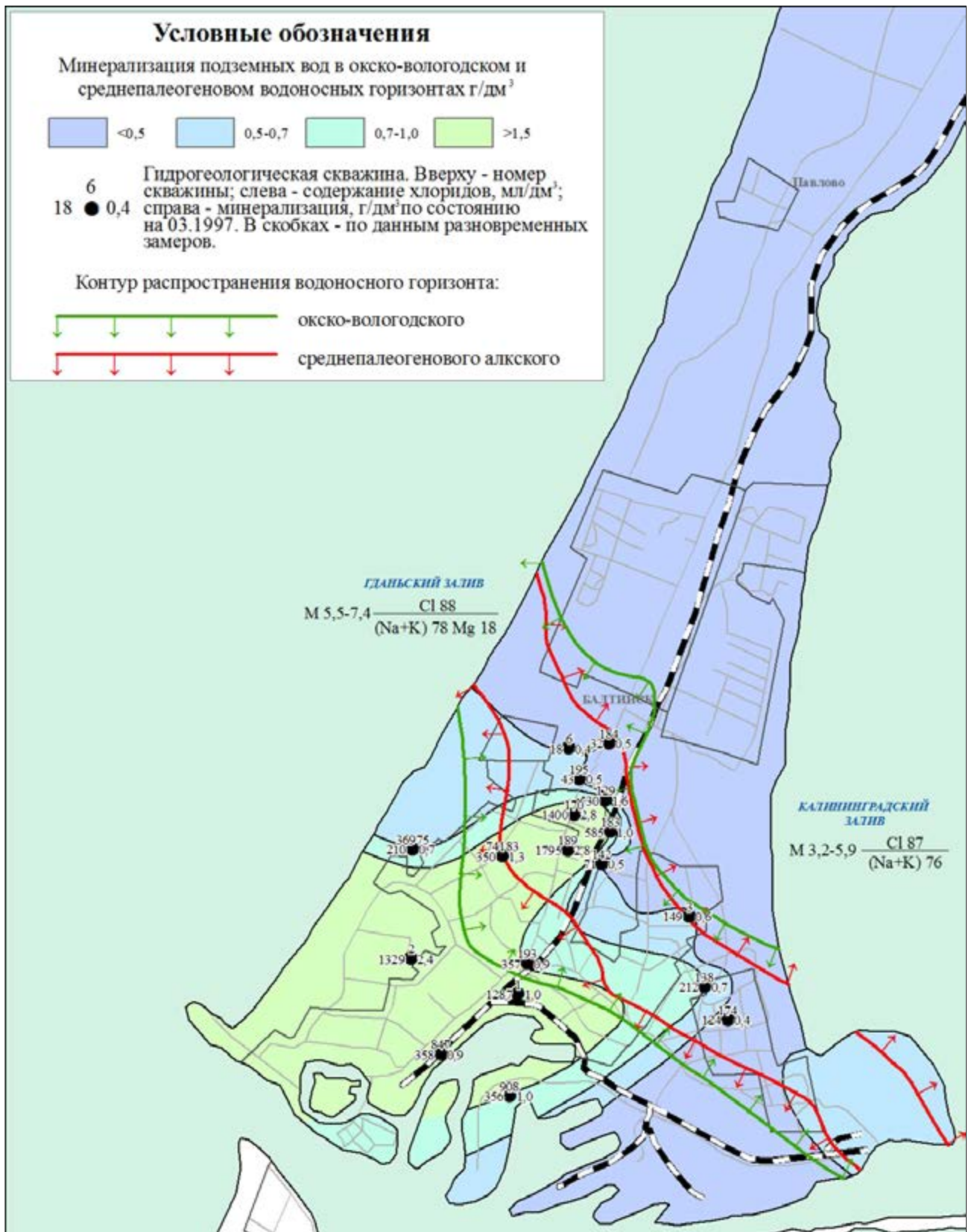


Рисунок 3.3. Выкопировка с гидрохимической схемы водозабора г. Балтийска по состоянию на 03.1997 г.

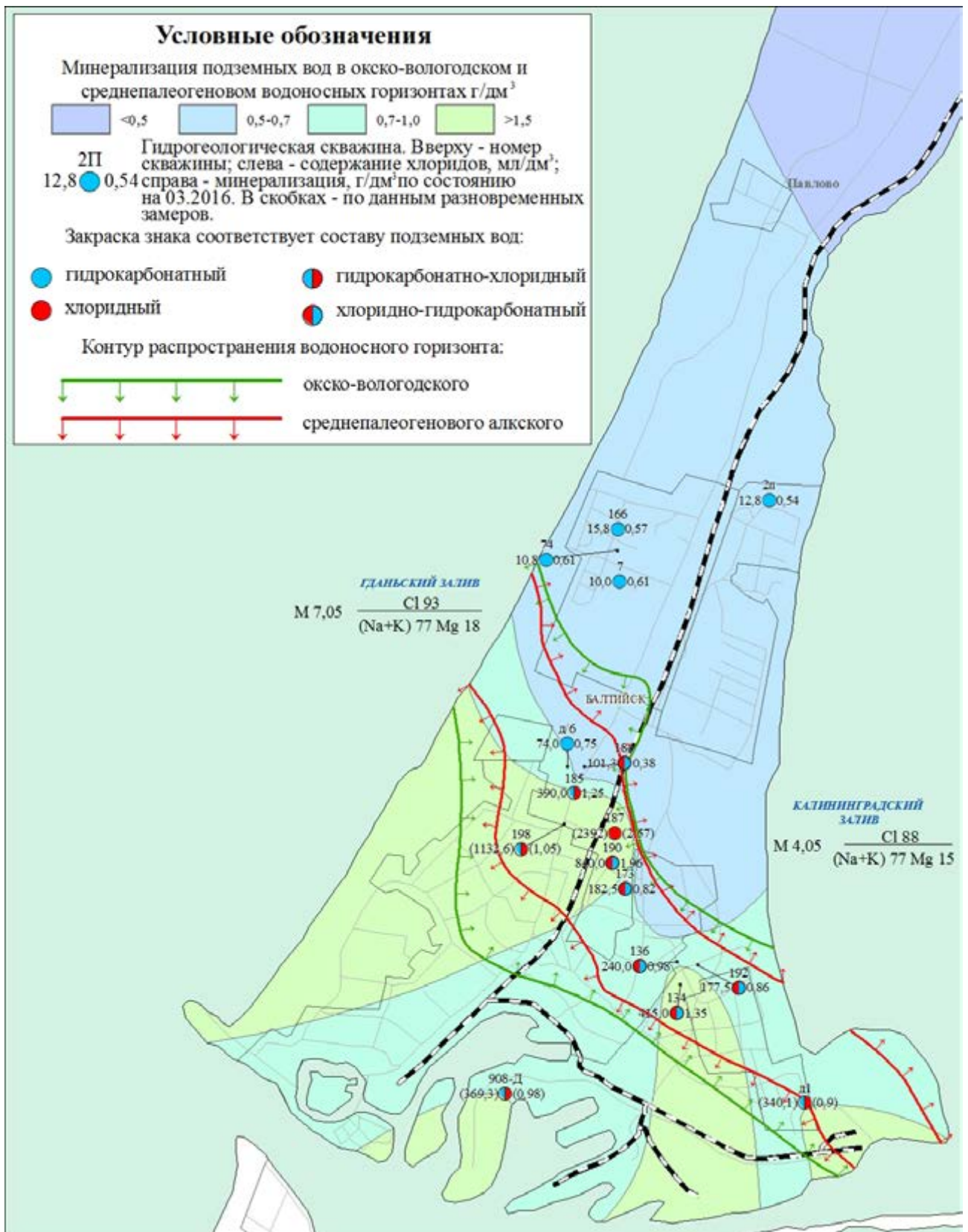


Рисунок 3.4. Карта-схема гидрохимической обстановки водозабора г. Балтийска по состоянию на 03.2016 г.

В-третьих, сопоставление результатов гидрохимического режима подземных вод с величиной водоотбора во временном разрезе, показало неоднозначную реакцию показателей качества на увеличение или уменьшение дебита, в зависимости, от того какой горизонт каптирует скважина и на какой глубине расположен ее фильтровая колонна. Результаты сопоставления графиков приведены на рисунках 3.5-3.9.

На основании анализа данных можно отметить, что изменение водоотбора за период с 2004 по 2016 гг. из скважин № 35 и № 7, оборудованных на среднепалеогеновый алкский и верхнемеловой водоносные горизонты соответственно, не повлияло на концентрацию хлоридов и общую минерализацию подземных вод. Колебания содержания хлорид-ионов подземных вод соответствуют естественным изменениям концентраций в разрезе года для данного района.

Иная ситуация наблюдается на скважинах №№ 139 и 187, каптирующих окско-вологодский водоносный горизонт. Здесь на фоне естественных колебаний общей минерализации и содержания хлоридов в годовом разрезе, прослеживается сложная корреляционная связь с нагрузкой на каждую скважину. При этом стоит отметить важную особенность. В отложениях палеодолины наблюдается явная профильная гидрохимическая зональность. Так близко в расположенных скважинах, но имеющих различную глубину установки фильтровой колонны, величина концентрации хлоридов, а, следовательно, и минерализации, будет больше у той, чей фильтр оборудован глубже.

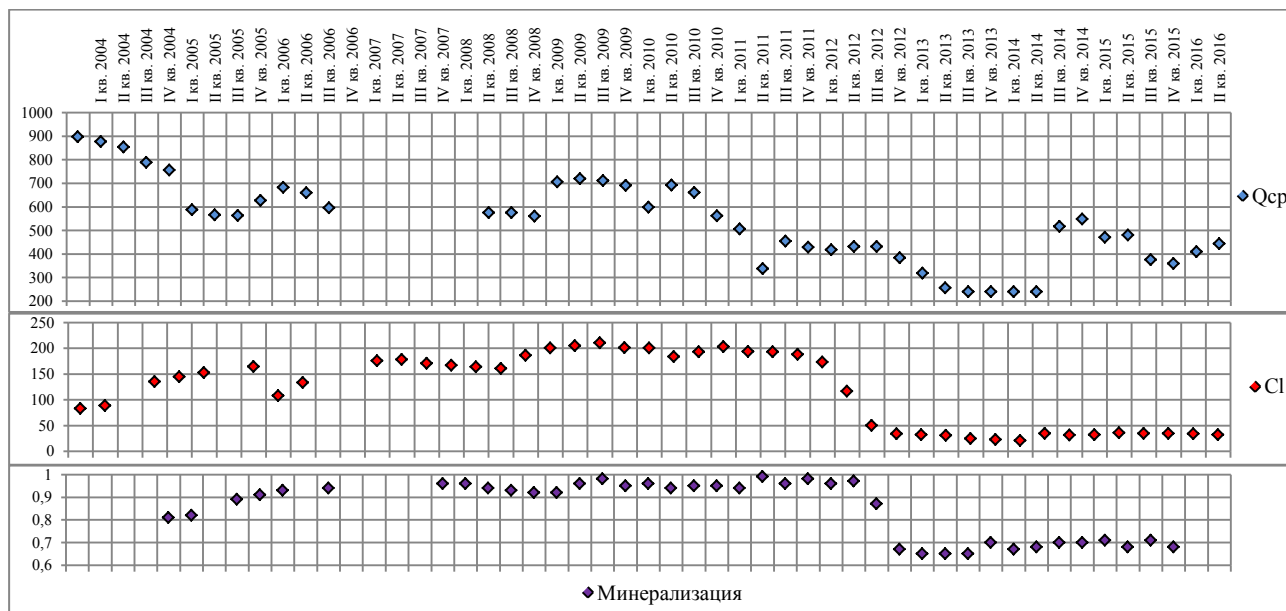


Рисунок. 3.5. Изменение общей минерализации и содержания хлоридов в подземных водах окско-вологодского водоносного горизонта за период постоянного водоотбора из скв. 139 с 2004 по 2016 гг.

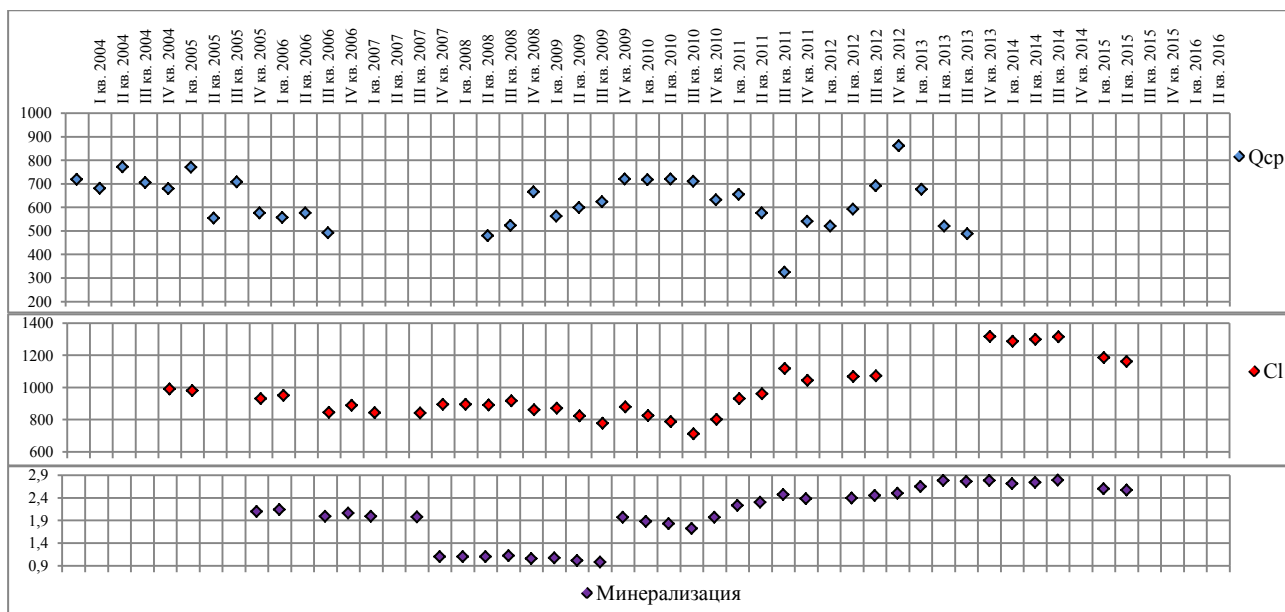


Рисунок 3.6. Изменение общей минерализации и содержания хлоридов в подземных водах окско-вологодского водоносного горизонта за период постоянного водоотбора из скв. 187 с 2004 по 2013 гг.

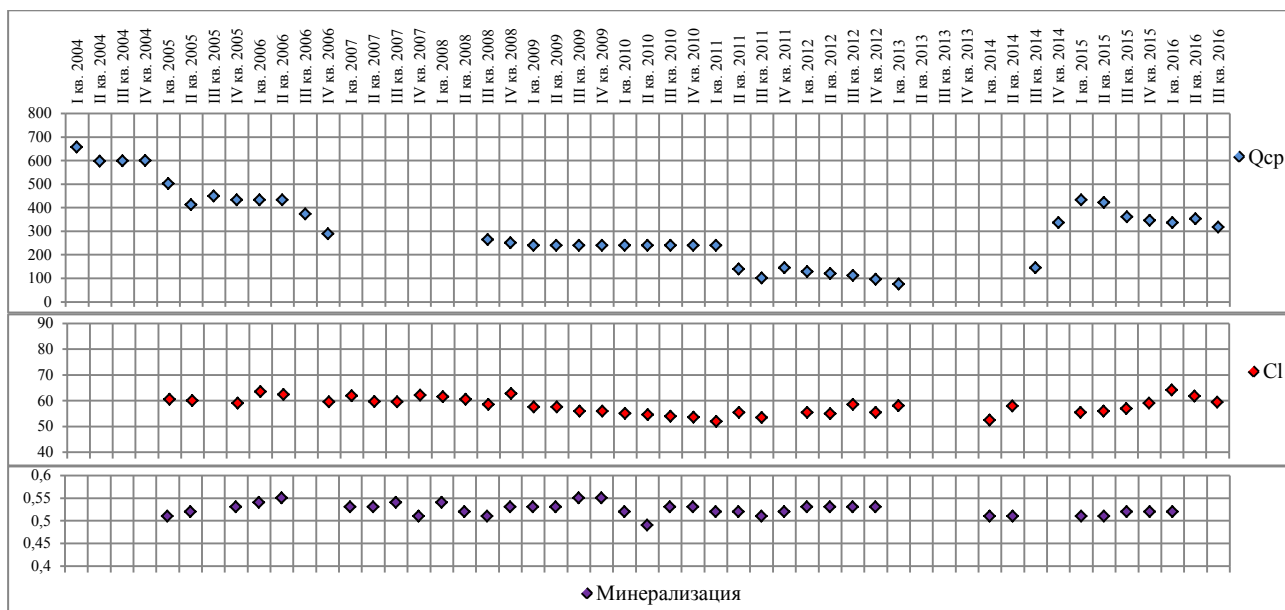


Рисунок 3.7. Изменение общей минерализации и содержания хлоридов в подземных водах верхнемелового водоносного горизонта за период постоянного водоотбора из скв. 35 с 2004 по 2016 гг.

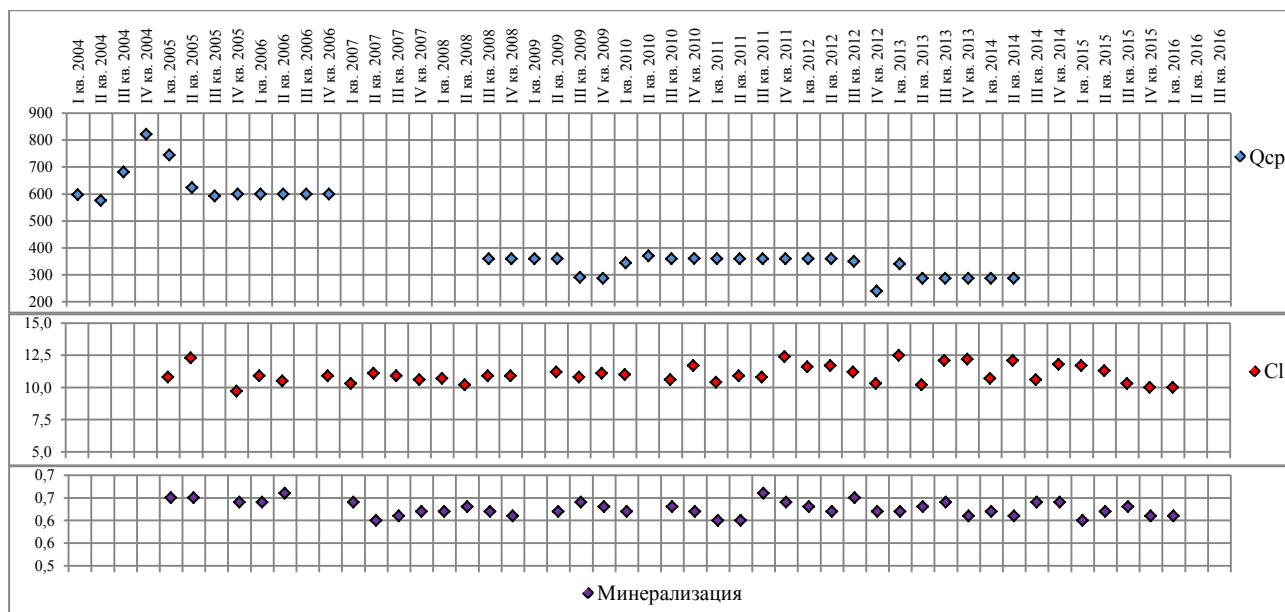


Рисунок 3.8. Изменение общей минерализации и содержания хлоридов в подземных водах среднепалеогенового алкского водоносного горизонта за период постоянного водоотбора из скв. 7 с 2004 по 2014 гг.

3.6. Выводы к главе 3

На основании изучения закономерностей формирования подземных вод прибрежных водоносных горизонтов Балтийской косы можно заключить, что эксплуатационные запасы пресных вод питьевого назначения района исследования ограничены. В пределах месторождения наблюдается сложная корреляционная зависимость между показателями водоотбора в каждой конкретной скважине, величиной содержания в ней химических некондиционных показателей (хлориды, минерализация) и уровнями подземных вод во временном разрезе.

По результатам детального анализа гидрохимического и гидродинамического режимов подземных и поверхностных вод можно сделать следующие выводы:

- 1) качественные показатели подземных вод района исследования, в том числе вологодско-московского, среднепалеогенового-алкского и верхнемелового водоносных горизонтов в целом соответствуют требованиям, предъявляемым к питьевым водам, за исключением, высокого природного содержания железа, марганца и как следствие органолептических показателей. При этом важно отметить повсеместное отсутствие следов бактериального загрязнения, и иных загрязнений (тяжелые металлы, нефтепродукты, пестициды и др.), имеющих техногенное происхождение.
- 2) подземные воды верхнемелового водоносного горизонта, на всем протяжении длительного периода эксплуатации с 1945 по 2016 годы, не претерпели изменений

химического состава воды, даже на участке отсутствия водоупорных средне-нижнепалеогеновых отложений в пределах распространения фронта некондиционных вод в вышележащих четвертичных отложениях погребенной долины. Этот факт исключает возможность нарушения профильной гидрохимической зональности, которая наблюдалась в смежных районах Калининградской области.

- 3) фатальное увеличение зоны некондиционных вод приходится на период максимального водоотбора, сосредоточенного в центральной части палеодолины и к югу от нее, когда понижения уровня подземных вод здесь достигали максимальных величин, а периферия депрессионной воронки значительно отодвигалась под акваторию Балтийского моря.
- 4) вектор распространения фронта некондиционных вод в плане имеет четкую направленность с юго-запада на северо-восток, от предполагаемого источника с областью большей концентрации хлорид-ионов, достигающей $2500-3500 \text{ мг/дм}^3$ к области смещения фронта некондиционных вод с метеорными водами и водами подземного стока со стороны Самбийской возвышенности. В разрезе можно отметить тот факт, что воды с большей концентрацией хлоридов тяготеют к подошве пласта.

Все перечисленные факторы указывают на характерные особенности процесса интрузии морских вод. На основе полученных выводов сформулировано **первое защищаемое положение:**

Основной причиной ухудшения качества пресных подземных вод прибрежных водоносных горизонтов Балтийской косы является внедрение (интрузия) морских солоноватых вод Балтийского моря, развивающееся под действием интенсивного водоотбора. Роль других факторов, таких как естественная гидрохимическая зональность и техногенное загрязнение, незначительна.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Разнообразие описанных выше гидрогеологических условий и сложный характер формирования режима подземных вод при опытном опробовании требует обязательного анализа и интерпретации результатов опытно-фильтрационных работ (ОФР) [6].

Целью ОФР является определение гидрогеологических параметров, используемых в дифференциальных уравнениях, описывающих движение подземных вод. На практике интерпретация результатов ОФР, как правило, осуществляется с использованием аналитических зависимостей, предполагающих сведение природных гидрогеологических условий к сильно упрощенным расчетным схемам. Полученные таким образом эффективные параметры не всегда корректно применять для математического моделирования, предполагающего использование более гибкой геофильтрационной схематизации.

В тех случаях, когда требуется получить более полный анализ геофильтрационного процесса, следует переходить к обработке откачек с использованием метода математического моделирования. Особенно это актуально для обоснования параметров в условиях перетекания из смежных водоносных горизонтов и связи пресных подземных вод с солеными водами морских заливов [57, 59]. Учесть такое количество факторов в полной мере не позволяет ни один аналитический метод интерпретации результатов ОФР. Следовательно, использование аналитических зависимостей в подобных случаях упрощает схематизацию условий и делает полученные гидрогеологические параметры сильно обобщенными.

4.1. Результаты опытно-фильтрационных работ

Региональная оценка эксплуатационных запасов подземных вод ПАБ, показала, что для многих крупных водозаборов, сооруженных на побережье Балтийского моря, существует реальная опасность подтягивания соленых морских вод. Характер взаимосвязи в системе море - подземные воды определяется геологическими условиями выходов водоносных и водоупорных горизонтов в море, а также гидродинамическими особенностями контакта поверхностных и подземных вод [40]. Специальные гидрогеологические исследования и наблюдения, посвященные вопросам граничных условий в пределах акватории Балтийского моря, имеют очень отрывочный характер. Особенно актуальным является детальная диагностика результатов опытно-фильтрационных работ, проведенных в прибрежной зоне.

В рамках исследования был выполнен анализ всех опытно-фильтрационных работ: начиная от рассмотрения места проведения и условий опыта, заканчивая детальным изучением результатов ОФР. В конечном итоге, для модельной интерпретации была выбрана

кустовая откачка, проведенная сотрудниками Калининградской гидрогеологической экспедиции в 1984 г. в осевой части палеодолины. Опытный куст состоял из 1-ой центральной и 5-ти наблюдательных скважин (рис. 4.1). Центральная скважина № 11 и наблюдательные скважины №№ 8, 12, 14 и 15 оборудованы на окско-вологодский водоносный горизонт, наблюдательная скважина № 16 оборудована на вологодско-московский водоносный горизонт.

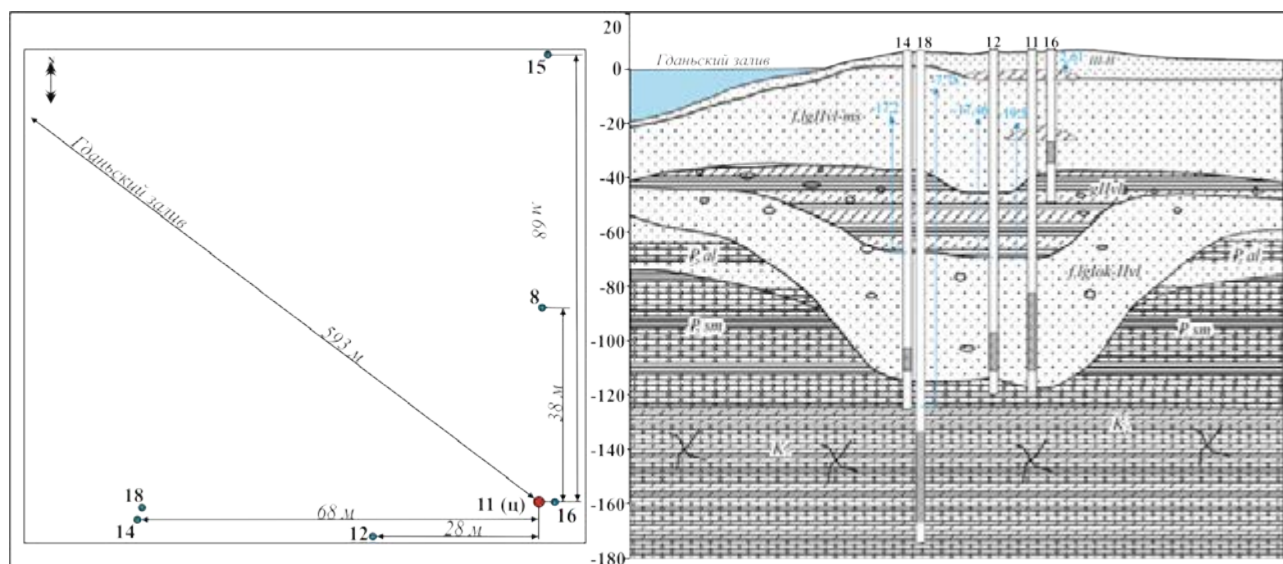


Рисунок 4.1. Схема опытного куста скважин и схематический разрез участка работ (безмасштабные)

Откачка из скважины № 11 проводилась в режиме постоянного дебита в период зимней межени при низком положении уровней в горизонте и незначительном их изменении во времени (2-3 см). Дебит центральной скважины составлял 17,3 л/с при понижении 16,5 м в возмущающей скважине и 0,92-1,29 – в наблюдательных. Продолжительность откачки 240 часов.

Ранее, при подсчете запасов в 1984 г. интерпретация материалов откачки выполнена с помощью методов Джейкоба (способы временного, площадного и комбинированного прослеживания), метод эталонных кривых Хантуша-Джейкоба [70]. Расчеты водопроводимости (km) и пьезопроводности (a^*) выполнены по результатам снижения уровня при опытной кустовой откачке из скважины № 11.

Как видно из рисунка 4.2. графики $S\text{-}lg(t)$ имеют сложную форму, характерную для наличия процессов перетекания.

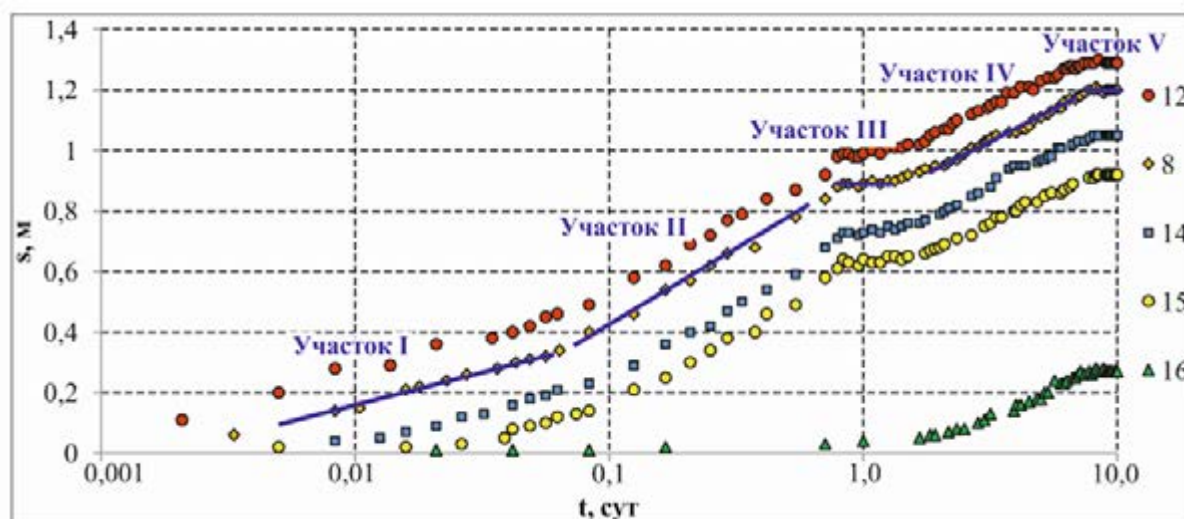


Рисунок 4.2. График временного прослеживания.

Расчеты параметра km по прямолинейному участку IV графика $S\text{-}lg(t)$ дали одинаковое значение водопроводимости, равное $684 \text{ м}^2/\text{сут}$. Поскольку питание основного водоносного горизонта осуществляется за счет перетока из вышележащего вологодско-московского и предположительно из нижележащего верхнемелового водоносных горизонтов, этот параметр является обобщенным.

Для контроля обработка параметров для IV участка выполнена способом комбинированного прослеживания. Водопроводимость, определенная по конечному общему прямолинейному участку комбинированного графика получилась равной $684 \text{ м}^2/\text{сут}$, такая же способом временного прослеживания, пьезопроводность — $8,5 \cdot 10^4$.

Параметры, рассчитанные по графику $S\text{-}lg(r)$, построенному на момент стабилизации и графику $lg(s)\text{-}lg(r)$ эталонной кривой по участку III, также характеризуют обобщенные параметры основного горизонта. В первом случае водопроводимость составила $729 \text{ м}^2/\text{сут}$, пьезопроводность $1,25 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{сут}$. Во втором случае водопроводимость оказалась почти равна $672 \text{ м}^2/\text{сут}$.

Водопроводность по II участку имеет одинаковые значения по всем наблюдательным скважинам и равна $516 \text{ м}^2/\text{сут}$. Пьезопроводность изменяется от $3,1 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{сут}$ (по ближайшей наблюдательной скважине до $6,2 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{сут}$ (по дальней наблюдательной скважине). Среднеарифметическое значение a^* равно $4,71 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{сут}$.

Для контроля определение параметров по участку II проведено методом эталонных кривых (метод Уолтона). Среднеарифметические значения водопроводимости и пьезопроводности по этому методу составили 489 и $4 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{сут}$.

В таблице 4.1. сведены значения параметров в $\text{м}^2/\text{сут}$ полученные всеми методами обработки.

Таблица 4.1.

№ набл. скв.	Временное прослеживание $S\text{-lg}(t)$				Площадное прослеживание $S\text{-lg}(r)$		Комбинированное прослеживание $S\text{-lg}(\frac{t}{r^2})$		Метод Уолтона $\lg(s)\text{-}\lg(t)$		Метод эталонной кривой $\lg(s)\text{-}\lg(r)$
	II		III		IV		IV		II		III
	km	a*	km	a*	km	a*	km	a*	km	a*	km
12	516	$3,1 \cdot 10^4$	684	$7,7 \cdot 10^4$	729	$1,25 \cdot 10^5$	684	$8,5 \cdot 10^4$	483	$2,97 \cdot 10^4$	672
8	516	$3,9 \cdot 10^4$	684	$7,4 \cdot 10^4$					495	$4,15 \cdot 10^4$	
14	516	$5,65 \cdot 10^4$	684	$9,6 \cdot 10^4$					483	$4,4 \cdot 10^4$	
15	516	$6,2 \cdot 10^4$	684	$8,5 \cdot 10^4$					495	$4,48 \cdot 10^4$	
Ср.	516	$4,71 \cdot 10^4$	684	$8,3 \cdot 10^4$					489	$4,0 \cdot 10^4$	

При откачке из окско-вологодского водоносного горизонта происходило снижение уровня в наблюдательной скважине № 16, оборудованной на смежный вологодско-московский водоносный горизонт, что служит прямым доказательством перетекания. Это подтверждает косвенный признак – характерная для процесса перетекания форма графика $S\text{-lg}(t)$. В скважинах, оборудованных на верхнемеловой водоносный горизонт, снижения уровней не отмечено, но разность напоров, составляющая 12-13 м, позволяет судить о возможном перетекании из нижнего горизонта.

В процессе откачки наступила стабилизация уровня в верхнем питающем водоносном горизонте, вероятно обусловленная его гидравлической связью с поверхностными водоемами, что в свою очередь привело к стабилизации уровня в опробуемом водоносном горизонте. Для определения параметра перетекания была применена схема с перетеканием с постоянным уровнем в питающем пласте. Результаты расчета для окско-вологодского водоносного горизонта сведены в таблицу 4.2.

Результаты расчета для окско-вологодского водоносного горизонта

Таблица 4.2.

№ набл. скв.	В, м			
	$S = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{1,12}{\bar{r}}$	Метод Уолтона $\lg(s)\text{-}\lg(t)$	Площадное прослеживание $S\text{-lg}(r)$	Метод эталонной кривой $\lg(s)\text{-}\lg(r)$
12	412	560	561	428
8	459	506		
14	595	544		
15	569	577		
Ср.	508	547		

В связи с ограниченным числом определений параметра перетекания и заметным расхождением в результатах определений в качестве расчетной величины было принято максимальное значение из полученных – 561 м.

Важно отметить, что при всем многообразии аналитических схем для обработки данных откачки, ни одна из них не отвечает реальным условиям проведения опыта, а именно «пласт-полосе» с полупроницаемыми границами, осложненной перетеканием из смежного

(вышележащего) водоносного горизонта. Диагностическим признаком такой схематизации является участок II, отражающий плановую неоднородность – выход депрессионной воронки на границу окско-вологодского и среднепалеогенового алкского водоносного горизонта, характеризующегося более слабыми фильтрационными свойствами по сравнению с первым. Соответственно, участок I отражает распространение депрессионной воронки в окско-вологодском водоносном горизонте. Далее начинает работать перетекание, выражающееся характерной «полкой» (участок III) на графике. Факт перетекания подтверждается синхронной реакцией уровней подземных вод в смежном вологодско-московском водоносном горизонте. Участок IV отвечает суммарной водопроводимости всей толщи с учетом плановой неоднородности. Далее депрессионная воронка вероятнее всего выходит на границу обеспеченного питания, причем в обоих водоносных горизонтах, о чем свидетельствует участок V на графике (рис. 3).

Таким образом, корректное определение геофильтрационных параметров, особенно перетекания, с использованием аналитических методов в условиях многопараметричности в ряде случаев представляется затруднительным. Наиболее эффективным способом определения всех геофильтрационных параметров, входящих в балансовую схему участка работ, является, очевидно, воспроизведение опыта на математической модели [20].

4.2. Разработка математической геофильтрационной модели

Модель разработана автором на основе топографических карт масштаба 1:50 000 и 1:200 000, а также материалов АО «Северо-Западное ПГО», полученных в ходе работ с 2014 по 2016 годы, а именно – результатов бурения, опытно-фильтрационных работ, а также режимных наблюдений по скважинам. Отдельно были изучены предыдущие научно-производственные и исследовательские работы, проведенные на данной территории с 1954 г. по 2016 г.

Для реализации модели использован лицензионный программный комплекс Processing ModFlow v. 8. Выбор данной программы для имитации опытного опробования обусловлен тем, что далее на разработанной модели будут решаться прогнозные задачи, что повышает степень надежности к полученным в ходе численных экспериментов параметрам [66, 68].

4.2.1. Дискретизация модельной области

Моделируемая территория вписана в прямоугольную область размером 10600×11600 м и покрыта неравномерной ортогональной сеткой, сгущающейся на участке проведения ОФР 1984 г (рис. 4.3). Координаты области приведены в таблице 4.3.

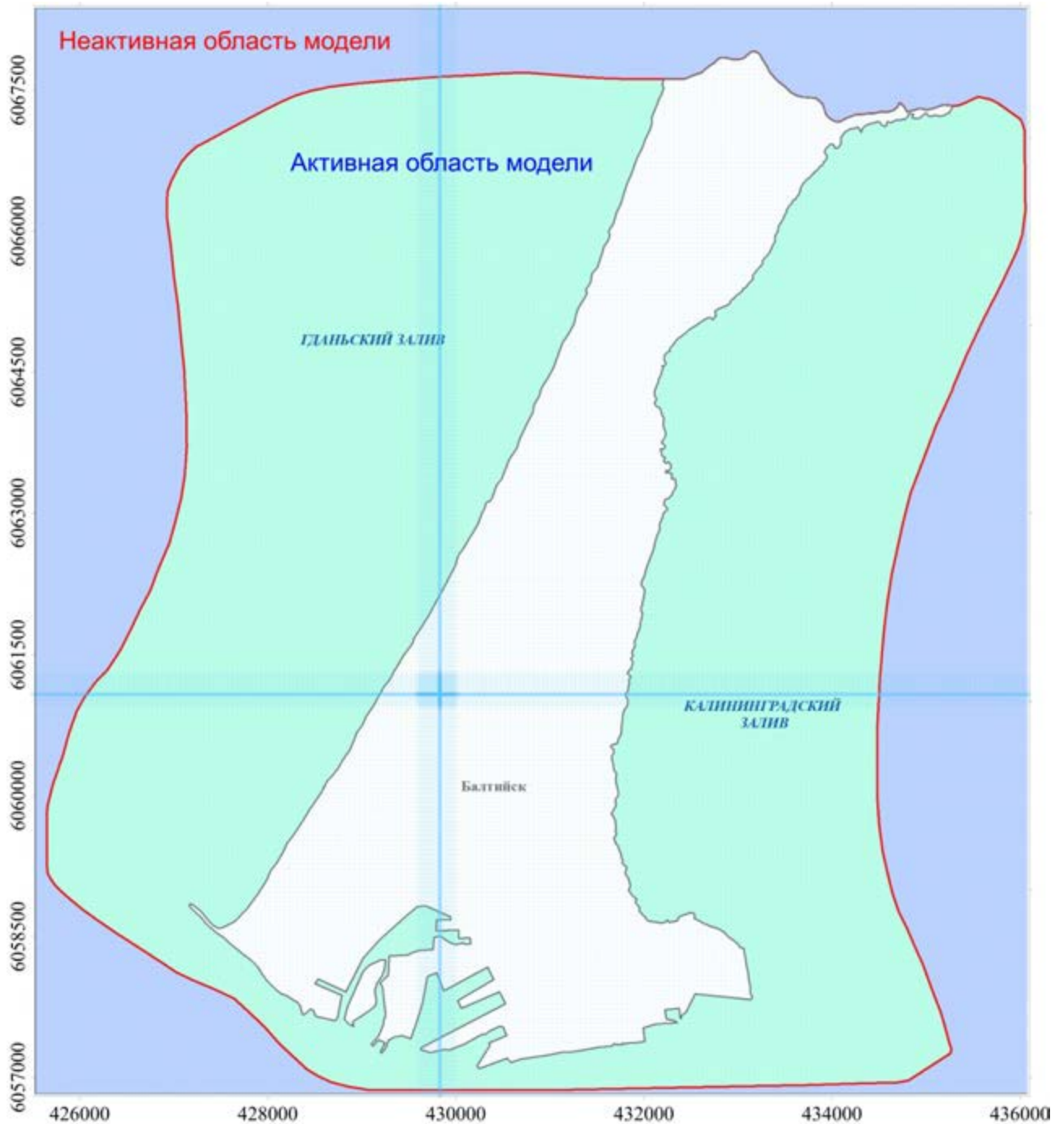


Рисунок 4.3. Геометрическая разбивка для обоснования параметрической базы численной модели

Таблица 4.3.

Значение	X	Y
Минимальное значение	425500	6056800
Максимальное значение	436100	6068400

Размеры расчетных ячеек в плане находятся в диапазоне от 1,25 м в районе центральной скважины и до 50 м на периферии. Выбор подобной дискретизации позволяет качественно описать граничные условия, выделить основные зоны неоднородности и изучить структуру фильтрационного потока.

4.2.2. Схематизация гидрогеологических условий

Схематизация гидрогеологических условий рассматриваемой территории дается по результатам проработки и анализа фактического материала. Имеющиеся данные позволяют выделить 6 модельных слоев в пределах исследуемого гидрогеологического разреза. Их краткая характеристика приведена в таблице 4.4.

Характеристика гидрогеологических подразделений района исследования.

Таблица 4.4.

Номер модельного слоя	Горизонт (комплекс)	Индекс	Литологическое описание пород	Степень пригодности для водоснабжения
Слой 1. Водоносный	Четвертичный надморенный ВК	III-H	Мелко- и тонкозернистые пески с прослоями суглинков и глин	Не пригодны
	Московский ОВУГ	gIIms	Валунные суглинки с прослоями и линзами р/з песков и ленточных глин (спорадическое распространение)	-
Слой 2. Водоносный	Вологодско-московский межморенный ВГ	f,lgIIvl-ms	Разнозернистые пески, пески с суглинком	Не пригодны
Слой 3. Водоупорный	Вологодский ОВУГ	gIIvl	Суглинки, глины и супеси с содержанием до 20-30 % гравия	-
Слой 4. Водоносный	Окско-вологодский межморенный ВГ	f, lgIok-IIvl	Разнозернистые пески с галькой, локализовано суглинки и глины	Используются
	Среднепалеогеновый прусский ВГ	P _{pr}	Разнозернистые глинистые пески и алевриты.	Не пригодны
	Среднепалеогеновый алкский ВГ	P _{2al}	Мелко- и среднезернистые пески, алевриты	Используются
Слой 5. Водоупорный	Средне-нижнепалеогеновый ВУГ	P _{2sm} +P ₁	Глины, алевролиты и алевриты.	-
Слой 6. Водоносный	Верхнемеловой ВГ	K ₂	Трещиноватые мергели и алевриты	Используются

Для подробного литологического описания пород участка проведения опыта использованы результаты лабораторного определения гранулометрического состава и коэффициентов фильтрации грунтов в разведочных скважинах [124]. Интервал отбора проб рыхлых пород составил 1-4 метра, связанных пород 1-8 м.

Водовмещающие породы окско-вологодского водоносного горизонта в пределах центральной части погребенной долины представлены песчаным материалом с преобладанием в верхней части разреза до глубины 81-90 м частиц диаметром 0,05-0,25 мм

более 50%, рыхлые отложения при этом классифицируются как тонко-мелкозернистые пески. Ниже по разрезу отмечается преобладание (более 50%) среднезернистой фракции (0,25-0,5 мм) и увеличение процентного содержания от 0,9 до 85% крупнозернистой (0,5-1 мм) и грубозернистой (>1 мм) фракций. Песчаный материал классифицируется как средне-крупнозернистые пески. Коэффициент неоднородности изменяется от 3 до 10, что позволяет считать отложения в разрезе практически однородными.

Водовмещающие отложения в пределах борта погребенной долины представлены песчаным материалом с преобладанием фракции 0,25 в верхней части разреза, ниже по разрезу их сменяет мелкозернистые среднепалеогеновые пески.

Для суглинков и глин вологодского относительно водоупорного горизонта характерна слабая проницаемость, коэффициенты фильтрации, определенные лабораторным способом, изменяются от 0,01 м/сут до 0,1 м/сут для глин и от 0,01 м/сут до 0,4 м/сут для суглинков.

Водовмещающие породы среднепалеогенового водоносного горизонта представлены песчаным материалом с преобладанием частиц диаметром 0,05-0,25 мм, рыхлые отложения при этом характеризуются как тонко-мелкозернистые пески.

Для алевроитов средне- нижнепалеогенового возраста характерно преобладание частиц диаметром 0,05-0,1 мм при содержании пылеватой фракции (0,002-0,05 мм) от 12,2% до 31,8%. Коэффициенты фильтрации, определенные лабораторным способом, для этих пород имеют значения от 0,03 до 0,5 м/сут.

Общая площадь модели составляет 122,96 км². Контур активной (рабочей) области (внешние границы) на большей части своего протяжения соответствует естественным гидродинамическим границам.

Для первого модельного слоя, имеющего непосредственный контакт с морскими водами, задается граничное условие I рода во всех блоках, располагающихся в пределах морской акватории.

Для модельных слоев со второго по четвертый схематизация внешних границ выполнена на основе имеющихся гидрогеологических данных.

Северная граница модельной области проводится по линии пп. Береговое-Приморск и совпадает с южной границей региональной численной геофильтрационной модели, разработанной в рамках объекта «Региональная численная геофильтрационная модель района Приморского месторождения янтаря», ведущим научным сотрудником компании ООО «Геологический центр СПбГУ» – Филиным Р.А. На границе задается ГУ II рода с расходом, снятым с численной модели, охватывающей западную часть Калининградского полуострова. Величина модельных расходов на южной границе региональной модели составляет 289,3 м³/сут [124].

Южная граница модельной области проводится в осевой части Калининградского судоходного канала и задается ГУ II рода ($Q=0$).

Западная граница модельной области принимается в качестве граничного условия I рода, что обусловлено выклиниванием вологодского водоупорного горизонта, и связи среднепалеогенового алкского водоносного горизонта с морскими водами Гданьского залива. Этот факт подтвержден геологическим описанием картировочной скв. № 17, пройденной в акватории Гданьского залива.

Восточная граница модельных слоев со второго по четвертый принимается в качестве ГУ II рода ($Q=0$).

Пятый и шестой модельные слои принимаются неограниченным по площади.

При построении структурной поверхности подошвы четвертичного надморенного водоносного комплекса использовались карта изолинии дневной поверхности (рис. 4.4) и карта-схема мощности отложений надморенного комплекса. Для последующих построений поверхностей раздела слоев использовались данные по мощностям подстилающих горизонтов (рис. 4.5-4.7), которые вычитались из предыдущих поверхностей.

В качестве исходной таблицы для построения карт-схем мощностей гидрогеологических подразделений использован каталог скважин, составленный по результатам сбора и анализа имеющихся материалов. В каталог вошли данные по всем скважинам, вскрывающим верхнемеловые отложения (нижний слой модели). Данные по скважинам, вскрывающим вологодско-московский, окско-вологодский и среднепалеогеновый алкский водоносные горизонты, внесены в данный каталог выборочно, исходя из позиции разумной достаточности.

Отдельно стоит отметить 4 и 5 модельные слои, отождествляющие среднепалеогеновые отложения, прорезанные палеодолиной. В районе вреза долины в отложения алкской свиты задается зона неоднородности с фильтрационными и емкостными параметрами окско-вологодских отложений. Особое внимание также уделено построению структурных поверхностей кровли и подошвы 4 модельного слоя в районе вреза, обеспечивающее детальное соответствие модельного представления реальному положению погребенной долины в пространстве.

В локальной области, где долина полностью прорезает отложения самбийской свиты, задается эффективная мощность водоупорного средне-нижнепалеогенового горизонта (1-5 м), величина которой вычитается от абсолютных отметок подошвы 4 модельного слоя. Фильтрационные параметры этой области неоднородности соответствуют параметрам верхнемеловых отложений.

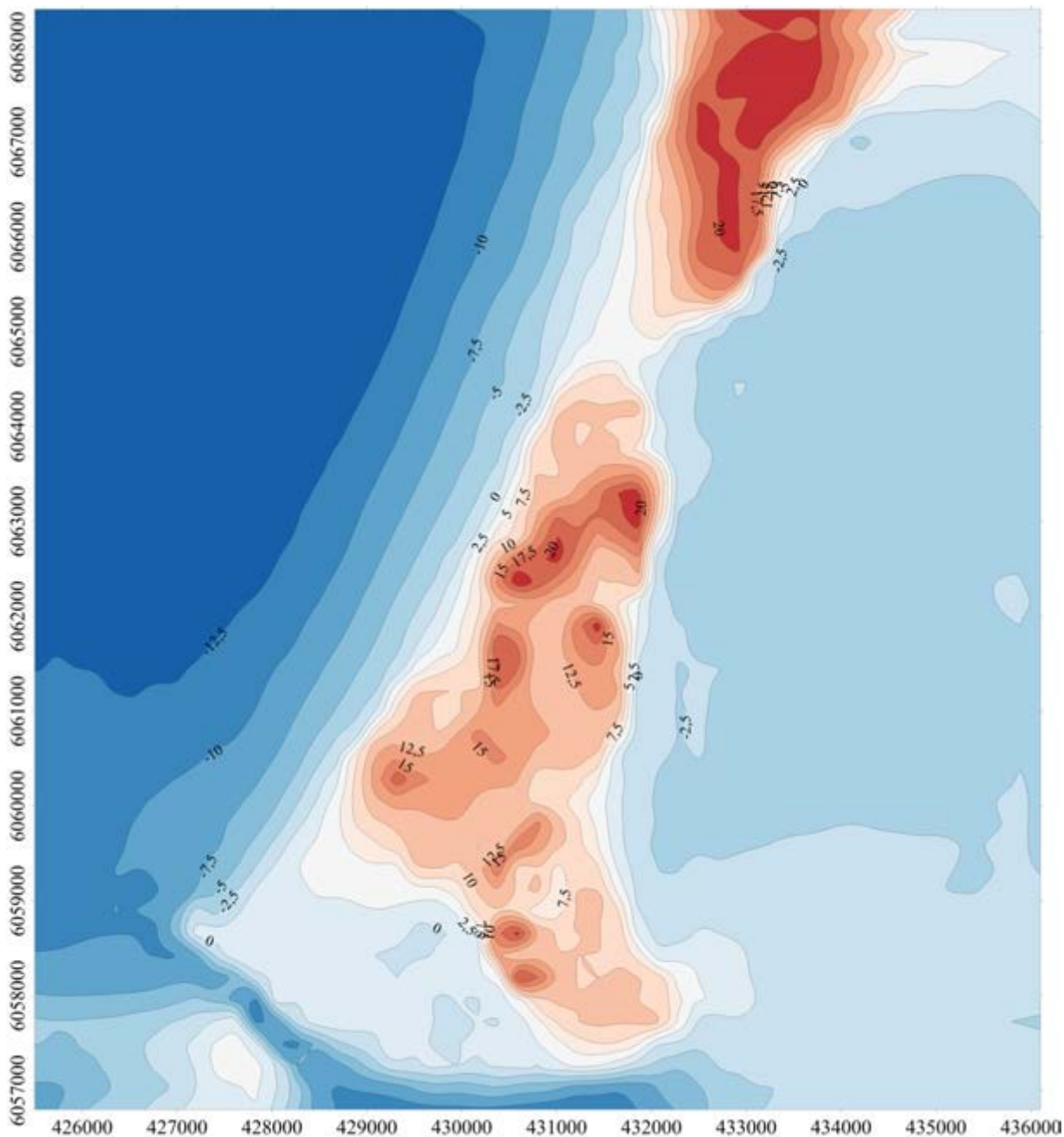


Рисунок 4.4. Карта изолинии дневной поверхности (включая изобаты глубин морских заливов) в метрах абсолютной высоты

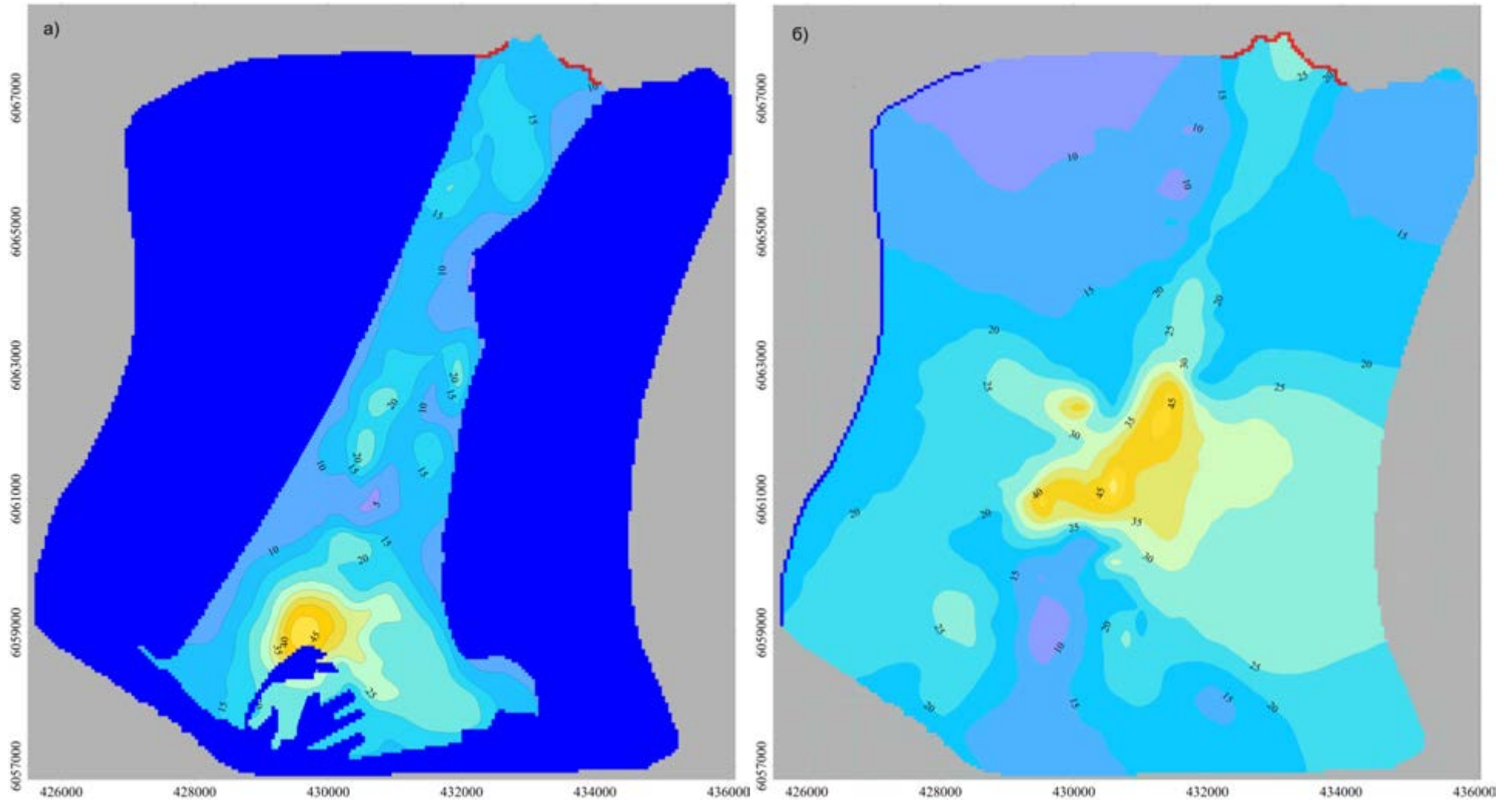


Рисунок 4.5. Схема представления модельной области – граничные условия и мощность гидрогеологических подразделений: а) первый модельный слой б) второй модельный слой. Серым цветом отмечены неактивные блоки, синим – блоки с ГУ I рода ($H=const$), красным – блоки с ГУ II рода с заданным расходом ($Q=const$).

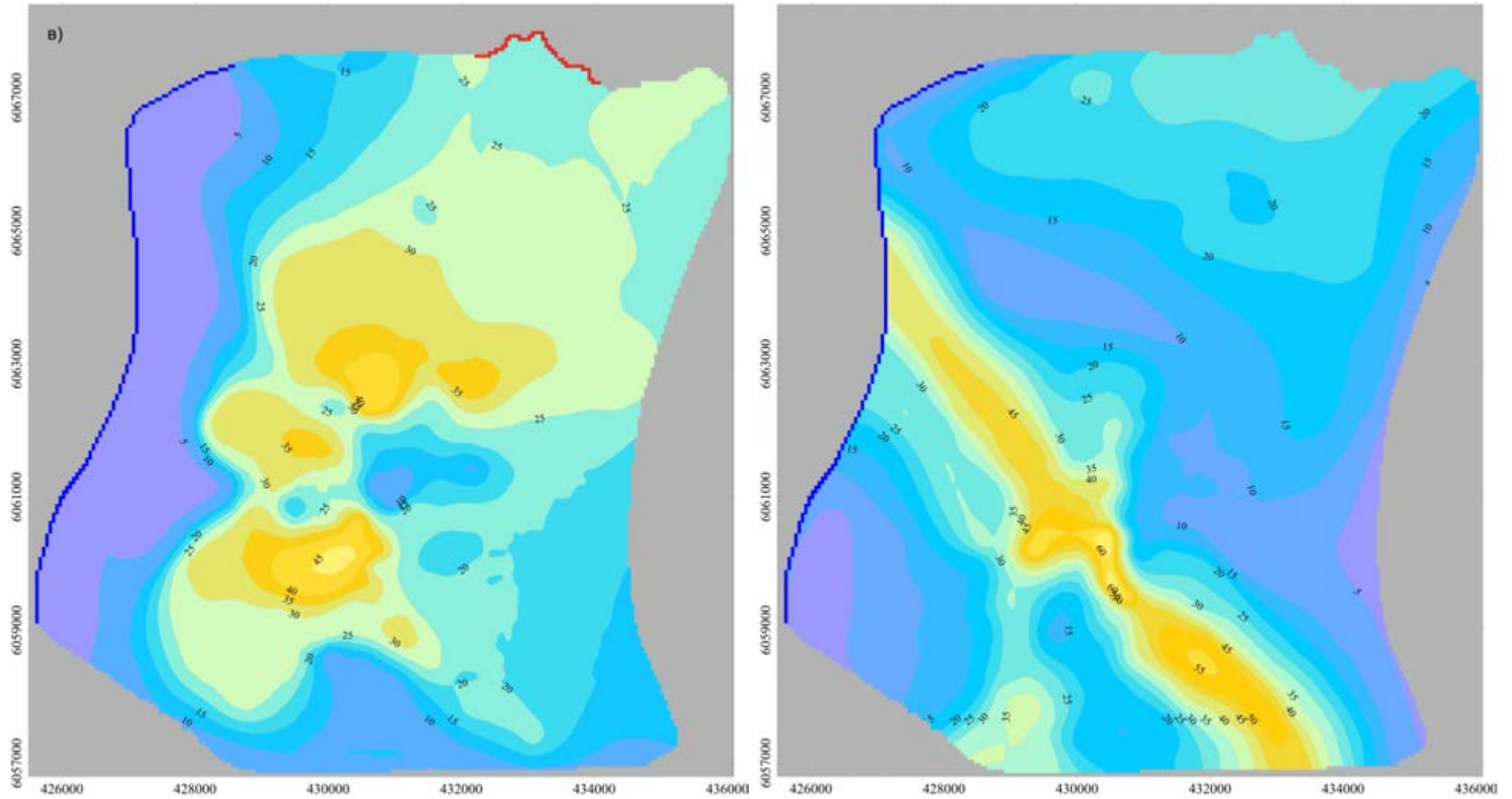


Рисунок 4.6. Схема представления модельной области – граничные условия и мощность гидрогеологических подразделений: в) третий расчетный слой
 г) четвертый расчетный слой. Серым цветом отмечены неактивные блоки, синим – блоки с ГУ I рода ($H=const$), красным – блоки с ГУ II рода с заданным расходом ($Q=const$).

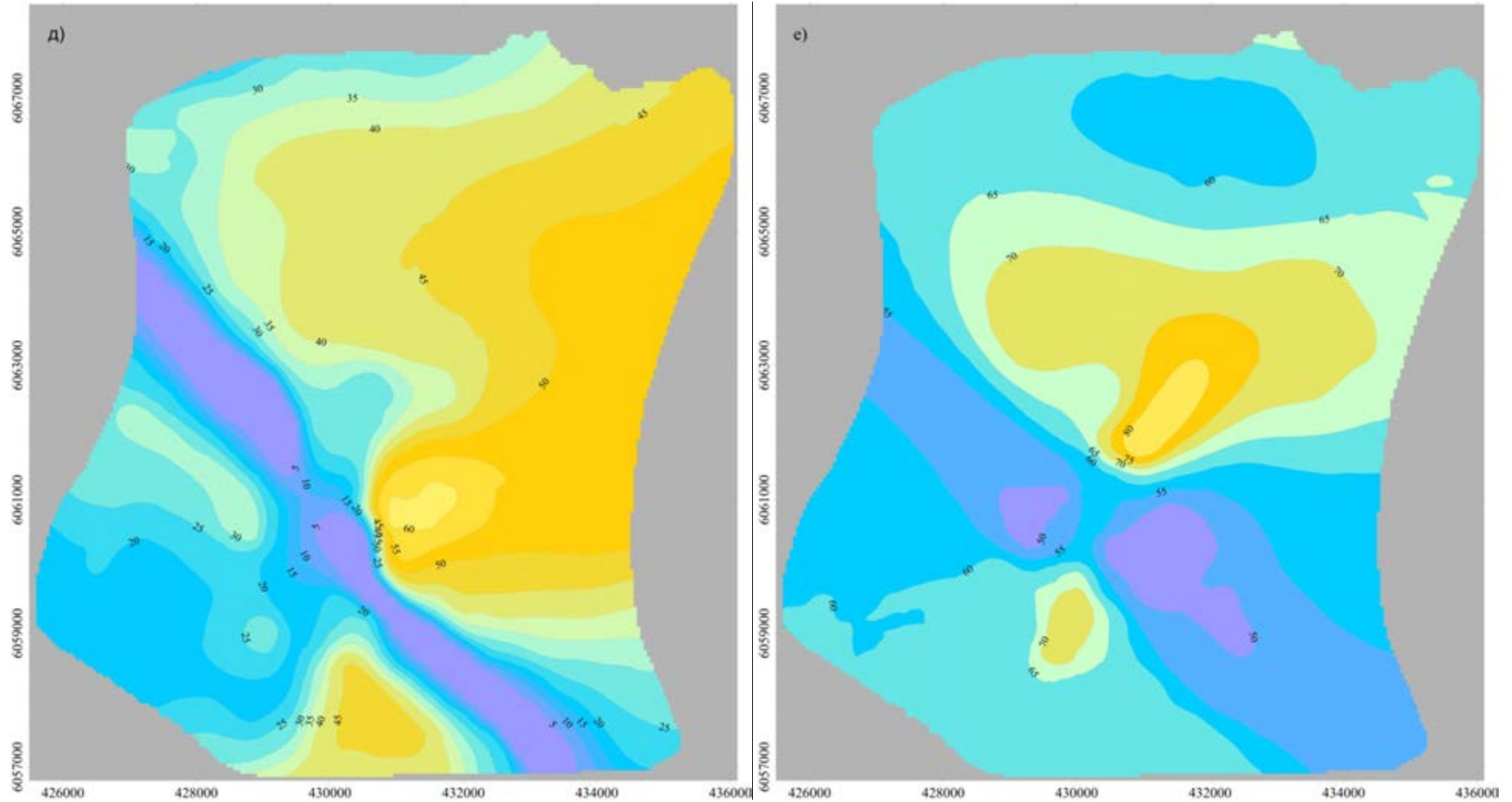


Рисунок 4.7. Схема представления модельной области – граничные условия и мощность гидрогеологических подразделений: д) пятый модельный слой е) шестой модельный слой. Серым цветом отмечены неактивные блоки, синим – блоки с ГУ I рода ($H=const$).

По результатам оверлейных операций с матрицами кровли и подошвы модельных слоев построена цифровая трехмерная модель геологического пространства (рис. 4.8), которая является основой для геофильтрационной и геомиграционных моделей.

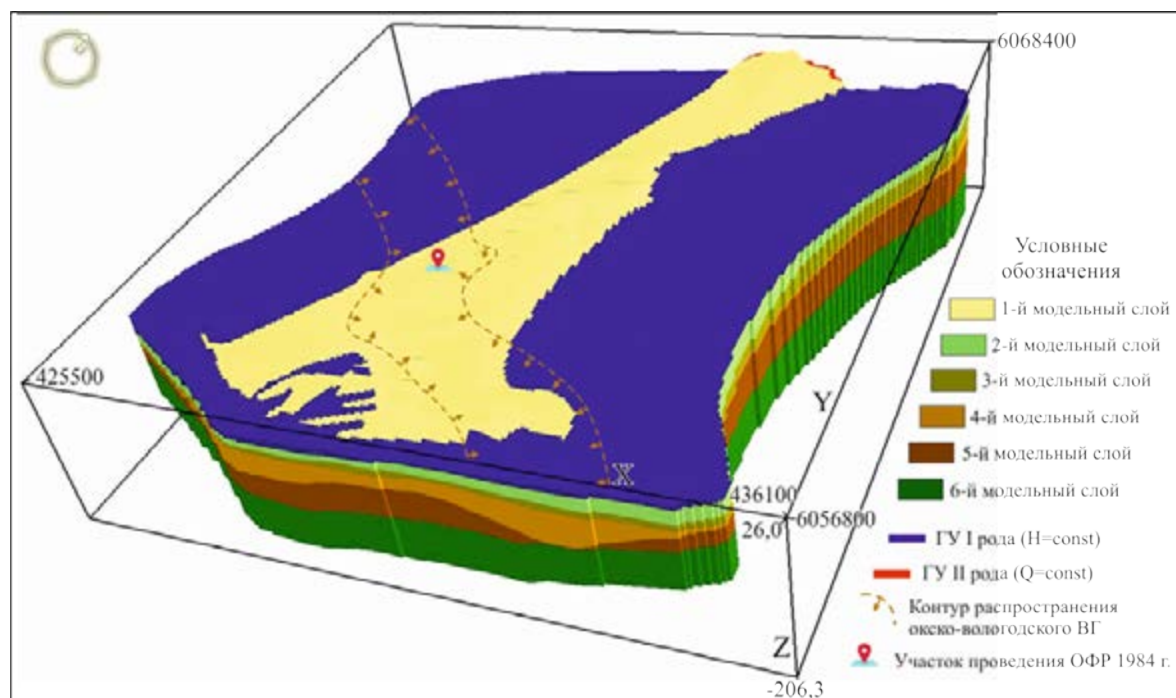


Рисунок 4.8. Цифровая трехмерная модель геологического пространства.

4.3. Модельная интерпретация результатов опытно-фильтрационных работ

Воспроизведение откачки на численной модели заключалось в вариантном подборе фильтрационных характеристик многослойной толщи до достижения на модели фактических понижений уровня воды в наблюдательных скважинах, полученных в ходе опытно-фильтрационного опробования. При этом для модельных слоев, задавались значения горизонтального (k_x) и вертикального (k_z) коэффициентов фильтрации, коэффициенты упругости (η^*) и гравитационной водоотдачи (μ).

Начальные коэффициенты фильтрации модельных слоев приняты как осредненные значения совокупности результатов ОФР, проведенных в районе г. Балтийска за 1977-2016 гг. Величина упругости пласта рассчитана как $\eta^* = K_x/a^*$, величина гравитационной отдачи задавалась на основании справочной литературы.

На основании этих данных в ходе моделирования определялось понижение в наблюдательных скважинах и если оно отличалось от действительного, то операция повторялась с другими фильтрационными параметрами. Таким образом, на модели итеративно подбирались основные характеристики водоносных и водоупорных горизонтов [48].

Модельное воспроизведение понижений уровня подземных вод в скважинах достигнуто путем разбиения времени проведения опыта (10 суток) на 114 стресс периодов.

Длина одного стресс периода равна разности времени между ближайшими фактическими замерами уровня в наблюдательных скважинах. Результаты математического моделирования представлены в таблице 4.5.

Значения фильтрационных параметров, полученные по результатам интерпретации результатов кустовой откачки из скв. 11.

Таблица 4.5.

№ слоя	Гидрогеологический индекс	Параметр	Расчетные значения	Значения по результатам ОФР 1984 г.
1	<i>III-H</i>	k_x , м/сут	1,4	-
		k_z , м/сут	0,3-1,1	-
		η^*	$4,5 \cdot 10^{-4} - 6,4 \cdot 10^{-5}$	-
		μ	0,1	-
2	<i>f, lgIIvl-ms</i>	k_x , м/сут	0,95 - 2,10	1,37
		k_z , м/сут	0,68 - 0,95	-
		η^*	$3,1 \cdot 10^{-5}$	-
3	<i>gIIvl</i>	k_x , м/сут	0,013 - 0,38	-
		k_z , м/сут	$1,2 \cdot 10^{-3} - 3,5 \cdot 10^{-3}$	$3,27 \cdot 10^{-2}$
		η^*	$1,0 \cdot 10^{-4}$	-
4	<i>P_{2pr} / P_{2al}</i>	k_x , м/сут	2,2 - 8,3	5,26
		k_z , м/сут	0,9 - 1,3	-
		η^*	$3,75 \cdot 10^{-5}$	-
	<i>f, lgIok-IIvl</i>	k_x , м/сут	10,5 - 17,2	10,75-15,18
		k_z , м/сут	6,57	-
		η^*	$3,2 \cdot 10^{-5}$	-
5	<i>P_{2sm}+P₁</i>	k_x , м/сут	0,012 - 1,43	-
		k_z , м/сут	$k_z = k_x$	-
		η^*	$1,0 \cdot 10^{-5}$	-
6	<i>K₂</i>	k_x , м/сут	1,43	1,45
		k_z , м/сут	$k_z = k_x$	-
		η^*	$1,3 \cdot 10^{-5}$	-

По результатам калибровки модели путем итерационного подбора параметров были получены расчетные кривые понижений в вологодско-московском и окско-вологодском водоносных горизонтах (рис. 4.9). При этом важно отметить, что если подобранные на модели значения (от 10,5 до 17,2 м/сут) коэффициента фильтрации опробуемого окско-вологодского водоносного горизонта в целом совпадают с диапазоном фактических определений аналитикой (от 10,75 до 15,18 м/сут), то параметр перетекания занижен примерно в 3 раза (расчетный 1650 м, фактический 561 м). Учитывая тот факт, что чем меньше величина параметра перетекания, тем интенсивнее, при прочих равных условиях, идет перетекание [71], это может привести к завышению привлекаемых ресурсов в эксплуатируемый пласт из смежного водоносного горизонта, и соответственно, к значительной погрешности при оценке эксплуатационных запасов.

Это позволяет сделать вывод, что расчетная схема, выбранная для аналитической интерпретации откачки по скважине 11, не отражает реальных гидрогеологических условий, которые способна воспроизвести математическая модель. Это объясняется довольно

сильным упрощением схемы опытного опробования в условиях сложного геологического строения участка проведения работ.

Полученные в рамках переинтерпретации результатов ОФР расчетные значения понижений имеют хорошую сходимость с фактическими понижениями в наблюдательных скважинах. Следовательно, фильтрационные параметры, полученные по результатам модельной интерпретации результатов ОФР, считаются обоснованными и принимаются для дальнейших расчетов.

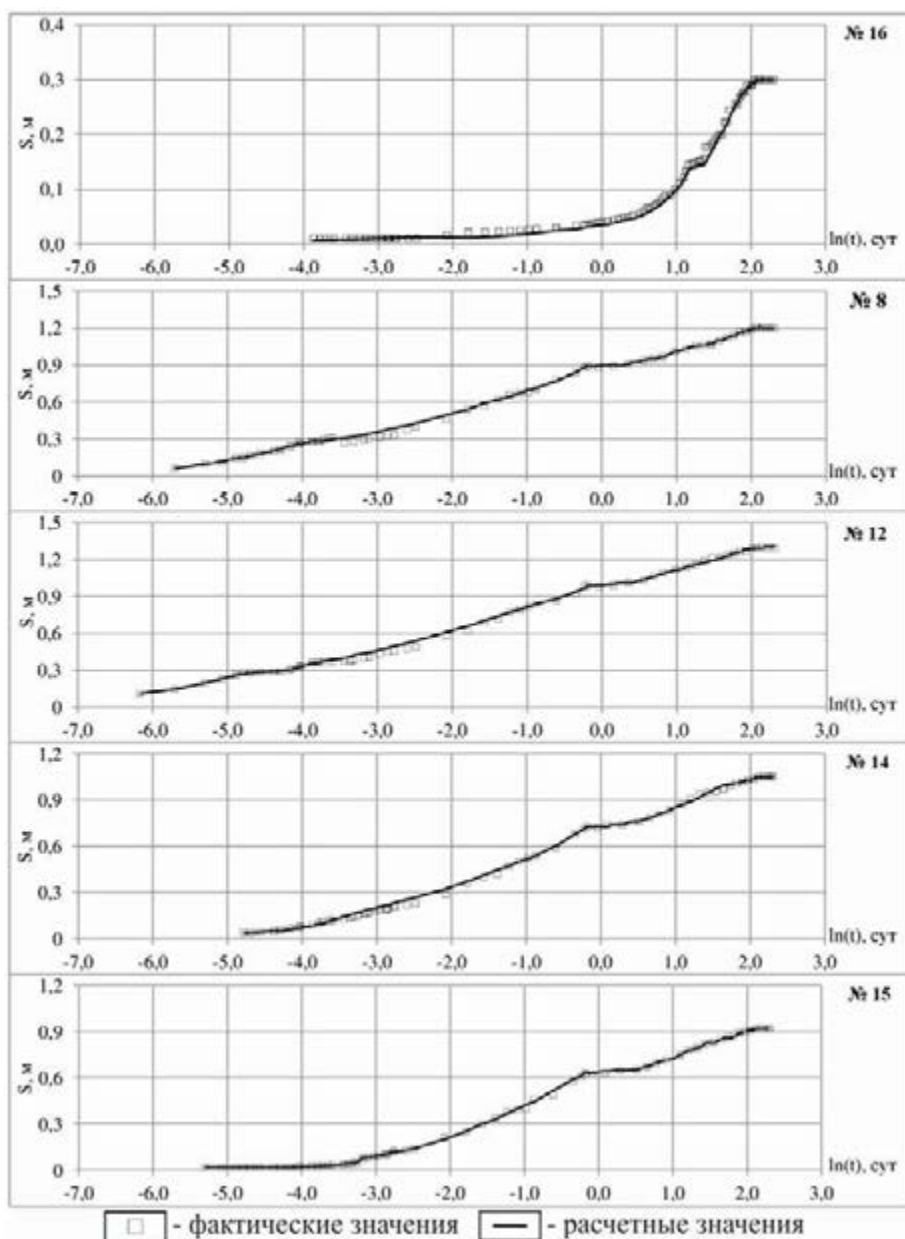


Рисунок 4.9. Сравнительные графики фактических и модельных понижений в наблюдательных скважинах.

4.4. Общие принципы калибровки геофильтрационной модели

Полученные в ходе модельных решений геофильтрационные параметры характеризуют непосредственно участок проведения опыта и косвенно прилегающую территорию. Для оценки пространственного распределения геофильтрационных параметров по всей площади производится дополнительная калибровка модели с привлечением фактических данных по межнным уровням подземных вод в водоносных горизонтах изучаемой гидрогеологической системы.

Общие принципы калибровки геофильтрационной модели можно свести к следующим:

1) Соответствие модельных и фактических выполняется по значениям уровня подземных вод и не может быть лучше точности построения карты этих уровней. Учитывая изученность территории ошибка в точности построения карт уровней принимается равной 10-15 % от амплитуды колебания уровня в каждом конкретном водоносном горизонте.

2) На значения параметров управления процессом калибровки модели (коэффициенты горизонтальной и вертикальной фильтрации, параметры инфильтрации и др.) накладываются некоторые ограничения, обусловленные диапазоном их возможного изменения на данной территории [124].

3) Процесс калибровки модели выполняется по принципу от общего к частному. На первом этапе на модели реализуется общая тенденция в изменениях уровней подземных вод и направлениях движения подземных вод, соответствующие природным условиям. Далее осуществляется последовательное уточнение отдельных параметров по конкретным участкам с целью достижения минимального расхождения расчетных уровней с наблюдаемыми. При этом важным элементом методики этого последовательного уточнения является предварительная оценка чувствительности модели на влияние основных гидрогеологических факторов, играющих роль параметров управления подбором модели при ее калибровке (по И.К.Гавич) [11].

4.4.1 Калибровка геофильтрационной модели

Процедура калибровки заключалась в уточнении значений фильтрационных параметров по отдельным зонам неоднородности, а также в уточнении величины инфильтрационного питания.

Критериями точности при калибровке служили:

- степень совпадения модельных и натурных напоров;
- наилучшее совпадение модельных значений напоров в точках (блоках) расположения наблюдательных скважин с напорами, фактически полученными (замеренными) по этим скважинам в период летней межени (июль 2016 г.).

Для калибровки модели по напорам использованы скважины режимной сети, организованной в рамках поисково-оценочных работ с 2014 по 2016 гг. Скважины оборудованы на межморенный вологодско-московский (№№ 3ч, 4ч), межморенный окско-вологодский (№№ 184, 195), среднепалеогеновый алкский (№№ 3п, 4п, 166, 131/1) и верхнемеловой (№ 103/2) водоносные горизонты.

Моделирование существующих условий имело целью уточнение недостаточно хорошо изученных гидрогеологических параметров. В связи с этим, представляется целесообразным дать оценку достоверности разных элементов расчетной схемы.

Хорошо изученными гидрогеологическими параметрами являются:

- коэффициенты фильтрации следующих водоносных горизонтов: межморенного вологодско-московского, межморенного окско-вологодского и среднепалеогенового алкского;
- коэффициент вертикальной фильтрации вологодского относительно водоупорного горизонта;
- положение уровня подземных вод в вологодского-московском, окско-вологодском, среднепалеогеновом алкском, и верхнемеловом водоносных горизонтах;

Менее достоверными гидрогеологическими параметрами следует признать следующие:

- величина инфильтрационного питания;
- коэффициенты фильтрации четвертичного надморенного и верхнемелового водоносных комплексов;
- коэффициенты горизонтальной и вертикальной фильтрации средне-нижнепалеогенового водоупорного горизонта.

Эти менее достоверные параметры могут быть охарактеризованы количественно некоторым диапазоном их изменения и поэтому являются параметрами управления в процессе решения обратных задач воспроизведения существующих гидрогеологических условий на модели. Параметры полученные на этапе интерпретации результатов ОФР изменятся в процессе калибровки модели по уровням не будут.

4.4.2. Результаты калибровки геофильтрационной модели

После серии численных экспериментов удалось добиться удовлетворительного совпадения напоров во всех контрольных точках (скважинах).

Совпадение модельных и фактических напоров в скважинах, расположенных в пределах моделируемой области, было достигнуто путем детализации зон фильтрационной неоднородности. Плановое расположение зон фильтрационной неоднородности модельных слоев с первого по шестой представлено на рисунках 4.10-4.15.

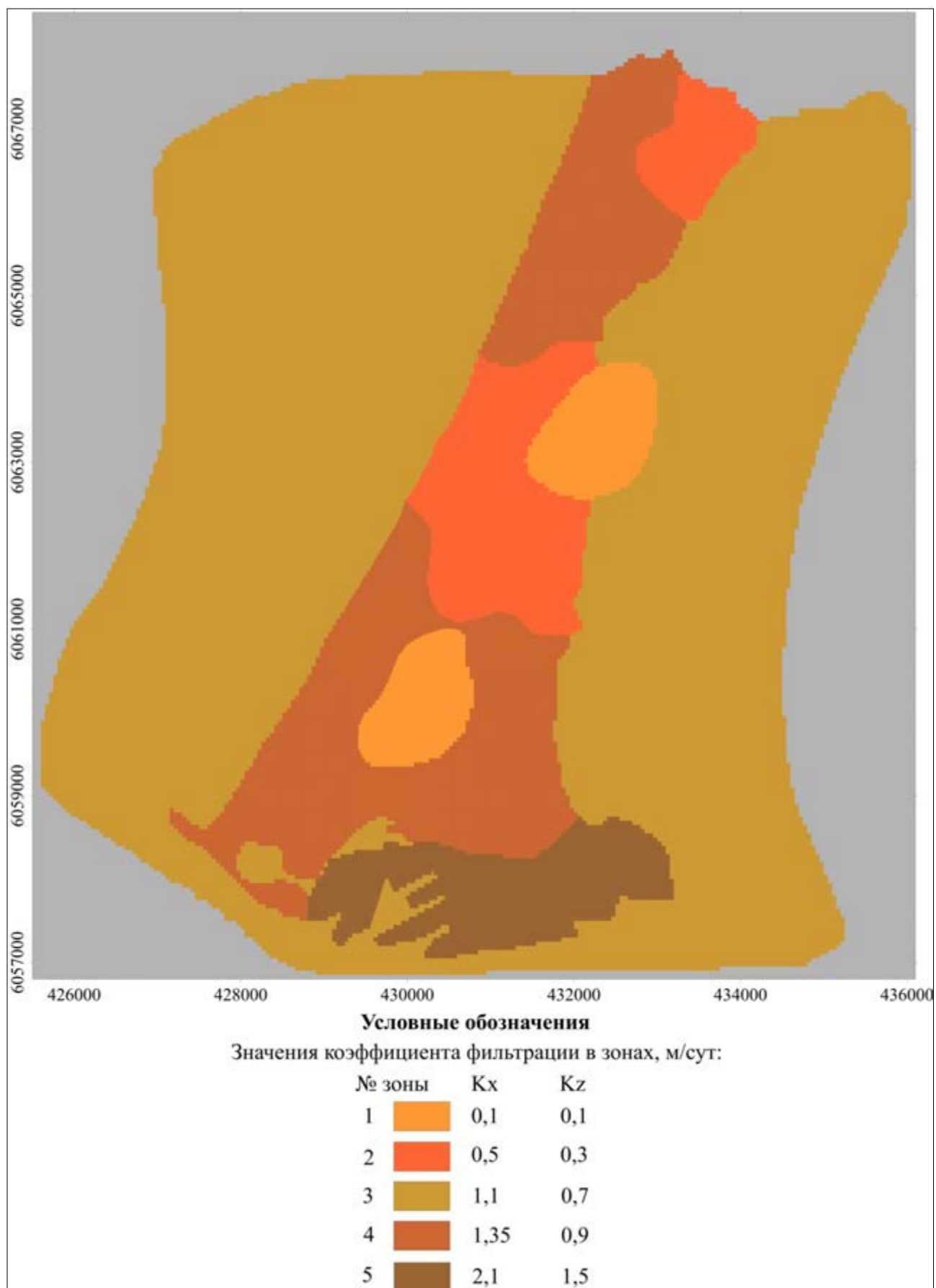


Рисунок 4.10. Матрица распределения зон фильтрационной неоднородности в первом модельном слое

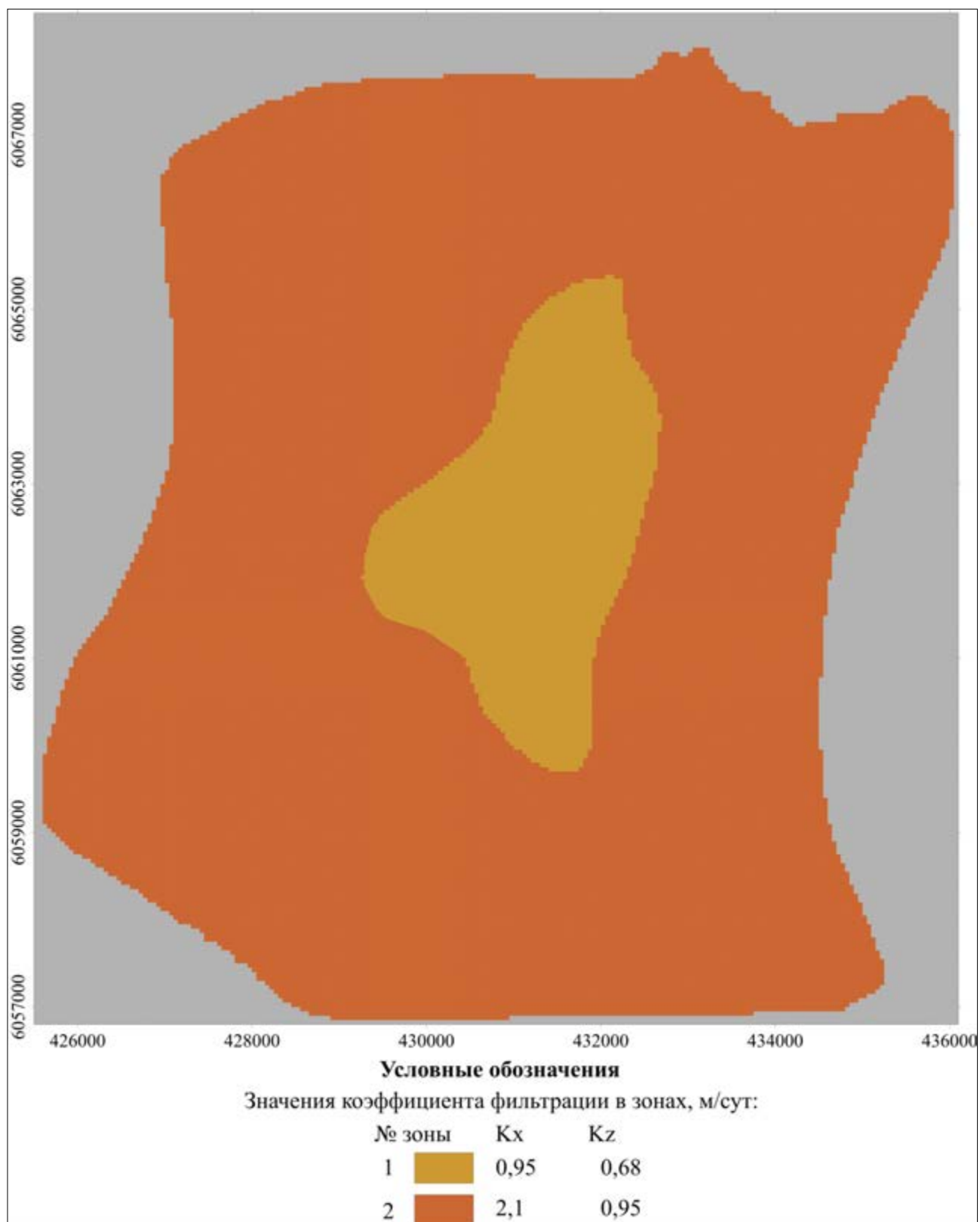


Рисунок 4.11. Матрица распределения зон фильтрационной неоднородности: а) во втором модельном слое

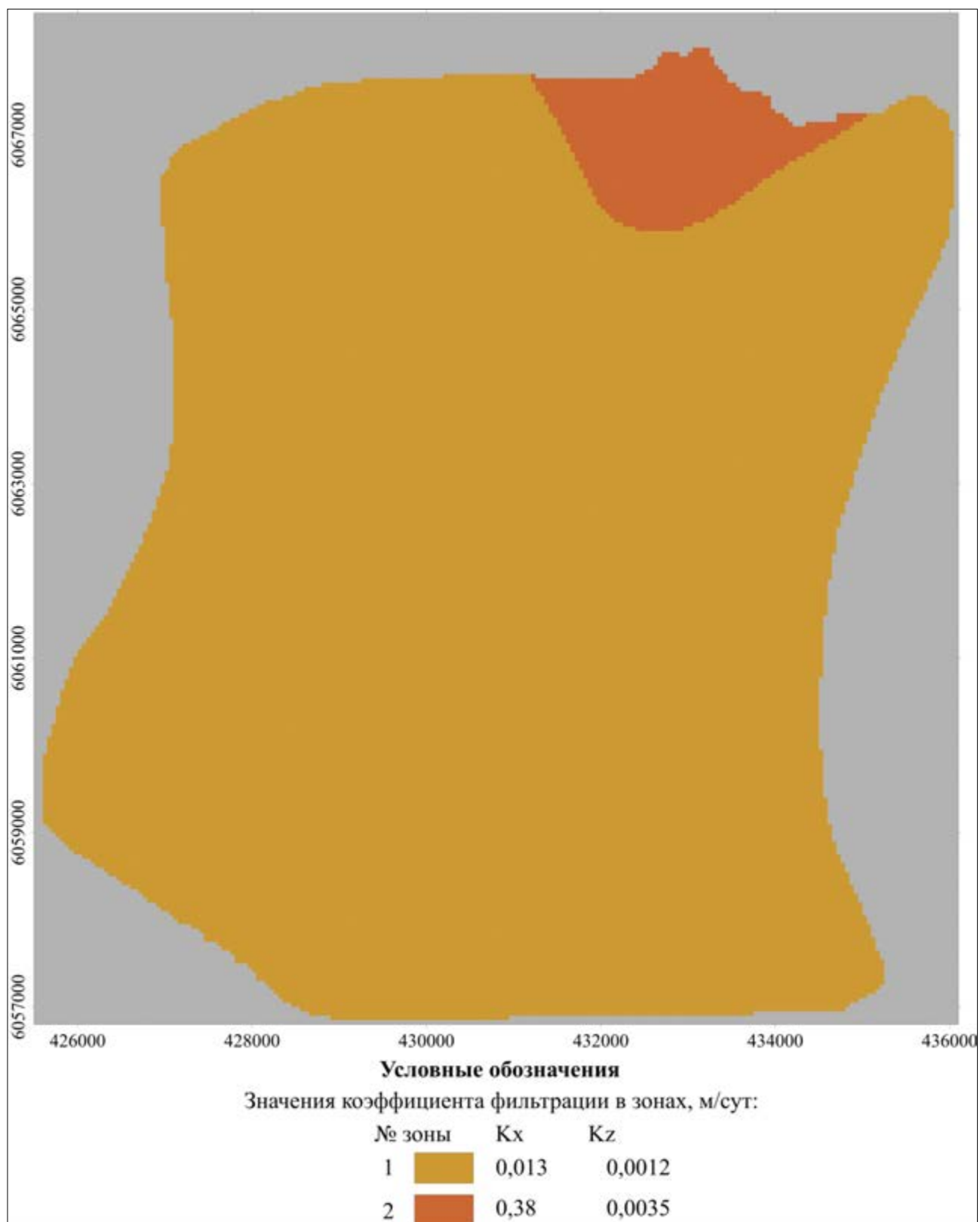


Рисунок 4.12. Матрица распределения зон фильтрационной неоднородности в третьем модельном слое

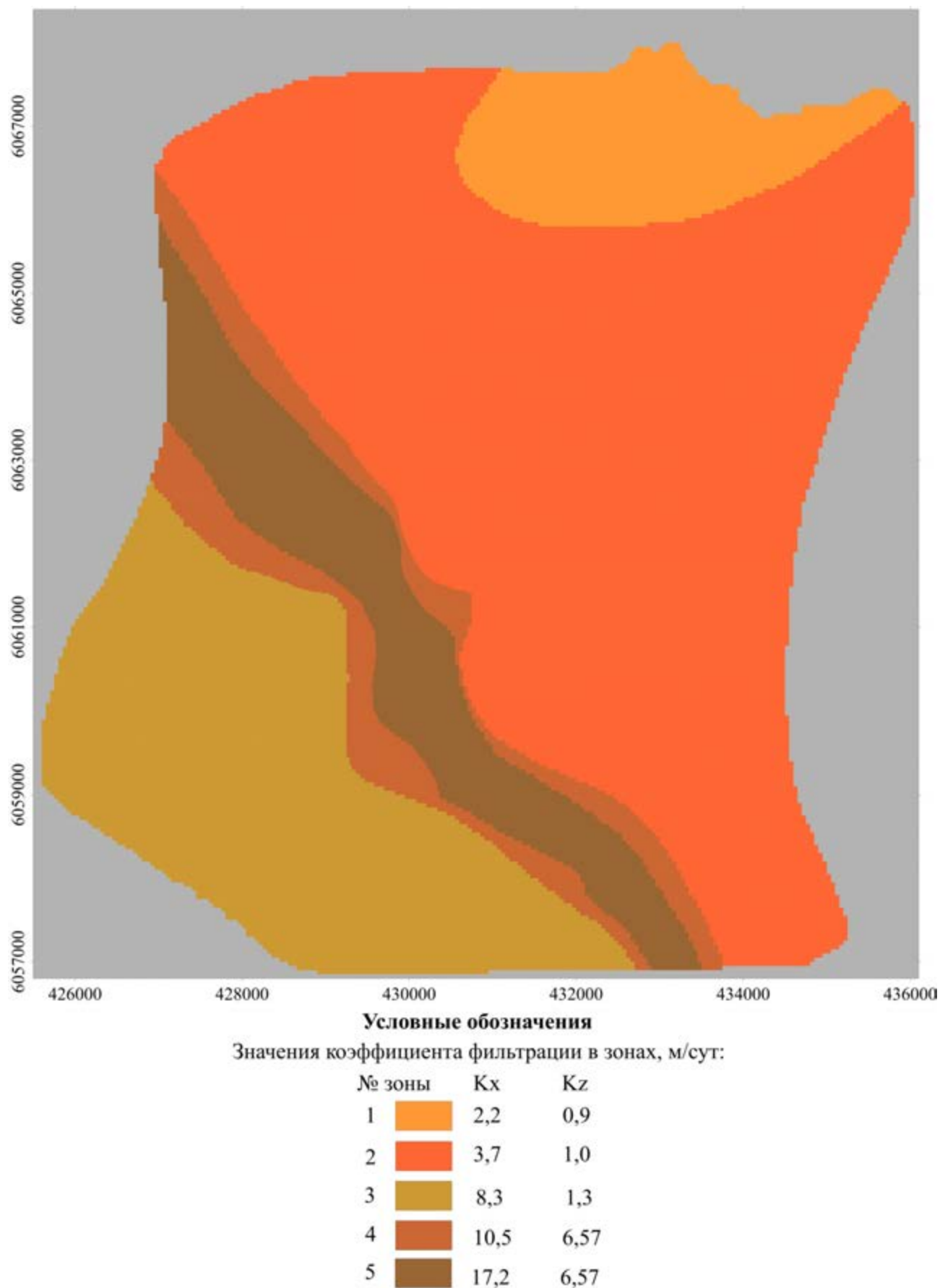


Рисунок 4.13. Матрица распределения зон фильтрационной неоднородности в четвертом модельном слое

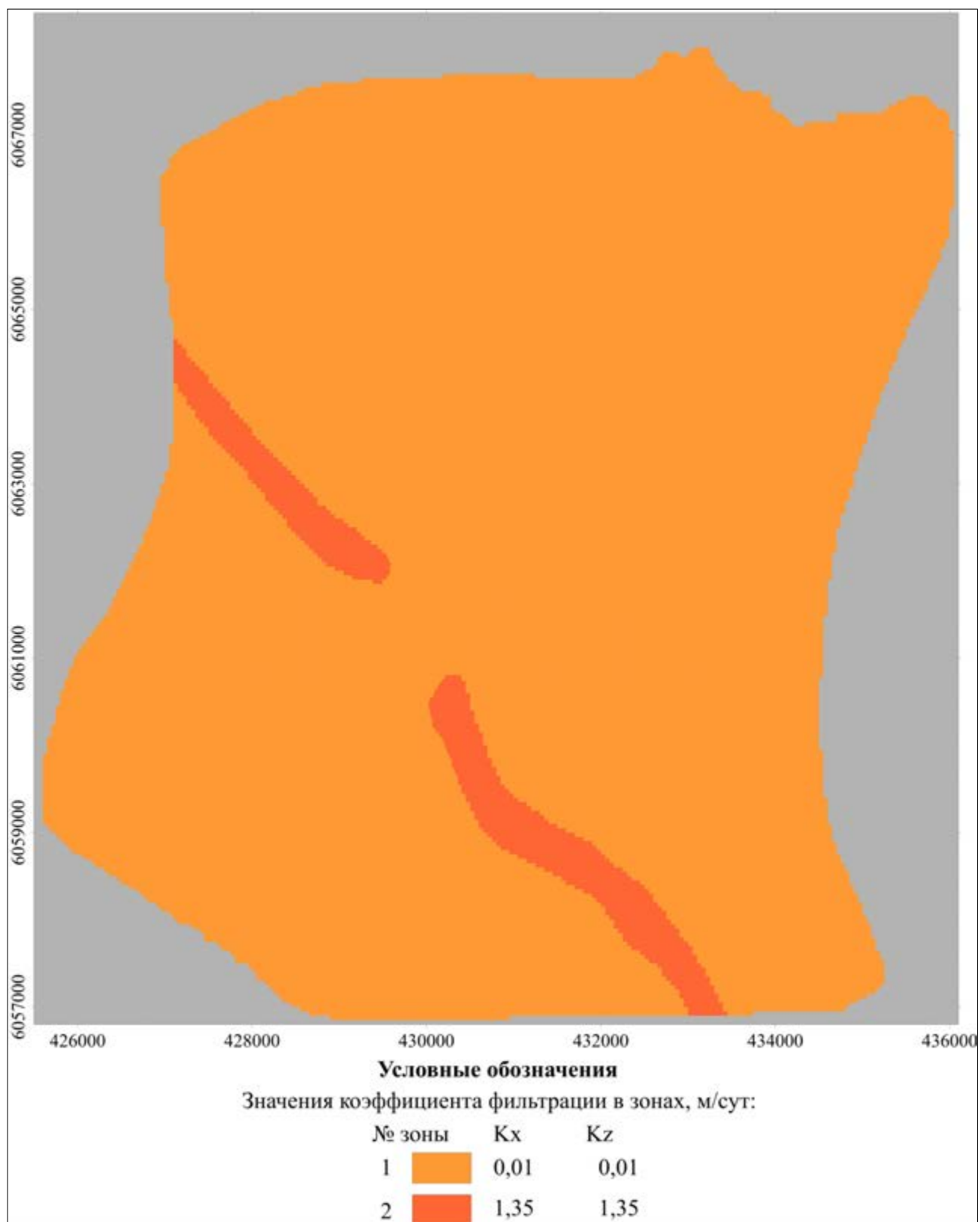


Рисунок 4.14. Матрица распределения зон фильтрационной неоднородности в пятом модельном слое

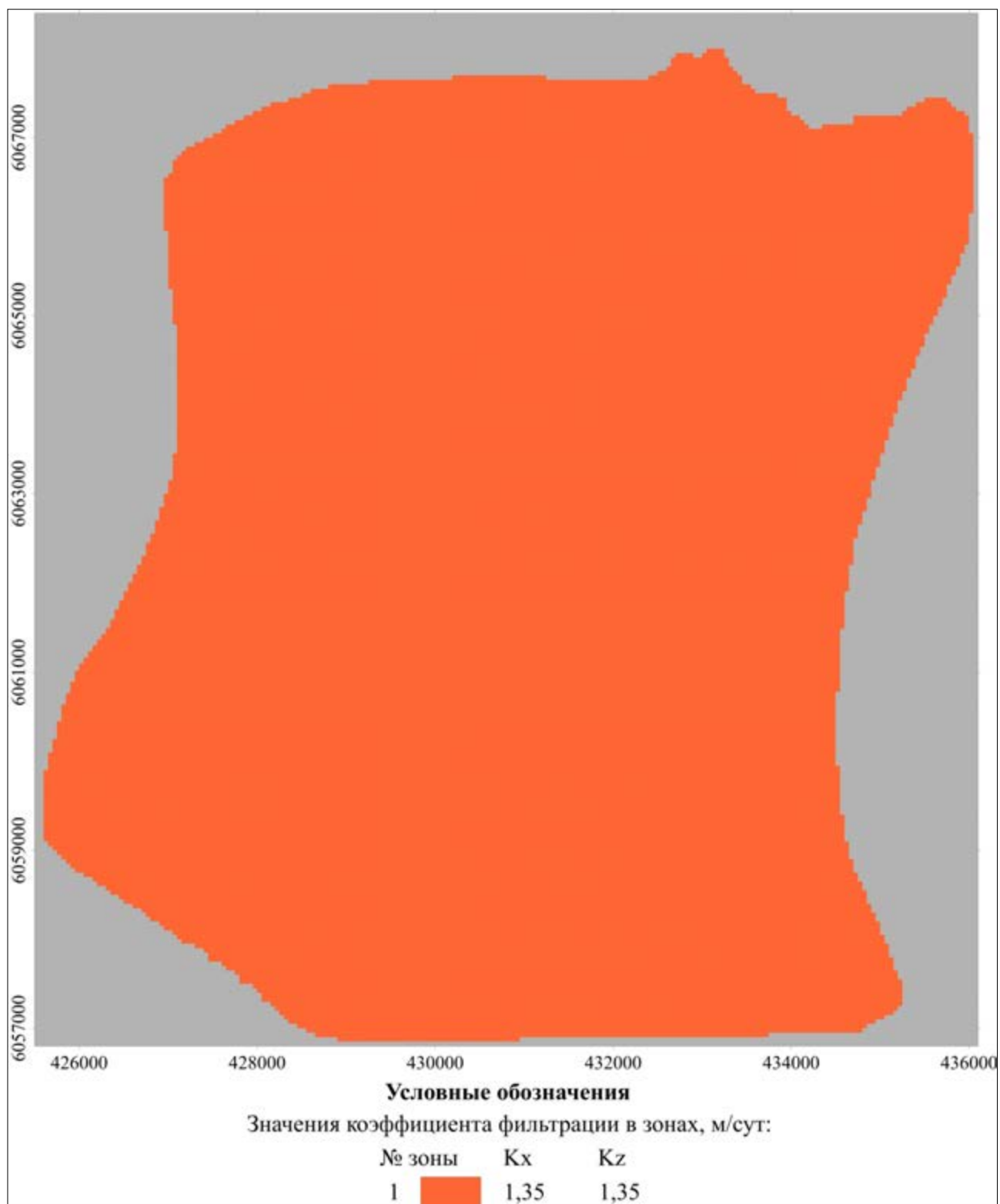


Рисунок 4.15. Матрица распределения зон фильтрационной неоднородности в шестом модельном слое

Как видно, общая тенденция в изменчивости проницаемости среднепалеогенового алкского и окско-вологодского водоносных горизонтов, установленная по данным ОФР, а также полученная на стадии обоснования параметров, сохранилась. Проницаемость основного водоносного массива изменяется от 2,2 до 17,2 м/сут. Фильтрационные параметры отложений, принятые по результатам калибровки модели приведены в таблице 4.6.

Фильтрационные параметры отложений, принятые по результатам калибровки модели

Таблица 4.6.

№ модельного слоя	Гидрогеологический индекс	Параметр	Расчетное значение
1	<i>III-H</i>	k_x , м/сут	0,5-2,1
		k_z , м/сут	0,3-1,5
	<i>gIIms</i>	k_x , м/сут	0,1
		k_z , м/сут	0,1
2	<i>f,lgIIvl-ms</i>	k_x , м/сут	0,95-2,1
		k_z , м/сут	0,68-0,95
3	<i>gIIvl</i>	k_x , м/сут	0,013-0,38
		k_z , м/сут	0,0012-0,0035
4	P_{2pr} / P_{2al}	k_x , м/сут	2,2 - 8,3
		k_z , м/сут	0,9 - 1,3
	<i>f, lgIok-IIvl</i>	k_x , м/сут	10,5 - 17,2
		k_z , м/сут	6,57
5	$P_{2sm}+P_1$	k_x , м/сут	0,01 - 1,35
		k_z , м/сут	$k_z = k_x$
6	K_2	k_x , м/сут	1,35
		k_z , м/сут	$k_z = k_x$

Численные эксперименты, направленные на корректировку величины инфильтрационного питания показывают, что приемлемые результаты в распределении напоров могут быть получены при инфильтрационном питании в области распространения водоносных горизонтов в диапазоне от 0,000247 м/сут до 0,000357 м/сут. Дифференциация инфильтрационного питания по площади хорошо коррелирует с гипсометрией поверхности земли (рис. 4.16).

В качестве исходной величины водоотбора на скважинах централизованного водоснабжения приняты осредненные значения фактических дебитов скважин за период проведения поисково-оценочных работ с ноября 2014 по август 2016 г (таблица 4.7). Ввиду отсутствия информации о распределении водоотбора по скважинам ведомственных водозаборов, для расчетов принята величина лицензионного водоотбора, пропорционально разделенная на количество скважин, указанных в лицензиях водопользователей.

Точность модельной оценки напоров определяется допустимой ошибкой, которая составляет 10-15 % от амплитуды колебания уровня в конкретном водоносном горизонте. Результаты калибровки модели по напорам в скважинах приведены в таблице 4.8 и на рисунках 4.17-4.18.

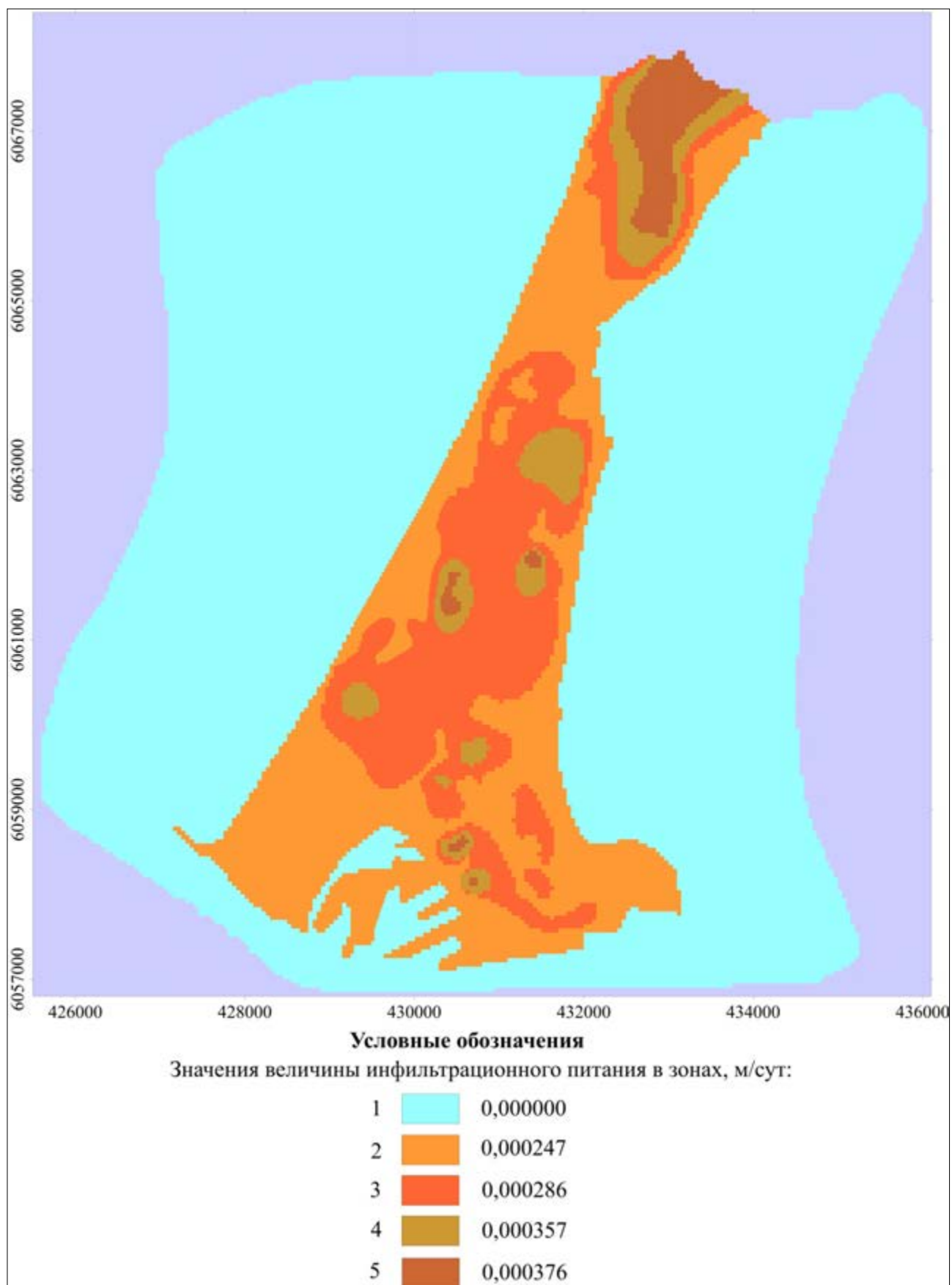


Рисунок 4.16. Матрица распределения зон инфильтрационного питания.

Сведения о водозаборных скважинах, расположенных в пределах моделируемой области

Таблица 4.7.

№ скв.	Водоносный горизонт	Координаты модельного блока	Средний водоотбор 2014-2016 г, (*отмечен водоотбор из скважинам ведомственных водозаборов), м³/сут
МУП «Балтвода»			
35	K ₂	6, 212, 82	362,4
д/6	f, lgIok-IIvl	4, 178, 93	845,6
139	f, lgIok-IIvl	4, 179, 96	955,8
185	f, lgIok-IIvl	4, 182, 94	905,2
190	f, lgIok-IIvl	4, 194, 100	528,6
134	f, lgIok-IIvl	4, 209, 110	1233,3
136	f, lgIok-IIvl	4, 209, 113	718,7
173	f, lgIok-IIvl	4, 197, 102	730,2
191	K ₂	6, 212, 108	301,8
192	f, lgIok-IIvl	4, 209, 113	507,2
74	P _{2al}	4, 144, 101	705,8
МИС Балтийского флота			
8201	P _{2al}	4, 231, 154	81,71*
8206	P _{2al}	4, 60, 166	81,71*
8207	P _{2al}		81,71*
8208	P _{2al}		81,71*
8209	P _{2al}		81,71*
8210	f,lgIIvl-ms		40,245*
8211	f,lgIIvl-ms	2, 24, 157	40,245*
Военный госпиталь			
53475	P _{2al}	4, 58, 129	480
АО «Судоремонтный завод №33»			
53005	P _{2al}	4, 223, 76	552,96*
909-Д	P _{2al}	4, 230, 80	552,96*
908-Д	P _{2al}	4, 230, 82	552,96*
АО «Балтийский хлеб»			
77821	K ₂	4, 186, 76	64,0
Суммарный водоотбор:			10486,5

Результаты калибровки модели по напорам в скважинах

Таблица 4.8.

№ скв.	Координаты		Фактическая абс. отметка уровня в скв., м	Модельная абс. отметка уровня в скв., м	Невязка, м
	X	Y			
3ч	431663,7	6062816	5,00	5,01	0,11
4ч	431796,2	6063064	5,01	5,27	0,01
184	430249,7	6060729	-8,89	-8,36	0,52
195	430187,8	6062503	-9,05	-9,01	0,04
3п	431663,7	6062831	-0,10	-0,21	0,02
4п	431794,4	6063080	-0,08	-0,07	0,26
103/1	430702,3	6060085	-4,85	-4,38	0,46
166	430515,2	6062503	-4,81	-4,05	0,75
103/2	430689,6	6060085	-3,87	-3,99	0,13

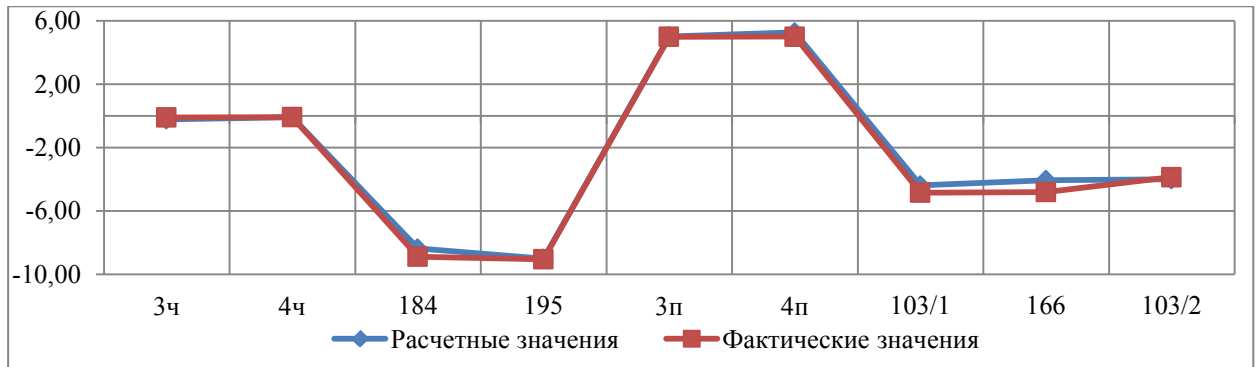


Рисунок 4.17. Сопоставление модельных и фактических напоров в наблюдательных скважинах.

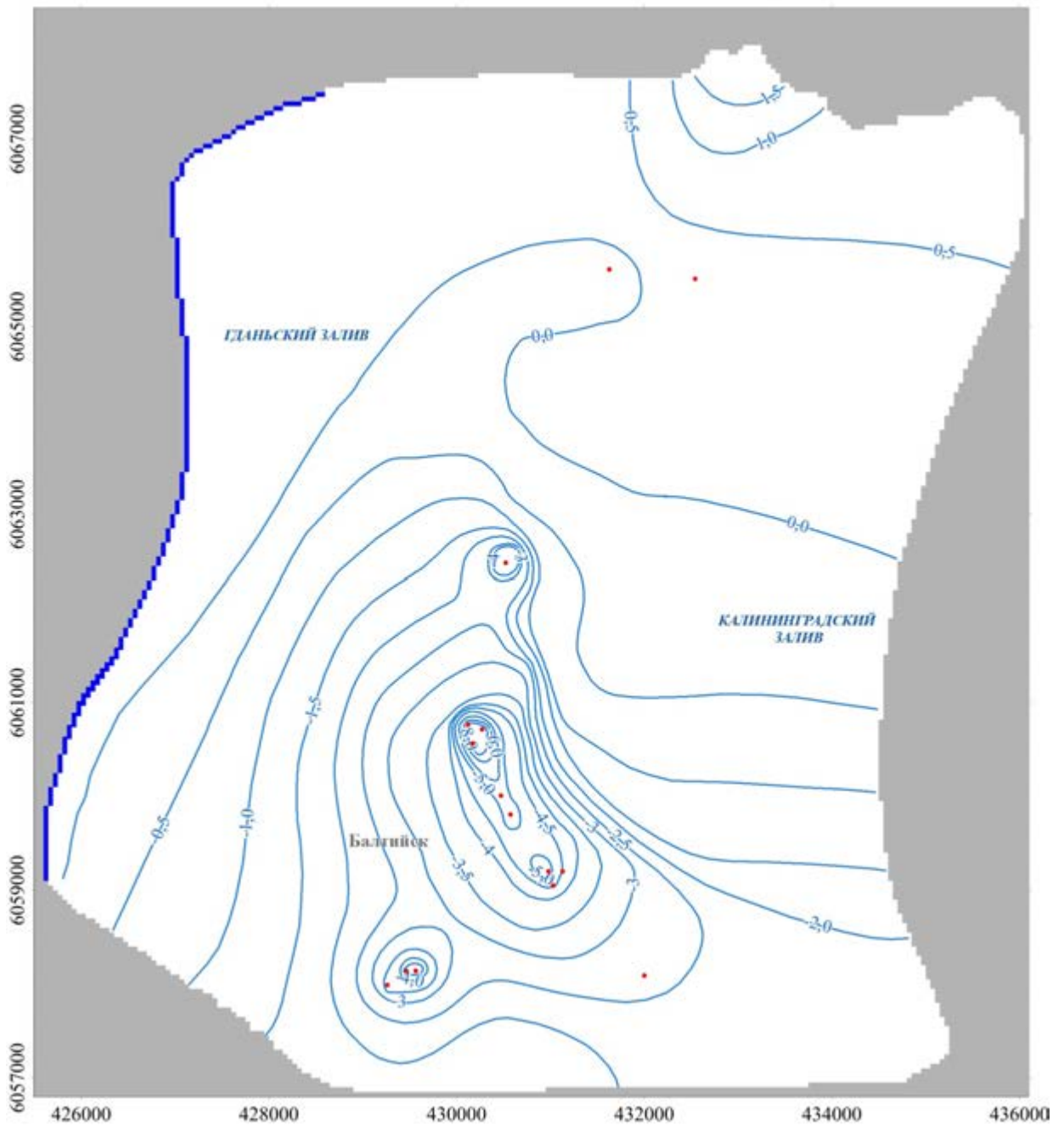


Рисунок 4.18. Результаты калибровки модели по напорам в скважинах четвертого модельного слоя

Из иллюстраций видно, что картина расчетного распределения напоров удовлетворительно описывает реальное поле напоров. Средняя невязка распределения напоров на модели в контрольных точках составила $\pm 0,2$ м, что можно признать вполне удовлетворительным результатом.

4.4.3. Анализ водного баланса

В таблице 4.9 приведены сводные данные баланса математической модели. Общие ресурсы модели составляют 12564,3 м³/сут. Их формирование происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, питания со стороны Самбийской возвышенности и привлекаемых ресурсов из морских заливов.

Для оценки привлекаемых ресурсов со стороны заливов на сегодняшний день, был восстановлен естественный режим, путем отключения всех водозаборных скважин в пределах области моделирования. По результатам расчета, доля привлекаемых ресурсов составила 4733,2 м³/сут, перехват естественного потока составил 5753,3 м³/сут. Небаланс по суммарному расходу составил – 0%.

Общий баланс модели

Таблица 4.9.

Источник	Нарушенный режим		Естественный режим		Привлекаемые ресурсы	Перехват естественного потока
	Поступил о в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)		
	Водный баланс всей модели					
Инфильтрация	7541,8	0,0	7541,8	0,0	-	-
Северная граница	289,3	1,3	289,3	1,3	-	-
Заливы	4733,2	2076,4	0,0	7829,7	4733,2	5753,3
Скважины	0,0	<u>10486,5</u>	0,0	0,0	-	-
Итого:	12564,3	12564,3	7831,1	7831,1	<u>10486,5</u>	

4.5. Выводы к главе 4

По результатам переинтерпретации данных ОФР 1984 г. путем итерационного подбора параметров на математической модели и последующей ее калибровке, можно сделать следующие выводы:

- 1) использование метода математического моделирования позволило определить параметры не только вологодско-московского, окско-вологодского и среднепалеогенового водоносных горизонтов на участке проведения опытных работ, но и дало представление о пространственном распределении параметров в целом по площади;

- 2) установлено, что параметр перетекания определенный аналитически, занижен примерно в 3 раза. Это позволяет сделать вывод, что расчетная схема, выбранная для аналитической интерпретации откачки по скважине 11, не отражает реальных гидрогеологических условий, а полученные аналитикой эффективные параметры не корректно использовать для численного моделирования, предполагающего использование более гибкой геофильтрационной схематизации;
- 3) в результате модельной интерпретации кустовой откачки, были получены расчетные кривые понижений в вологодско-московском и окско-вологодском водоносных горизонтах, отражающие хорошее совпадение фактического и расчетного хода изменения уровня в наблюдательных скважинах. Таким образом, фильтрационные параметры, полученные по результатам модельных решений, считаются обоснованными;
- 4) полученные на этапе обоснования параметрической базы параметры основных водоносных горизонтов не претерпели изменений на этапе калибровки и модели по меженным уровням подземных вод. Жесткая привязка к ним позволила успешно произвести оценку пространственного распределения наименее достоверных параметров по всей моделируемой площади и воспроизвести существующий гидродинамический режим.

Следует подчеркнуть, что для решения дальнейших прогнозных задач будет использоваться та же геофильтрационная схематизация, в рамках которой определены параметры. Подобная верификация математической модели повышает степень надежности не только полученных параметров, но и дальнейших прогнозов.

На основе сделанных выводов сформулировано **второе защищаемое положение:**

Надежность прогнозных решений повышается при использовании единой схематизации гидрогеологических условий на всех этапах разработки математической модели: как на этапе обработки полевых материалов, в том числе интерпретации результатов опытно-фильтрационных работ методом математического моделирования, так и на этапе прогнозного моделирования.

5. РАЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА БАЛТИЙСКА В УСЛОВИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОРСКИХ И ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

5.1. Анализ опыта эксплуатации водозаборов морских побережий

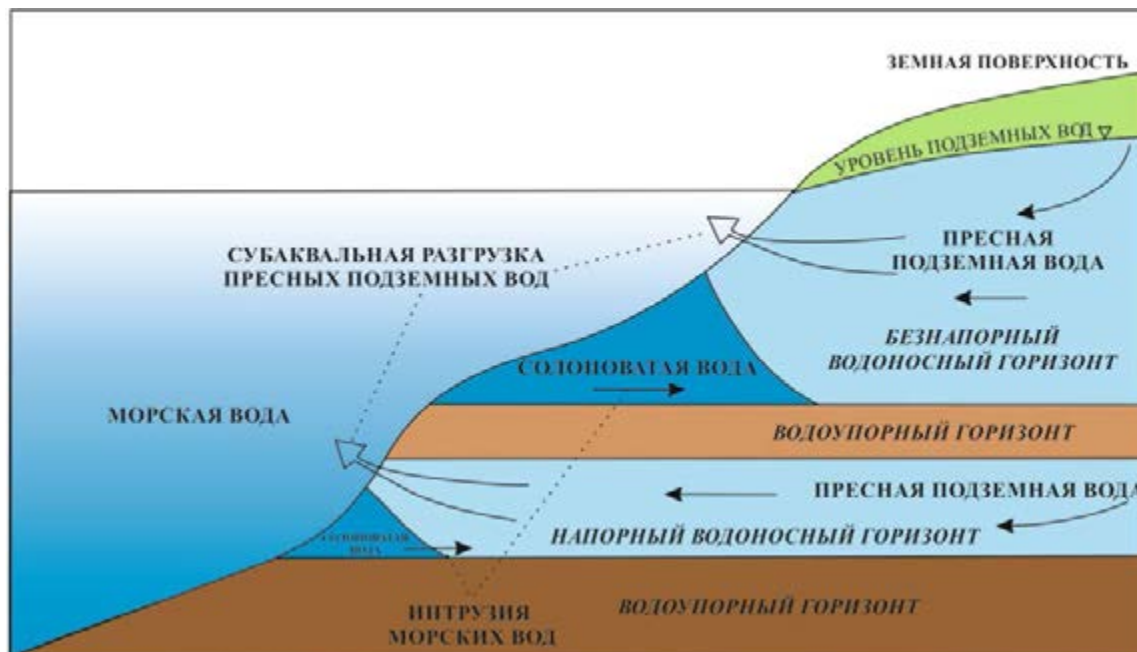
Непосредственная или косвенная взаимосвязь соленых морских вод и пресных подземных вод в прибрежных районах является одним из проявлений процесса взаимодействия поверхностных и подземных вод. В этом процессе наряду с подземным стоком вод суши в море распространено обратное явление, а именно внедрение или интрузия морских вод в прибрежные водоносные горизонты.

В естественных условиях интрузия морских вод происходит из-за разности плотностей пресных и соленых вод [17]. При этом более тяжелые морские воды продвигаются по подошве пласта, а граница раздела между морскими и подземными водами приобретает сложную форму – переходную область, в пределах которой отмечается постепенный переход от минерализации соленых вод морских вод к минерализации пресных подземных (рис 5.1).

Размеры переходной зоны в плане могут достигать сотен метров и даже километров. Учет переходной зоны от пресных вод к соленым имеет немаловажное значение при прогнозе качества воды на водозаборе. В этой зоне различие минерализации пресных и соленых вод обуславливает различие плотностей этих вод. При движении жидкостей с разными плотностями происходит деформация границы раздела, выражающаяся в формировании «языка» более тяжелой жидкости по подошве пласта. Если первоначальная граница раздела пресных и соленых вод была вертикальной, то в дальнейшем эта граница раздела становится наклонной вследствие того, что более тяжелая жидкость (соленая вода) подпирает более легкую (пресную воду), и в подошве пласта образуется "язык" соленых вод [59].

Минерализация морских (соленых) вод вблизи побережья редко превышает 50 г/дм^3 . Обычно она составляет $5\text{-}15 \text{ г/дм}^3$. Для этих значений минерализации плотность и вязкость соленой воды будет очень мало отличаться от плотности и вязкости пресной воды, в приближенных расчетах этим различием можно пренебречь. Следует отметить, что сама по себе незначительная разница в плотностях и вязкостях будет еще более сглаживаться наличием переходной зоны, в пределах которой плотность и вязкость постепенно изменяются от значений этих параметров для пресной воды до их значений для соленой воды [15-17].

Соприкосновение подземных водоносных горизонтов с морями в естественных условиях сопровождается разгрузкой пресных подземных вод в море и одновременным проникновением морских вод в пресноводные подземные горизонты. Создание подземных



Согласно последним теоретическим и экспериментальным исследованиям [7, 33], увеличение водоотбора из подземных водозаборов, расположенных в прибрежных районах, уменьшает величину сабмаринной разгрузки пресных вод, что во многих случаях становится причиной проникновения интрузии соленых морских вод в пресноводные водоносные горизонты. Так, например, в Южной Калифорнии, начиная с 1940 г. из-за усиленной эксплуатации подземных вод (в связи с увеличением аридности климата), их уровень понизился ниже поверхности моря во многих прибрежных водоносных горизонтах. Это вызвало вторжение морских вод в пресноводные горизонты суши и причинило большой экономический ущерб [88].

Проникновение соленых вод в пресноводные подземные горизонты меняет качество вод и делает их непригодными для питьевого водоснабжения. Более того, водовмещающие породы насыщаются солью, вследствие чего ухудшение качества воды подземных водозаборов продолжается многие годы даже после прекращения интрузии и восстановления естественного процесса разгрузки пресных вод [82].

В последние годы в мире все больше внимания уделяется исследованиям процесса взаимосвязи пресных подземных вод и морских соленых вод. Гидрогеологические исследования взаимосвязи подземных и морских вод в прибрежных и приморских районах проводятся, прежде всего, с целью определения наиболее оптимального режима работы

водозаборов, эксплуатирующих подземные воды прибрежных водоносных горизонтов. Так на территории России наиболее остро необходимость решения этого вопроса ощущается на побережьях Черного и Балтийского моря, а также в некоторых районах Дальнего Востока.

Актуальна эта проблема также в Европе (страны Прибалтики, Голландия, Англия), в странах Ближнего Востока и Азии (Японии, Китае, Израиле, Индии) и в некоторых районах Австралии и Новой Зеландии.

Так, на побережье Прибалтики из напорных водоносных горизонтов отбирается около 600 тыс. м³/сут пресных подземных вод. В результате этого сформировались глубокие (порядка 40-50 м) депрессионные воронки с радиусом до 100 км, которые простираются под акваторией Балтийского моря и создают необходимые гидравлические условия для интенсификации интрузии морских вод [23, 24, 39, 78, 82].

Наиболее широко процессы внедрения морских вод в прибрежные водоносные горизонты получили в ряде штатов США (Нью-Йорк, Лос-Анджелес, Сан-Франциско, Калифорния и Майями), в Канаде, на Кубе и в Мексике.

В прибрежных районах США (Калифорния, Флорида) длина языка соленых вод, сформировавшегося за последние годы, составляет от 1-2 до 7-8 км [17]. На участке Сидархерст - Вудмир округа Нассау (Нью-Йорк) интрузия морских вод зафиксирована в первом от поверхности водоносном горизонте. За период 1952-1958 гг. фронт соленых вод продвинулся к водозаборным сооружениям примерно на 600 м. По скважинам, расположенным в зоне смешения пресных и морских вод, отмечалось увеличение содержания хлоридов (Cl) в подземных водах от 0,2 до 16 г/дм³ [16].

Вторжению морских вод в пресноводные подземные горизонты наряду с увеличением водоотбора способствуют такие инженерные мероприятия на побережье, как осушение прилегающих территорий, создание карьеров и др. [94]. Это хорошо видно на примере вторжения соленых вод в пресноводный пласт в районе Сильвер-Блафф (Флорида). Строительство дренажных систем привело здесь к понижению уровня грунтовых вод на несколько метров, что явилось причиной интрузии морских вод в сторону суши на 2-3 км [99, 90].

Нередко вторжению морских вод в водоносные горизонты способствуют приливы и отливы, а также стихийные бедствия. Так во время сильного шторма в феврале 1953 г. морская вода, затопившая побережье острова Валхерен (Нидерланды), проникла в водоносный горизонт и смешалась с пресной водой, которая была источником водоснабжения г. Мидделбург [17]. Для восстановления гидродинамической системы потребовалось семь лет, в течение которых происходило дренирование каналами смешанных

по составу подземных вод, перекачка их из каналов в море и восполнение пресной воды за счет осадков.

Натурные и лабораторные исследования показывают, что глубина интрузии морских вод существенно зависит от гидрогеологических характеристик водовмещающих пород. Так, длина зоны интрузии невелика в маломощных слабопроницаемых пластах и достаточно велика (до нескольких километров) в хорошо проницаемых пластах большой мощности [92, 94, 95]. Это также подтверждается в ряде работ [75, 86, 114] исследователей КНДР, которые отмечают внедрение морских вод в осадочные отложения по всей береговой линии с образованием «языков» на участках развития высокопроницаемых пород значительной мощности.

Большим многообразием отличаются зоны интрузии в многослойных пластовых системах. В стратифицированных двухслойных пластах, имеющих более проницаемый верхний слой, соленая вода дальше проникает в сторону суши, в отличие от такого же по мощности двухслойного пласта, но с более проницаемым нижним слоем. В многослойных системах, которые могут быть представлены как несколько водоносных слоев, разделенных промежуточными прослоями, в каждом подслое может возникать язык интрузии [82].

Характерным примером такой структуры зоны интрузии служит о. Лонг-Айленд [102]. Наличие многоклиньевой структуры было обнаружено в прибрежных водоносных горизонтах Израиля [108].

По результатам анализа опыта эксплуатации прибрежных водозаборных сооружений в различных странах мира можно выделить несколько направлений исследований по проблеме интрузии морских вод в водоносные горизонты:

- изучение режима поверхностных и подземных вод в прибрежной зоне;
- изучение процесса внедрения морских вод в прибрежные водоносные горизонты;
- аналоговое, физическое и математическое моделирование процессов интрузии;
- поиск оптимальной эксплуатации пресных подземных вод при наличии контакта с морскими водами;
- разработка специальных инженерных мероприятий по предотвращению интрузии морских вод.

Первостепенный интерес здесь представляет прогнозирование возможного изменения качества воды в результате нарушения природной гидрогеохимической зональности в водоносных горизонтах [53]. Интрузия морских вод в подземные водоносные горизонты представляет собой сложный гидродинамический процесс совместного движения пресной и соленой вод, различающихся своей плотностью и другими физическими свойствами. В зоне

перехода от пресной к соленой морской воде происходят процессы дисперсии, диффузионное и конвективное перемешивание жидкости. Место, форма и протяженность дисперсионной зоны зависят от многих факторов, включающих в себя отношение плотностей соленых и пресных вод, расход или напор пресных вод, параметры дисперсии водоносного пласта и др. [15, 18].

5.2. Схематизация гидрохимических условий

Для прогноза изменения качественного состава подземных вод в процессе эксплуатации использована программа MT3DMS, которая является расширением программы MODFLOW (предназначенной для решения задач фильтрации подземных вод в трехмерной постановке), представляя собой ее миграционное дополнение. Определенное на MODFLOW поле напоров, с учетом матриц параметров и временной разбивки, используется для построения поля скоростей фильтрации, которое является основой для решения задачи движения трассера [115]. В пакете предусмотрены следующие методы решения уравнений переноса:

- а) метод характеристик в его оригинальной трактовке (МОС);
- б) модифицированный метод характеристик (ММОС);
- г) комбинация этих двух методов (НМОС);
- д) метод конечных разностей (левая аппроксимация);
- е) TVD – схема третьего порядка.

Геомиграционная модель была создана на основе геофильтрационной модели. Таким образом, геомиграционная модель охватывает ту же территорию и имеет геометрию, аналогичную геофильтрационной. Матрицы инфильтрации, проницаемости и мощности горизонтов, а также величина водоотбора остались неизменными. Граничные условия также не претерпели изменений, однако в модель были дополнительно заданы необходимые миграционные параметры: активная пористость (n_a) и продольная гидродисперсия (D_L , м) и др. Параметры были приняты, на основе опубликованных материалов, а также на результатах исследований, проведенных для аналогичных пород [58, 101].

Мировой опыт исследований в области массопереноса в подземных водах показывает, что значения параметра гидродисперсии существенно зависят от масштабов области развития миграционных процессов. Gelhar A. с сотрудниками [103] обобщили более 100 полевых определений константы продольной гидродисперсии на 59 участках при различных гидрогеологических условиях и масштабах переноса трассера (рис. 5.2). Выявленная зависимость при размерах области переноса от нескольких метров до километра близка к степенной. Лабораторные эксперименты имеют еще меньший масштаб, чем полевые

миграционные эксперименты и дают существенно заниженные параметры, характеризующие рассеяние вещества.

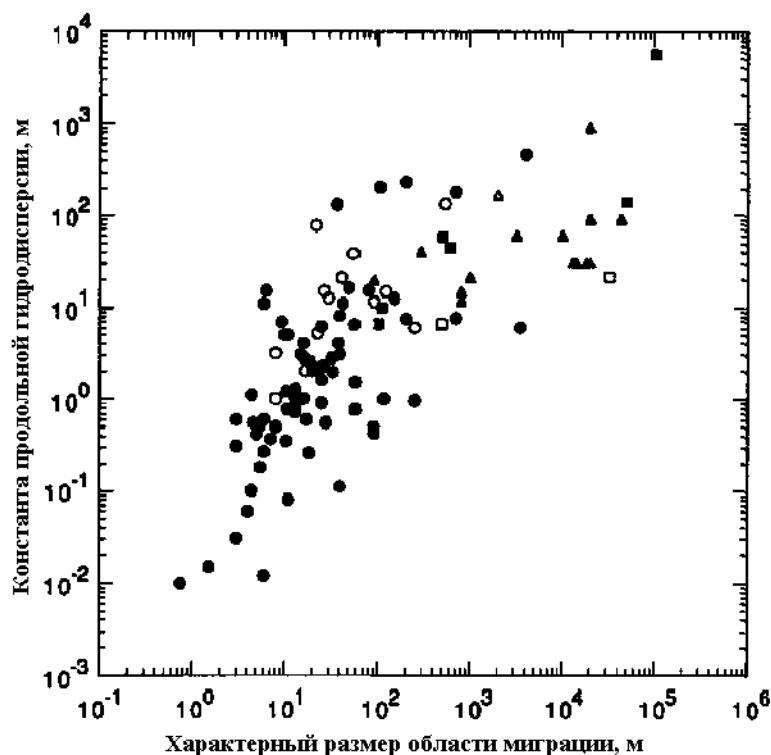


Рисунок 5.2. Зависимость константы гидродисперсии от масштабов переноса.

Залитые значки соответствуют пористым породам, пустые – трещиноватым (●○ – миграционные эксперименты, ▲△ – наблюдения на участках загрязнения, ■□ – изучение миграции природных и техногенных

Учитывая размер области миграции порядка 5 км, параметр гидродисперсии может варьировать в диапазоне от 25 до 50 м. Отношение поперечной гидродисперсии к продольной (D_{Ty}/D_L) и вертикальной гидродисперсии к продольной (D_{Tz}/D_L) составили 1:10. Коэффициент молекулярной диффузии (D_m , $m^2/сут$) принимается равным нулю. Величины активной пористости для модельных слоев приняты равными гравитационной водоотдаче (табл. 5.1).

Величина активной пористости

Таблица 5.1.

№ модельного слоя	Водоносные горизонты и водоупоры	n_a
1	III-H	0,1
2	f,lgIIvl-ms	0,15
3	gIIvl	0,1
4	f, lgIok-IIvl	0,25
	P_{2pr} / P_{2al}	0,2
5	$P_{2sm} + P_1$	0,15
6	K_2	0,01

Анализ гидрохимического режима подземных вод Балтийской косы показал, что их минерализация зависит в основном от концентрации хлоридов. Соответственно при

прогнозировании изменения качественного состава особое значение уделяется миграции именно этого компонента. В качестве начального распределения концентраций в заливах и в водоносных горизонтах приняты значения концентрации хлоридов и величины общей минерализации, полученные по результатам аналитических исследований проб поверхностных и подземных вод (разд. 3.3.-3.4).

Особенно следует отметить распределение хлоридов в четвертом модельном слое, аппроксимирующем четвертичные и среднепалеогеновые отложения. Здесь язык интрузии был построен на основании имеющихся представлений о внедрении морских вод в прибрежные водоносные горизонты [76-78, 80-85], а также на основании существующего распределения концентраций хлоридов в соответствующих гидрогеологических подразделениях по состоянию на 2016 г. Начальные концентрации хлоридов и величины общей минерализации в поверхностных и подземных водах приведены в таблице 5.2. Начальное распределение концентраций хлоридов в четвертом модельном слое приведено на рисунке 5.3

Начальные концентрации хлоридов и минерализации в поверхностных и подземных водах

Таблица 5.2.

№ слоя	Наименование объекта	Концентрация	
		Cl, мг/дм ³	TDS, г/дм ³
1	<i>Гданьский залив</i>	3897,6	7,05
	<i>Калининградский залив</i>	3418,0	5,55
	<i>Калининградский судоходный канал</i>	3657,8	4,05
	<i>III-H</i>	15,0	0,40
2	<i>f,lgIIvl-ms</i>	28,8	0,60
3	<i>gIIvl</i>	28,8	0,60
4	<i>f, lgIok-IIvl</i>	25,0-3500,0	0,45-7,00
	<i>P_{2pr} / P_{2al}</i>		
5	<i>P_{2sm}+P₁</i>	55,0	0,50
6	<i>K₂</i>	90,5	0,50

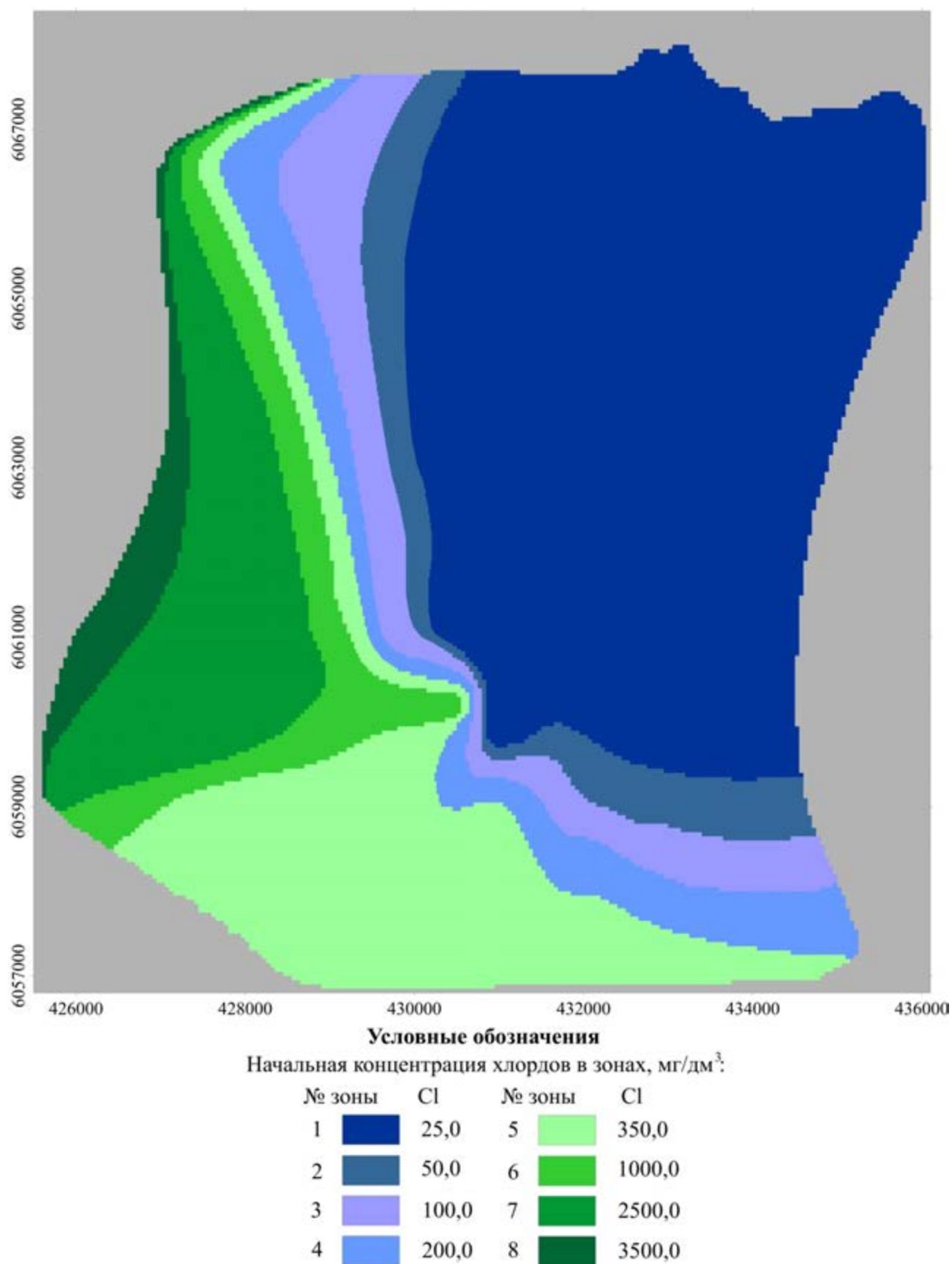


Рисунок 5.3. Начальное распределение концентраций хлоридов в четвертом модельном слое

5.3. Прогноз изменения качества подземных вод при различных сценариях водоотбора

Проигрывание различных возможных сценариев процессов загрязнения и реабилитации, позволяет выявить ориентировочные диапазоны эффективности тех или иных вариантов реабилитационных мероприятий с одновременной оценкой наиболее перспективных направлений и участков дополнительных исследований или наблюдений. При этом, решаемая роль при поиске оптимальных, а точнее, рациональных решений в конечном итоге отводится тщательно планируемым модельным экспериментам, после которых окончательный выбор доверяется эксперту [55].

На основании анализа мирового опыта в вопросах реабилитации последствий морской интрузии в прибрежные водоносные горизонты, а также учитывая значительный фактурный материал, дающий хорошее представление о гидродинамических и гидрохимических особенностях рассматриваемой территории, в качестве основного решения существующей проблемы было выбрано достижение оптимальной величины водоотбора и при необходимости, изменение существующей схемы расположения скважин, при котором минимизируется влияние интрузии морских вод. При этом критерием оптимальности послужит обеспечение требований по качеству воды (содержанию хлоридов и величине минерализации).

Выбор данной стратегии основан не только на экономической рентабельности, при которой не потребуются дорогостоящих, и не всегда эффективных [55], методов очистки подземных вод от существующего загрязнения, но и на результатах анализа гидродинамического и гидрохимического режима подземных вод, в рамках которого было установлено, что в ряде случаев снижение эксплуатационного дебита скважин и перераспределение нагрузок на скважины, способствуют снижению концентрации хлоридов в отбираемых подземных водах, а следовательно и снижению минерализации [67].

Перед определением оптимального сценария водоотбора, проиграны несколько дополнительных вариантов прогноза, анализ результатов которых, помог получить общее представление о возможных вариантах продвижения и отступления «языка» интрузии морских вод при различных нагрузках на скважины. Подобная постановка решения прогнозной задачи предоставляет возможность получения не только значений концентрации хлоридов и минерализации в каждой точке рассматриваемого пространства, но и делает дополнительную проверку соответствия численной модели реальной гидрогеологической системе.

Следует отметить, что при анализе дополнительных сценариев, пересчет понижений с модельных блоков на скважины не производится, ввиду отсутствия в этом определенной

необходимости. Тем не менее, следует отметить, что подобные расчеты уже выполнялись в работе [124] и были апробированы государственной комиссией по запасам.

В конечном счете, рассматривается следующий ряд сценариев:

- 1) сохранение существующей схемы и объемов водоотбора;
- 2) сохранение существующей схемы и объемов водоотбора с учетом работы участка «Восточная Грива» (Новобалтийское МППВ [124]);
- 3) увеличение водоотбора на 25% с сохранением существующей схемы;
- 4) уменьшение водоотбора на 25% с сохранением существующей схемы;
- 5) увеличение водоотбора на 50% с сохранением существующей схемы;
- 6) уменьшение водоотбора на 50% с сохранением существующей схемы;

5.3.1 Сценарий 1 - сохранение существующей схемы и объемов водоотбора

В качестве первого варианта, рассмотрим сценарий с сохранением существующей схемы расположения скважин и величины водоотбора. При этом проектные скважины участка «Восточная Грива» учитываться при прогнозе не будут, что отвечает сложившейся схеме водоотбора на конец 2016 г.

Расчет выполнялся в нестационарной постановке на 25 лет. С учетом того, что схема водоотбора принята постоянной, расчет выполнен для одного стресс-периода. Общее количество отбираемой воды эксплуатационными скважинами составило 10486,5 м³/сут.

Анализ водного баланса на конец 25-ти летнего срока эксплуатации показал увеличение привлекаемых ресурсов со стороны заливов на 5746,8 м³/сут. Перехват естественного потока увеличился на 4727,7 м³/сут. Вклад емкостных запасов составил 12,0 м³/сут (табл. 5.3).

Общий баланс модели (сценарий 1)

Таблица 5.3.

Источник	Нарушенный режим		Естественный режим		Величина изменения питания	Величина изменения разгрузки
	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)		
	Водный баланс всей модели					
Емкостные запасы	12,0	0,0	0,0	0,0	12,0	
Инфильтрация	7541,8	0,0	7541,8	0,0		
Северная граница	289,3	1,3	289,3	1,3		
Заливы	4727,7	2082,8	0,0	7829,6	4727,7	5746,8
Скважины	0,0	10486,5	0,0	0,0		
Итого:	12570,9	12570,7	7831,1	7830,9	10486,5	

В таблице 5.4 приведены фактические и прогнозные концентрации хлоридов и величины минерализации по эксплуатационным скважинам г. Балтийска. На рисунке 5.4 представлено прогнозируемое распределение концентраций хлоридов в окско-вологодском и среднепалеогеновом алкском водоносных горизонтах на конец 9125 сут.

Сводная таблица фактических и прогнозных данных по эксплуатационным скважинам г. Балтийска (сценарий 1)

Таблица 5.4.

Водоп-ль	№ скв.	ВГ	Дебит скв., м³/сут		Концентрация хлоридов, мг/дм³		Величина минерализации, г/дм³	
			2016	2045	2016	2045	2016	2045
МУП «Балтвода»	35	K_2	362,4	362,4	64,0	95,1	0,52	0,54
	д/6	f, lgIok-IIvl	845,6	845,6	74,0	213,3	0,75	0,84
	139	f, lgIok-IIvl	955,8	955,8	34,5	81,6	0,68	0,69
	185	f, lgIok-IIvl	905,2	905,2	390,0	1341,5	1,25	1,81
	190	f, lgIok-IIvl	528,6	528,6	840,0	562,4	1,96	1,14
	134	f, lgIok-IIvl	1233,3	1233,3	415,0	162,0	1,35	0,72
	136	f, lgIok-IIvl	718,7	718,7	240,0	241,7	0,98	0,84
	173	f, lgIok-IIvl	730,2	730,2	182,5	154,6	0,83	0,67
	191	K_2	301,8	301,8	122,5	195,8	0,67	0,79
	192	f, lgIok-IIvl	507,2	507,2	177,5	149,5	0,86	0,80
	74	P_{2al}	705,8	705,8	10,8	27,2	0,61	0,57
МИС Балтийского флота	8201	P_{2al}	81,7*	81,7	340,1	289,2	0,90	0,87
	8206	P_{2al}	81,7*	81,7	н.с.	26,6	н.с.	0,53
	8207	P_{2al}	81,7*	81,7	н.с.	26,6	н.с.	0,53
	8208	P_{2al}	81,7*	81,7	н.с.	26,6	н.с.	0,53
	8209	P_{2al}	81,7*	81,7	н.с.	26,6	н.с.	0,53
	8210	f, lgIIvl-ms	40,3*	40,3	н.с.	269,9	н.с.	0,74
	8211	f, lgIIvl-ms	40,3*	40,3	н.с.	269,9	н.с.	0,74
Военный госпиталь	53475	P_{2al}	480,0	480,0	10,0	26,6	0,40	0,53
АО «Судоремонтный завод №33»	53005	P_{2al}	552,9*	552,9	н.с.	935,9	н.с.	1,47
	909-Д	P_{2al}	552,9*	552,9	н.с.	972,2	н.с.	1,68
	908-Д	P_{2al}	552,9*	552,9	369,3	1012,0	0,98	1,83
АО «Балтийский хлеб»	77821	K_2	64	64	81,2	97,9	0,44	0,52
Суммарный водоотбор:			<u>10486,5</u>	<u>10486,5</u>				

*Ввиду отсутствия информации о распределении водоотбора по скважинам, величина лицензионного водоотбора пропорционально разделена на количество скважин, указанных в лицензии.

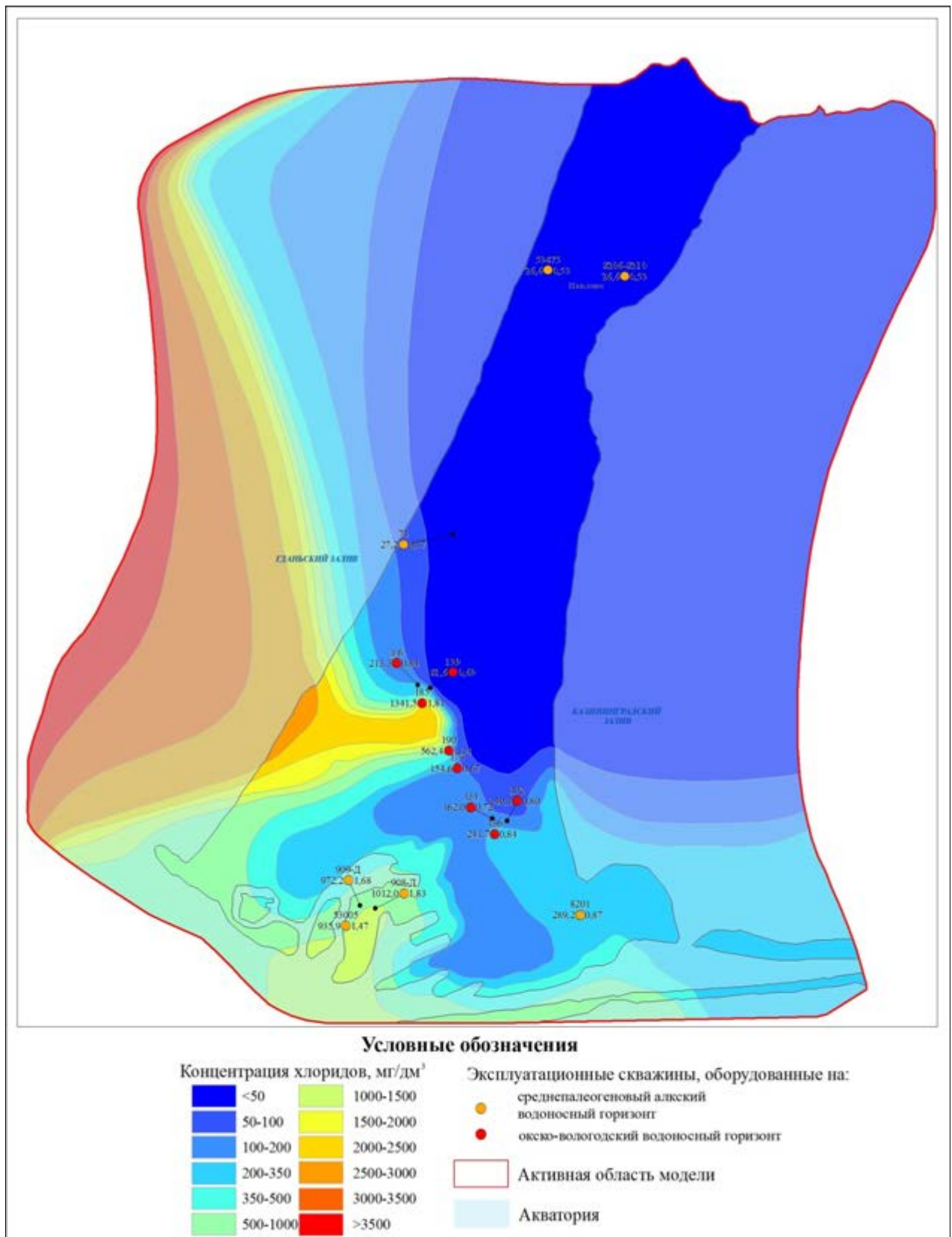


Рисунок 5.4. Распространение хлоридов в окско-вологодском и среднепалеогеновом алкском водоносных горизонтах на конец 9125 сут (сценарий 1)

Для наглядного сопоставления фактического и прогнозного содержания хлоридов (Cl) и величины минерализации (TDS – total dissolved solids) в подземных водах, перенесем все данные на диаграмму (рис. 5.5) и расположим в порядке от меньшего к большему. Подобная

сортировка позволит в дальнейшем отслеживать изменения концентраций в определенных скважинах, а также использовать экспоненциальную аппроксимацию данных (линию тренда). Достоверность аппроксимации определяется числом R^2 , и чем ближе оно к 1, тем линия тренда в наибольшей степени приближается к представленной на диаграмме зависимости [79].

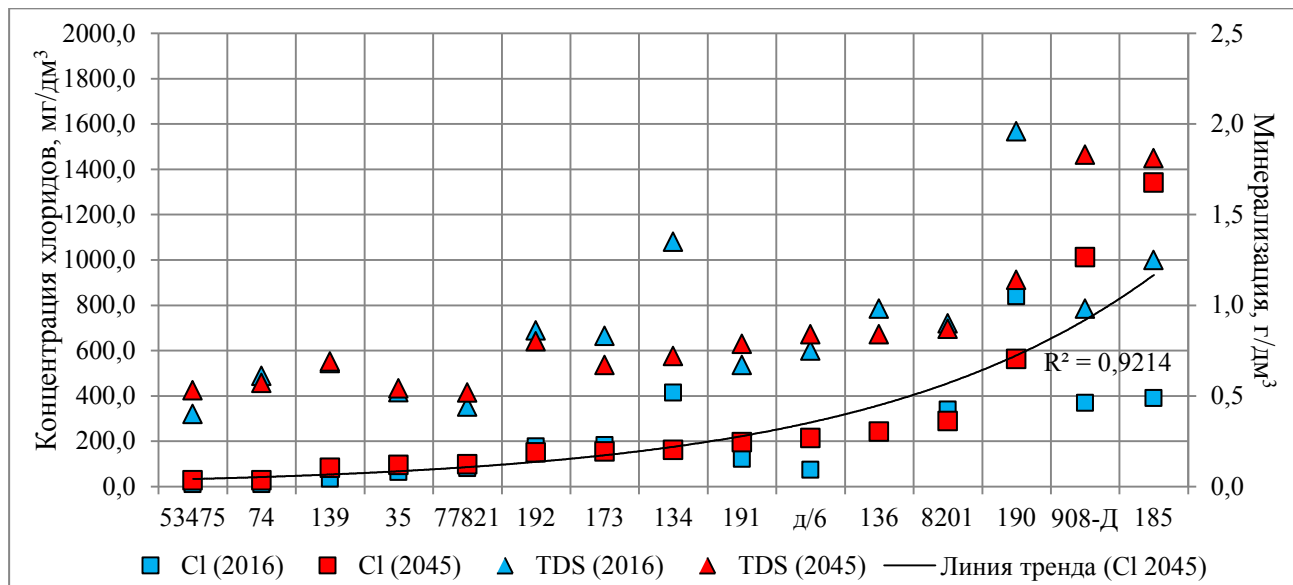


Рисунок 5.5. График сопоставления текущих концентраций хлоридов и величины минерализации с прогнозными (Сценарий 1)

При площадном анализе распределения хлоридов (рис. 5.4) на конец 25-летнего периода можно ожидать, что основной фронт интрузии, после вывода из эксплуатации в 2015-2016 годах, высокодебитных скважин 187 и 198 сместится в северо-западном направлении. При этом ширина ореола с концентрацией хлоридов порядка 2000 мг/дм³ расширится с 200 м до 370 м и отступила к побережью Гданьского залива на 165 м. Это объясняется влиянием достаточно крупных водозаборных узлов на левом (скв. №№ д/6, 139 и 185) и правом (скв. №№ 190, 173) флангах языка интрузии.

Также следует отметить повышенное содержание хлоридов в районе водозаборного узла СРЗ 33 (скв. №№ 908-д, 909-д, 53005), фронт которого тяготеет к центральной части палеодалины.

Результат решения прогнозной задач позволяет сделать вывод о том, что при сохранении текущей схемы и объемов водоотбора, качество подземных вод со временем будет ухудшаться. Данный вывод подтвержден опытом предыдущей эксплуатации, при котором со стабильным среднегодовым дебитом на отдельных скважинах на протяжении десяти лет наблюдался рост концентрации хлоридов и величины минерализации [64, 65, 69, 124].

5.3.2 Сценарий 2 - сохранение существующей схемы и объемов водоотбора с учетом работы участка «Восточная Грива»

В качестве второго варианта, рассмотрим сценарий с сохранением существующей схемы расположения скважин и величины водоотбора с учетом работу нового участка «Восточная Грива».

Расчет выполнялся в нестационарной постановке на 25 лет. С учетом того, что схема водоотбора принята постоянной, расчет выполнен для одного стресс-периода. Общее количество отбираемой воды эксплуатационными скважинами составило 14486,5 м³/сут.

Анализ водного баланса на конец 25-ти летнего срока эксплуатации показал увеличение привлекаемых ресурсов со стороны заливов на 6927,4 м³/сут. Перехват естественного потока увеличился на 7347,0 м³/сут. Вклад емкостных запасов составил 212,1 м³/сут (табл. 5.5).

Общий баланс модели (сценарий 2)

Таблица 5.5.

Источник	Нарушенный режим		Естественный режим			Величина изменения питания	Величина изменения разгрузки
	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)	Поступило в модель (м³/сут)		Вышло из модели (м³/сут)		
	Водный баланс всей модели						
Емкостны запасы	212,1	0,0	0,0		0,0	212,1	
Инфильтрация	7541,8	0,0	7541,8		0,0		
Северная граница	289,3	1,3	289,3		1,3		
Заливы	7347,0	902,1	0,0		7829,6	7347,0	6927,4
Скважины	0,0	14486,5	0,0		0,0		
Итого:	15390,2	15390,0	7831,1		7830,9	<u>14486,5</u>	

В таблице 5.6 приведены фактические и прогнозные концентрации хлоридов и величины минерализации по эксплуатационным скважинам г. Балтийска. На рисунках 5.6 и 5.7. представлены результаты прогноза.

Сводная таблица фактических и прогнозных данных по эксплуатационным скважинам г. Балтийска (сценарий 2)

Таблица 5.6.

Водопользователь	№ скв.	ВГ	Дебит скв., м ³ /сут		Концентрация хлоридов, мг/дм ³		Величина минерализации, г/дм ³	
			2016	2045	2016	2045	2016	2045
МУП «Балтвода»	35	K ₂	362,4	362,4	64,0	96,5	0,52	0,56
	д/6	f, lgIok-IIvI	845,6	845,6	74,0	259,6	0,75	0,84
	139	f, lgIok-	955,8	955,8	34,5	113,0	0,68	0,70

Водопользователь	№ скв.	ВГ	Дебит скв., м³/сут		Концентрация хлоридов, мг/дм³		Величина минерализации, г/дм³	
		Пвл						
	185	f, lgIok-Пвл	905,2	905,2	390,0	1519,0	1,25	1,95
	190	f, lgIok-Пвл	528,6	528,6	840,0	491,1	1,96	1,10
	134	f, lgIok-Пвл	1233,3	1233,3	415,0	165,8	1,35	0,73
	136	f, lgIok-Пвл	718,7	718,7	240,0	239,5	0,98	0,83
	173	f, lgIok-Пвл	730,2	730,2	182,5	151,1	0,83	0,66
	191	K ₂	301,8	301,8	122,5	199,0	0,67	0,80
	192	f, lgIok-Пвл	507,2	507,2	177,5	159,2	0,86	0,80
	74	P _{2al}	705,8	705,8	10,8	32,2	0,61	0,58
	10П	P _{2al}	1000**	1000	12,0***	66,2	0,49***	0,60
	11П	P _{2al}	1000**	1000	45,3***	325,1	0,50***	0,88
	12П	P _{2al}	1000**	1000	12,8***	174,0	0,54***	0,72
	13П	P _{2al}	1000**	1000	14,5***	28,1	0,43***	0,56
МИС Балтийского флота	8201	P _{2al}	81,7*	81,7	340,1***	286,0	0,90	0,81
	8206	P _{2al}	81,7*	81,7	н.с.	26,2	н.с.	0,51
	8207	P _{2al}	81,7*	81,7	н.с.	26,2	н.с.	0,51
	8208	P _{2al}	81,7*	81,7	н.с.	26,2	н.с.	0,51
	8209	P _{2al}	81,7*	81,7	н.с.	26,2	н.с.	0,51
	8210	f,lgIvl-ms	40,3*	40,3	н.с.	285,0	н.с.	0,67
	8211	f,lgIvl-ms	40,3*	40,3	н.с.	285,0	н.с.	0,67
Военный госпиталь	53475	P _{2al}	480,0	480,0	10,0	29,1	0,40	0,57
АО «Судоремонтный завод №33»	53005	P _{2al}	552,9*	552,9	н.с.	961,3	н.с.	1,51
	909-Д	P _{2al}	552,9*	552,9	н.с.	951,5	н.с.	1,42
	908-Д	P _{2al}	552,9*	552,9	369,3	1073,1	0,98	1,99
АО «Балтийский хлеб»	77821	K ₂	64	64	81,2	98,4	0,44	0,51
Суммарный водоотбор:			14486,5	14486,5				

*Ввиду отсутствия информации о распределении водоотбора по скважинам, величина лицензионного водоотбора пропорционально разделена на количество скважин, указанных в лицензии

**Указан проектный дебит скважин Новобалтийского МППВ, открытого в 2016 г. (участок «Восточная Грива»)

***Концентрация хлоридов и величина минерализации определена на основании проб воды из поисково-оценочных скважин

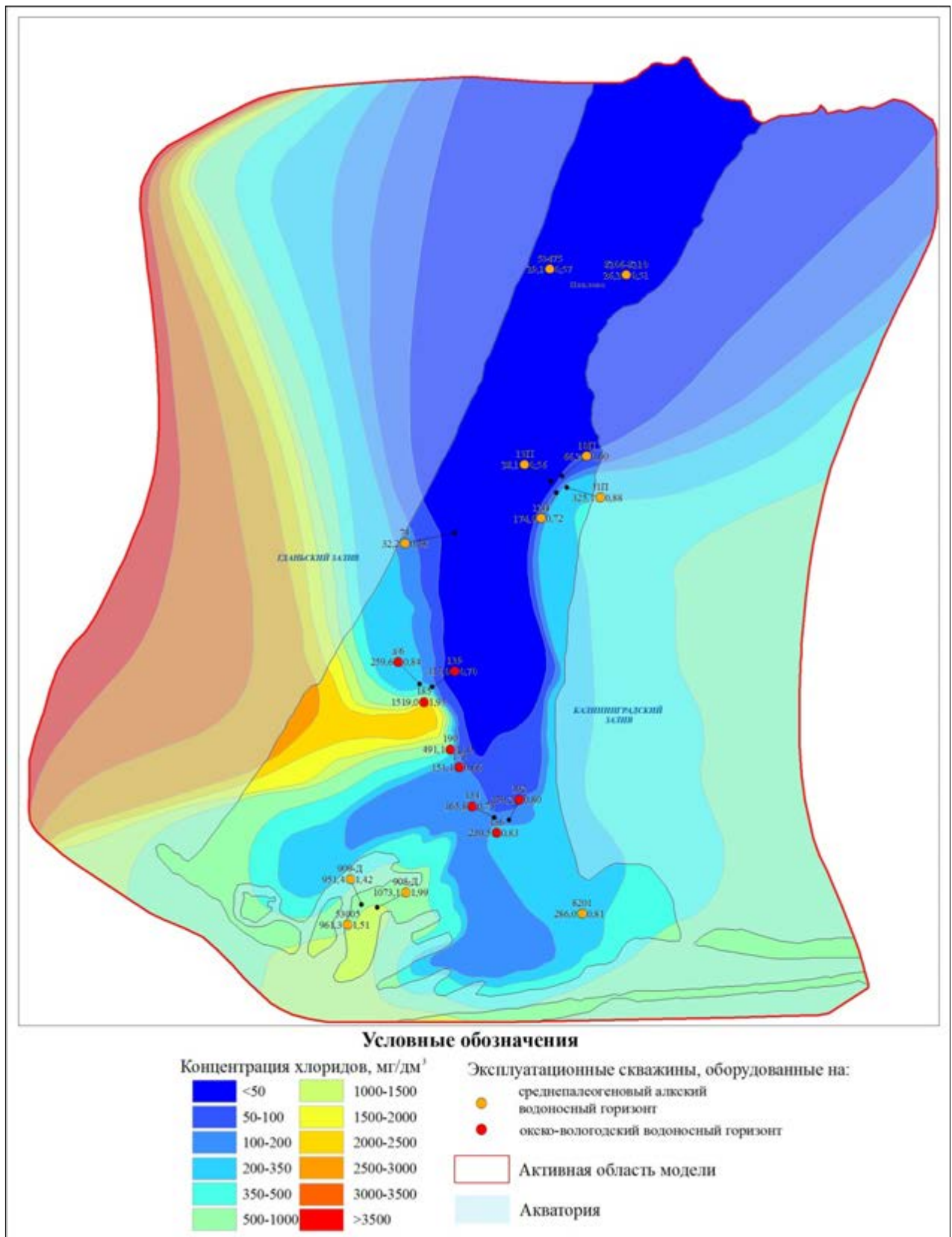


Рисунок 5.6. Распространение хлоридов в окско-вологодском и среднепалеогеновом алском водоносных горизонтах на конец 9125 сут (сценарий 2)

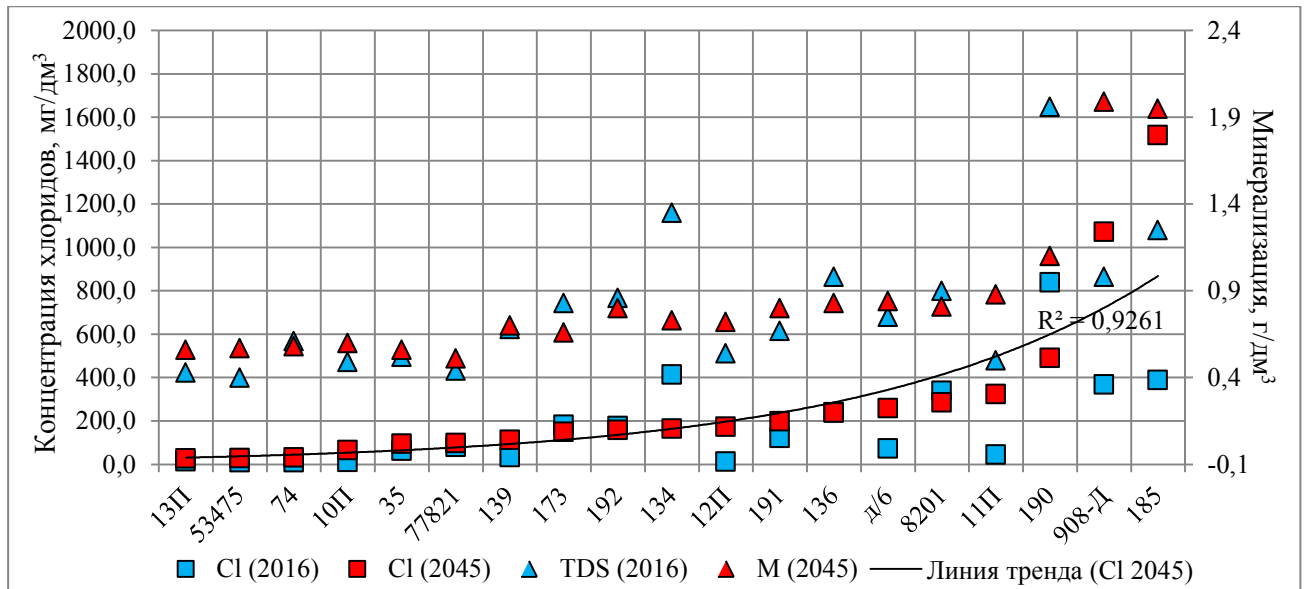


Рисунок 5.7. График сопоставления текущих концентраций хлоридов и величины минерализации с прогнозными (Сценарий 2)

На конец 25-летнего периода эксплуатации с учетом работы скважин участка «Восточная грива» стоит ожидать перемещения фронта концентрации хлоридов более 350 мг/дм^3 в северном направлении, что было подтверждено прогнозными оценками в работе [124]. В центральной части палеодолины ширина ореола с концентрацией хлоридов порядка 2000 мг/дм^3 , как и при предыдущем сценарии увеличится на 170 м, но сместится в северном направлении на 65-80 м, что приведет к росту концентраций хлоридов в водах, отбираемых скважинами №№ 185, д/6 и 139.

Превышения ПДК содержанию хлоридов и величине минерализации при таком режиме эксплуатации будут фиксироваться в скважинах №№ 185, 190, 908-Д, 909-Д и 53005.

5.3.3 Сценарий 3 - увеличение водоотбора на 25 % с сохранением существующей схемы

В качестве третьего варианта, рассмотрим сценарий с равномерным увеличением водоотбора на 25 % из скважин, эксплуатирующих окско-вологодский и среднепалеогеновый алкский водоносные горизонты при сохранении схемы их расположения. Расчет выполнялся в нестационарной постановке на 25 лет. С учетом того, что схема водоотбора принята постоянной, расчет выполнен для одного стресс-периода. Общее количество отбираемой воды эксплуатационными скважинами составило $12906,0 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Анализ водного баланса на конец 25-ти летнего срока эксплуатации показал увеличение привлекаемых ресурсов со стороны заливов на $6112,9 \text{ м}^3/\text{сут}$. Перехват естественного потока увеличился на $6672,1 \text{ м}^3/\text{сут}$. Вклад емкостных запасов составил $120,9 \text{ м}^3/\text{сут}$ (табл. 5.7).

Общий баланс модели (сценарий 3)

Таблица 5.7.

Источник	Нарушенный режим		Естественный режим		Величина изменения питания	Величина изменения разгрузки
	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)		
	Водный баланс всей модели					
Емкостные запасы	120,9	0,0	0,0	0,0	120,9	
Инфильтрация	7541,8	0,0	7541,8	0,0		
Северная граница	289,3	1,3	289,3	1,3		
Заливы	6672,1	1716,6	0,0	7829,6	6672,1	6112,9
Скважины	0,0	12906,0	0,0	0,0		
Итого:	14624,1	14624,0	7831,1	7830,9	12906,0	

В таблице 5.8 приведены фактические и прогнозные концентрации хлоридов и величины минерализации по эксплуатационным скважинам г. Балтийска. На рисунках 5.8 и 5.9 представлены результаты прогноза.

*Сводная таблица фактических и прогнозных данных
по эксплуатационным скважинам г. Балтийска (сценарий 3)*

Таблица 5.8.

Водопользователь	№ скв.	ВГ	Дебит скв., м³/сут		Концентрация хлоридов, мг/дм³		Величина минерализации, г/дм³	
			2016	2045	2016	2045	2016	2045
МУП «Балтвода»	35	K ₂	362,4	362,4	64,0	105,1	0,52	0,56
	д/6	f, lgIok-IIvl	845,6	1057,0	74,0	239,6	0,75	0,79
	139	f, lgIok-IIvl	955,8	1194,8	34,5	81,4	0,68	0,74
	185	f, lgIok-IIvl	905,2	1131,5	390,0	1345,9	1,25	1,82
	190	f, lgIok-IIvl	528,6	660,8	840,0	525,7	1,96	1,11
	134	f, lgIok-IIvl	1233,3	1541,6	415,0	153,8	1,35	0,71
	136	f, lgIok-IIvl	718,7	898,4	240,0	234,6	0,98	0,83
	173	f, lgIok-IIvl	730,2	912,8	182,5	141,4	0,83	0,66
	191	K ₂	301,8	301,8	122,5	182,6	0,67	0,78
	192	f, lgIok-IIvl	507,2	634,0	177,5	177,7	0,86	0,79
	74	P _{2al}	705,8	882,3	10,8	27,7	0,61	0,57
МИС Балтийского флота	8201	P _{2al}	81,7*	102,1	340,1	278,1	0,90	0,85
	8206	P _{2al}	81,7*	102,1	н.с.	26,59	н.с.	0,53
	8207	P _{2al}	81,7*	102,1	н.с.	26,59	н.с.	0,53
	8208	P _{2al}	81,7*	102,1	н.с.	26,59	н.с.	0,53
	8209	P _{2al}	81,7*	102,1	н.с.	26,59	н.с.	0,53

Водопользователь	№ скв.	ВГ	Дебит скв., м ³ /сут		Концентрация хлоридов, мг/дм ³		Величина минерализации, г/дм ³	
	8210	<i>f.lgHvl-ms</i>	40,3*	40,3	н.с.	319,0	н.с.	0,73
	8211	<i>f.lgHvl-ms</i>	40,3*	40,3	н.с.	319,0	н.с.	0,73
Военный госпиталь	53475	<i>P₂al</i>	480,0	600,0	10,0	26,6	0,40	0,53
АО «Судоремонтный завод №33»	53005	<i>P₂al</i>	552,9*	691,2	н.с.	1045,6	н.с.	1,68
	909-Д	<i>P₂al</i>	552,9*	691,2	н.с.	1004,6	н.с.	1,65
	908-Д	<i>P₂al</i>	552,9*	691,2	369,3	1454,6	0,98	2,05
АО «Балтийский хлеб»	77821	<i>K₂</i>	64	64,0	81,2	101,1	0,44	0,56
Суммарный водоотбор:			10486,5	12905,0				

**Ввиду отсутствия информации о распределении водоотбора по скважинам, величина лицензионного водоотбора пропорционально разделена на количество скважин, указанных в лицензии*

На конец 25-летнего периода эксплуатации при равномерном увеличении водоотбора на четверть от текущего, следует ожидать незначительное перемещение фронта концентрации хлоридов $> 350 \text{ мг/дм}^3$ в северном направлении. В скважинах каптирующих окско-вологодский горизонт, на фоне стабильного превышения ПДК в скв. №№ 185 и 190, в среднем содержание хлоридов останется на прежнем уровне. Конфигурация основного фронта интрузии не претерпит изменений и сохранит такие же размеры и положение, как и при сценарии 1.

Более сильное влияние увеличения водоотбора отразится на скважинах Судоремонтного завода. При таком сценарии содержание хлоридов в скважинах, оборудованных здесь на среднепалеогеновый алкский водоносный горизонт, может достигать от 1000 до 1500 мг/дм³.

Превышения ПДК при таком режиме эксплуатации будут фиксироваться в скважинах №№ 185, 190, 908-Д, 909-Д и 53005. Следует отметить, что равномерное увеличение нагрузки на скважины, отразилось и на росте концентраций хлоридов в смежных вологодско-московском и верхнемеловом водоносных горизонтах. Подобное явление неоднократно фиксировалось специалистами МУП «Балтвода» [124], что в свою очередь подтверждает тот факт, что моделируемая система отождествляет природный объект.

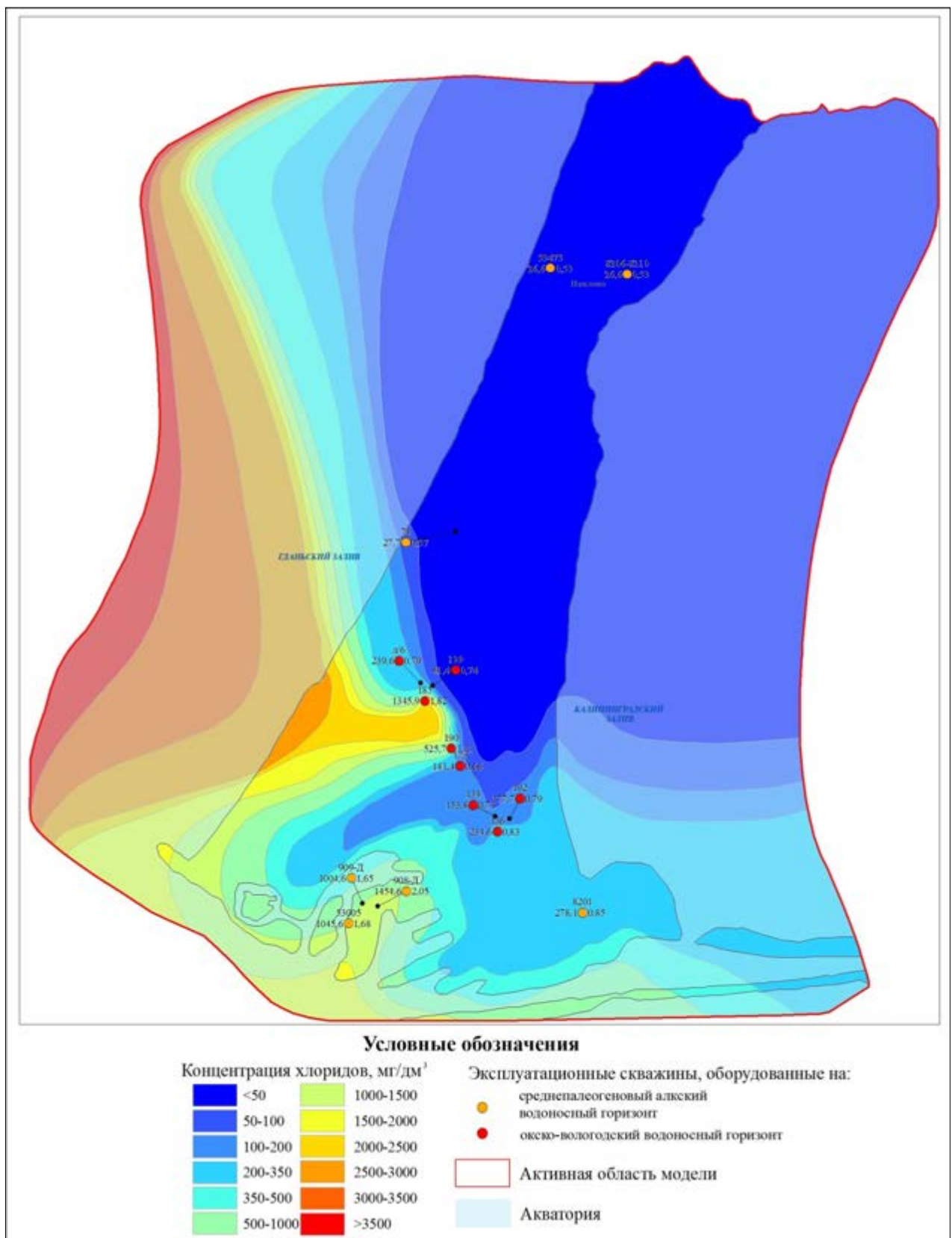


Рисунок 5.8. Распространение хлоридов в окско-вологодском и среднепалеогеновом алкском водоносных горизонтах на конец 9125 сут (сценарий 3)

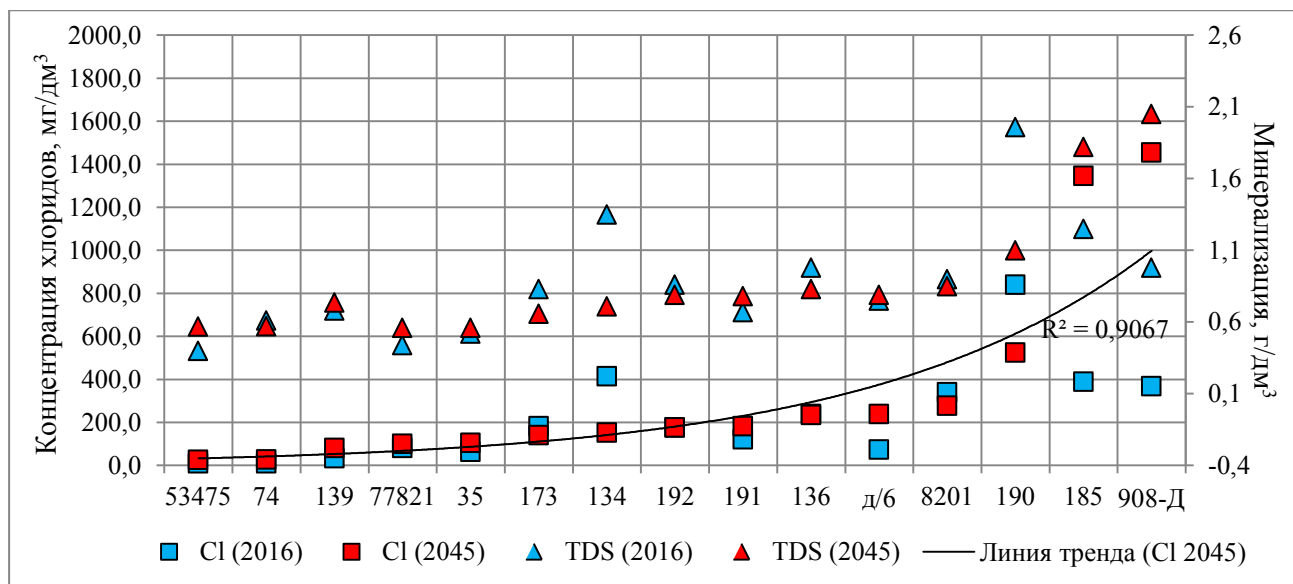


Рисунок 5.9. График сопоставления текущих концентраций хлоридов и величины минерализации с прогнозными (Сценарий 3)

5.3.4 Сценарий 4 - уменьшение водоотбора на 25 % с сохранением существующей схемы

В качестве четвертого варианта, рассмотрим сценарий с равномерным уменьшением водоотбора на 25 % из скважин, эксплуатирующих окско-вологодский и среднепалеогеновый алкский водоносные горизонты при сохранении схемы их расположения. Расчет выполнялся в нестационарной постановке на 25 лет. С учетом того, что схема водоотбора принята постоянной, расчет выполнен для одного стресс-периода. Общее количество отбираемой воды эксплуатационными скважинами составило 8067,1 м³/сут.

Анализ водного баланса на конец 25-ти летнего срока эксплуатации показал увеличение привлекаемых ресурсов со стороны заливов на 2912,8 м³/сут. Перехват естественного потока увеличился на 5149,9 м³/сут. Вклад емкостных запасов составил 4,3 м³/сут (табл. 5.9).

Общий баланс модели (сценарий 4)

Таблица 5.9.

Источник	Нарушенный режим		Естественный режим		Величина изменения питания	Величина изменения разгрузки
	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)		
	Водный баланс всей модели					
Емкостные запасы	4,3	0,0	0,0	0,0	4,3	
Инфильтрация	7541,8	0,0	7541,8	0,0		
Северная граница	289,3	1,3	289,3	1,3		
Заливы	2912,8	2679,6	0,0	7829,6	2912,8	5149,9
Скважины	0,0	8067,1	0,0	0,0		
Итого:	10748,2	10748,0	7831,1	7830,9	8067,1	

В таблице 5.10 приведены фактические и прогнозные концентрации хлоридов и величины минерализации по эксплуатационным скважинам г. Балтийска. На рисунках 5.10 и 5.11 представлены результаты прогноза.

Сводная таблица фактических и прогнозных данных по эксплуатационным скважинам
г. Балтийска (сценарий 4)

Таблица 5.10.

Водопользователь	№ скв.	ВГ	Дебит скв., м³/сут		Концентрация хлоридов, мг/дм³		Величина минерализации, г/дм³	
			2016	2045	2016	2045	2016	2045
МУП «Балтвода»	35	K ₂	362,4	362,4	64,0	93,25	0,52	0,55
	д/6	f, lgIok-IIvl	845,6	634,2	74,0	181,2	0,75	0,76
	139	f, lgIok-IIvl	955,8	716,9	34,5	81,2	0,68	0,74
	185	f, lgIok-IIvl	905,2	678,9	390,0	1343,1	1,25	1,82
	190	f, lgIok-IIvl	528,6	396,5	840,0	590,6	1,96	1,26
	134	f, lgIok-IIvl	1233,3	925,0	415,0	169,3	1,35	0,73
	136	f, lgIok-IIvl	718,7	539,0	240,0	251,6	0,98	0,80
	173	f, lgIok-IIvl	730,2	547,7	182,5	170,6	0,83	0,71
	191	K ₂	301,8	301,8	122,5	216,1	0,67	0,82
	192	f, lgIok-IIvl	507,2	380,4	177,5	148,6	0,86	0,72
	74	P ₂ al	705,8	529,4	10,8	26,9	0,61	0,57
МИС Балтийского флота	8201	P ₂ al	81,7*	61,3	340,1	298,6	0,90	0,91
	8206	P ₂ al	81,7*	61,3	н.с.	26,8	н.с.	0,54
	8207	P ₂ al	81,7*	61,3	н.с.	26,76	н.с.	0,54
	8208	P ₂ al	81,7*	61,3	н.с.	26,76	н.с.	0,54
	8209	P ₂ al	81,7*	61,3	н.с.	26,76	н.с.	0,54
	8210	f, lgIIvl-ms	40,3*	40,3	н.с.	218,0	н.с.	0,66
	8211	f, lgIIvl-ms	40,3*	40,3	н.с.	218,0	н.с.	0,66
Военный госпиталь	53475	P ₂ al	480,0	360,0	10,0	26,6	0,40	0,54
АО «Судоремонтный завод №33»	53005	P ₂ al	552,9*	414,7	н.с.	497,93	н.с.	1,29
	909-Д	P ₂ al	552,9*	414,7	н.с.	431,53	н.с.	1,11
	908-Д	P ₂ al	552,9*	414,7	369,3	576,0	0,98	1,15
АО «Балтийский хлеб»	77821	K ₂	64	64,0	81,2	96,5	0,44	0,51
Суммарный водоотбор:			10486,5	8067,1				

*Ввиду отсутствия информации о распределении водоотбора по скважинам, величина лицензионного водоотбора пропорционально разделена на количество скважин, указанных в лицензии

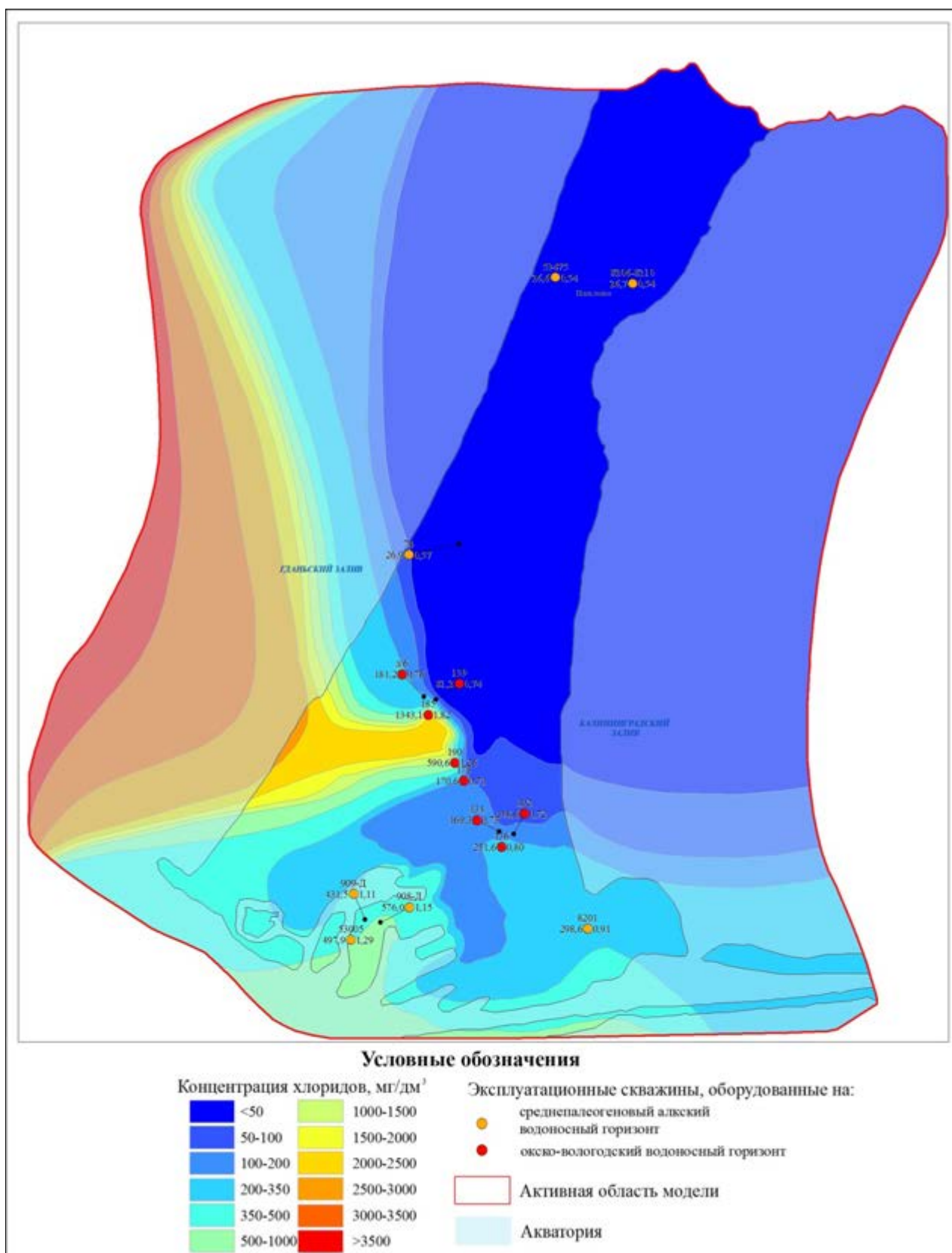


Рисунок 5.10. Распространение хлоридов в окско-вологодском и среднепалеогеновом алкском водоносных горизонтах на конец 9125 сут (сценарий 4)

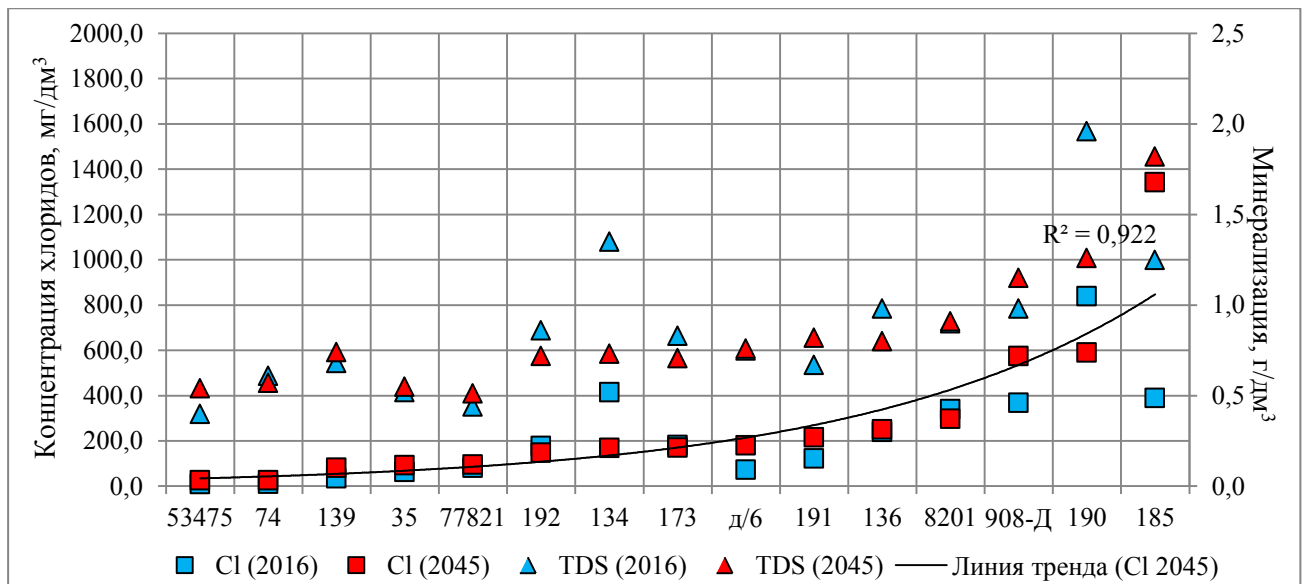


Рисунок 5.11. График сопоставления текущих концентраций хлоридов и величины минерализации с прогнозными (Сценарий 4)

На конец 25-летнего периода эксплуатации при равномерном уменьшении водоотбора на четверть от текущего, следует ожидать смещения основного фронта интрузии в западном направлении на 50-70 м и повышения концентрации хлоридов в скважинах 190 и 173 (рис. 5.10). Более сильное влияние уменьшения водоотбора отразится на скважинах Судоремонтного завода. При таком сценарии содержание хлоридов в подземных водах в районе скважин снизится на 50 %, по сравнению с сценарием 3, но останется по-прежнему выше допустимого уровня [62].

Превышения ПДК при таком режиме эксплуатации будут фиксироваться в скважинах №№ 185, 190, 908-Д, 909-Д и 53005. Следует отметить, что уменьшение нагрузки на скважины, каптирующие окско-вологодский водоносный горизонт, отразилось на росте концентраций хлоридов в верхнемеловом водоносном горизонте (скв. № 191), причем рост оказался более значительным, чем при увеличении водоотбора.

5.3.5 Сценарий 5 - увеличение водоотбора на 50 % с сохранением существующей схемы

В качестве пятого варианта, рассмотрим сценарий с равномерным увеличением водоотбора на 50 % из скважин, эксплуатирующих окско-вологодский и среднепалеогеновый алкский водоносные горизонты при сохранении схемы их расположения. Расчет выполнялся в нестационарной постановке на 25 лет. С учетом того, что схема водоотбора принята постоянной, расчет выполнен для одного стресс-периода. Общее количество отбираемой воды эксплуатационными скважинами составило 15325,4 м³/сут.

Анализ водного баланса на конец 25-ти летнего срока эксплуатации показал увеличение привлекаемых ресурсов со стороны заливов на 8703,9 м³/сут. Перехват

естественного потока увеличился на 6389,0 м³/сут. Вклад емкостных запасов составил 232,5 м³/сут (табл. 5.11).

Общий баланс модели (сценарий 5)

Таблица 5.11.

Источник	Нарушенный режим		Естественный режим		Величина изменения питания	Величина изменения разгрузки
	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)		
	Водный баланс всей модели					
Емкостные запасы	232,5	0,0	0,0	0,0	232,5	
Инфильтрация	7541,8	0,0	7541,8	0,0		
Северная граница	289,3	1,3	289,3	1,3		
Заливы	8703,9	1440,5	0,0	7829,6	8703,9	6389,0
Скважины	0,0	15325,4	0,0	0,0		
Итого:	16767,5	16767,3	7831,1	7830,9	15325,4	

В таблице 5.12 приведены фактические и прогнозные концентрации хлоридов и величины минерализации по эксплуатационным скважинам г. Балтийска. На рисунках 5.12 и 5.13 представлены результаты прогноза.

*Сводная таблица фактических и прогнозных данных
по эксплуатационным скважинам г. Балтийска (сценарий 5)*

Таблица 5.12.

Водопользователь	№ скв.	ВГ	Дебит скв., м ³ /сут		Концентрация хлоридов, мг/дм ³		Величина минерализации, г/дм ³	
			2016	2045	2016	2045	2016	2045
МУП «Балтвода»	35	K ₂	362,4	362,4	64,0	136,2	0,52	0,58
	д/6	f, lgIok-IIvl	845,6	1268,4	74,0	267,7	0,75	0,87
	139	f, lgIok-IIvl	955,8	1433,7	34,5	85,6	0,68	0,75
	185	f, lgIok-IIvl	905,2	1357,8	390,0	1333,2	1,25	1,80
	190	f, lgIok-IIvl	528,6	792,9	840,0	490,2	1,96	1,04
	134	f, lgIok-IIvl	1233,3	1850,0	415,0	160,8	1,35	0,72
	136	f, lgIok-IIvl	718,7	1078,1	240,0	227,7	0,98	0,77
	173	f, lgIok-IIvl	730,2	1095,3	182,5	128,7	0,83	0,68
	191	K ₂	301,8	301,8	122,5	182,4	0,67	0,78
	192	f, lgIok-IIvl	507,2	760,8	177,5	266,7	0,86	0,92
	74	P _{2al}	705,8	1058,7	10,8	28,3	0,61	0,57
	8201	P _{2al}	81,7*	122,6	340,1	262,9	0,90	0,82
МИС Балтийск ого флота	8206	P _{2al}	81,7*	122,6	н.с.	26,5	н.с.	0,52
	8207	P _{2al}	81,7*	122,6	н.с.	26,5	н.с.	0,52

Водопользователь	№ скв.	ВГ	Дебит скв., м ³ /сут		Концентрация хлоридов, мг/дм ³		Величина минерализации, г/дм ³	
	8208	P_{2al}	81,7*	122,6	н.с.	26,5	н.с.	0,52
	8209	P_{2al}	81,7*	122,6	н.с.	26,5	н.с.	0,52
	8210	$f.lgIlyl-ms$	40,3*	40,3	н.с.	372,1	н.с.	0,92
	8211	$f.lgIlyl-ms$	40,3*	40,3	н.с.	372,1	н.с.	0,92
Военный госпиталь	53475	P_{2al}	480,0	720,0	10,0	26,8	0,40	0,52
АО «Судоремонтный завод №33»	53005	P_{2al}	552,9*	829,4	н.с.	1252,7	н.с.	1,90
	909-Д	P_{2al}	552,9*	829,4	н.с.	1002,8	н.с.	1,63
	908-Д	P_{2al}	552,9*	829,4	369,3	1819,1	0,98	2,37
АО «Балтийский хлеб»	77821	K_2	64	64,0	81,2	109,0	0,44	0,57
Суммарный водоотбор:			10486,5	15325,4				

*Ввиду отсутствия информации о распределении водоотбора по скважинам, величина лицензионного водоотбора пропорционально разделена на количество скважин, указанных в лицензии

На конец 25-летнего периода эксплуатации при равномерном увеличении водоотбора на 50 % от текущего, следует ожидать значительного ухудшения гидрохимической обстановки в южной части исследуемой территории. В среднем концентрация хлоридов в подземных водах окско-вологодского и среднепалеогенового алкского водоносных горизонтов приблизится к уровню 1989 г., когда ввиду значительного водоотбора (порядка 16 тыс. м³/сут) сразу в пяти скважинах (ныне ликвидированных) были зафиксированы концентрации хлоридов более 1000 мг/дм³ [126].

Превышения ПДК при таком режиме эксплуатации будут фиксироваться в скважинах №№ 185, 190, 908-Д, 909-Д, 53005 каптирующих окско-вологодский и среднепалеогеновый алкский водоносные горизонты, а также в скважинах №№ 8210 и 8211, каптирующих вологодско-московский водоносный горизонт.

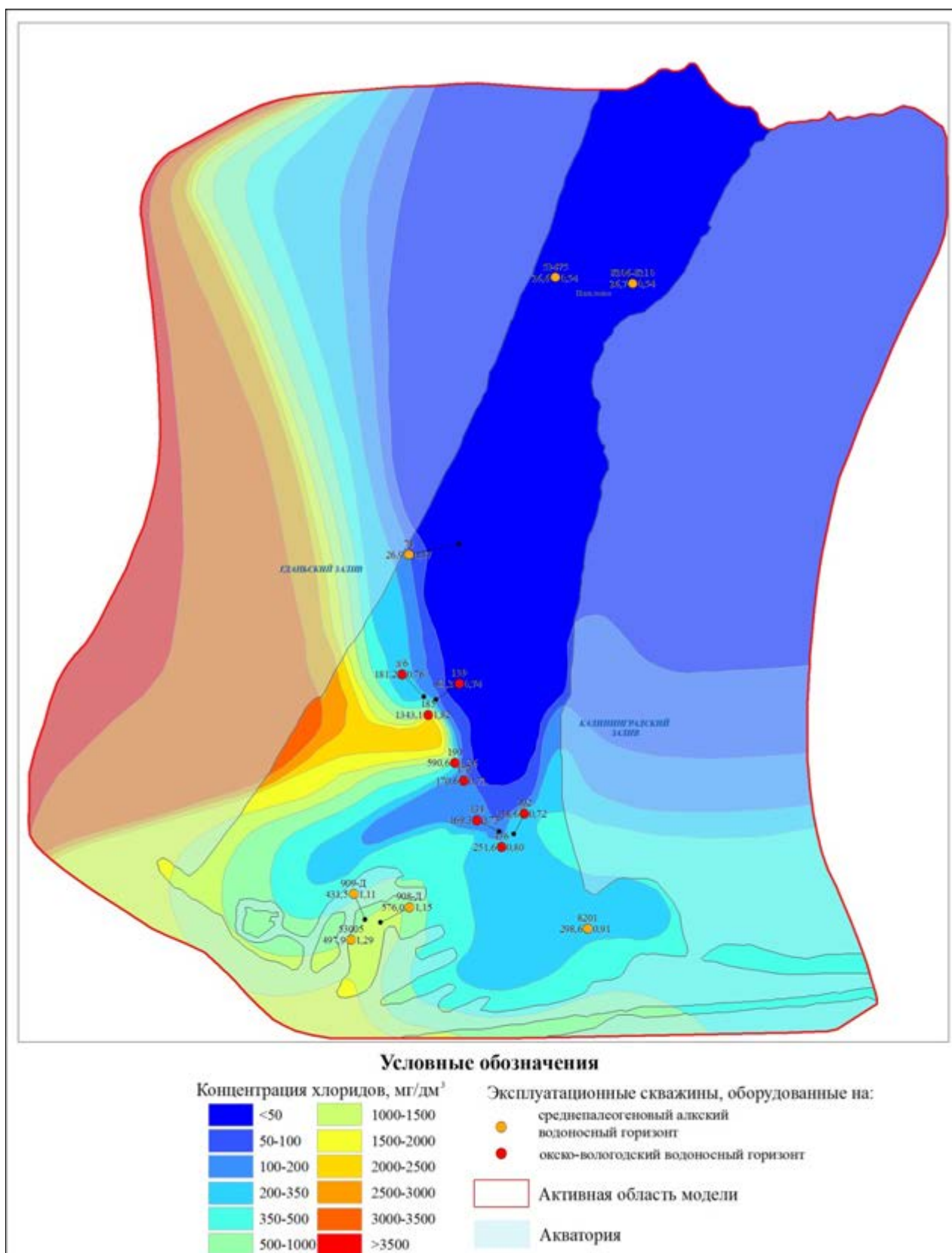


Рисунок 5.12. Распространение хлоридов в окско-вологодском и среднепалеогеновом алеском водоносных горизонтах на конец 9125 сут (сценарий 5)

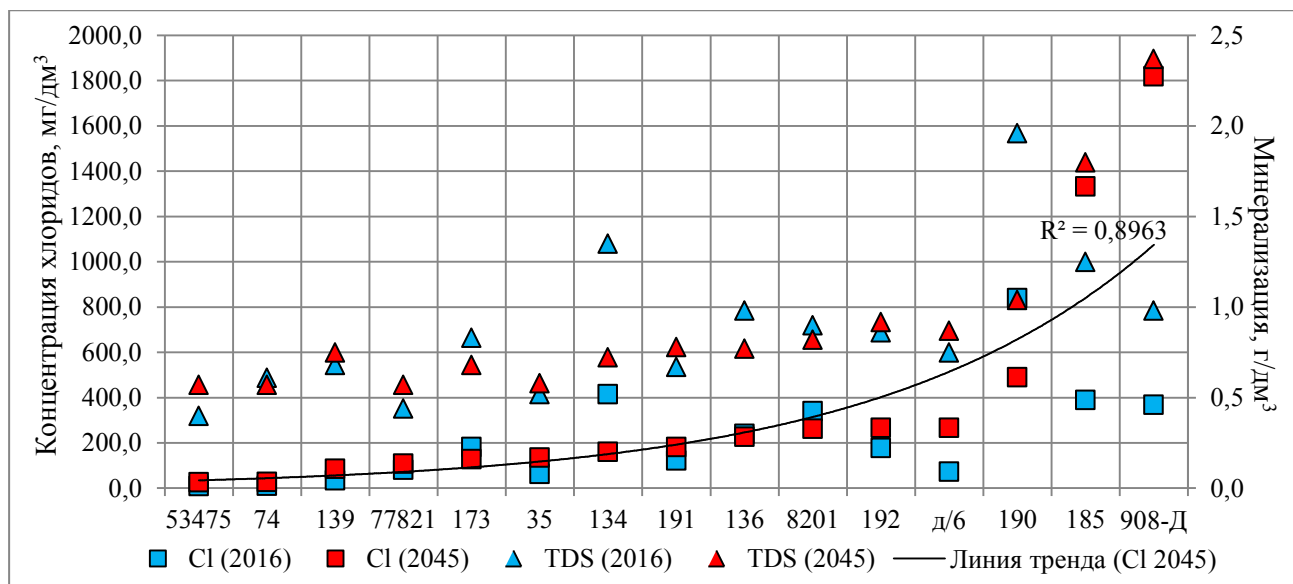


Рисунок 5.13. График сопоставления текущих концентраций хлоридов и величины минерализации с прогнозными (Сценарий 5)

5.3.6 Сценарий 6 - уменьшение водоотбора на 50 % с сохранением существующей схемы

В качестве шестого варианта, рассмотрим сценарий с равномерным уменьшением водоотбора на 50 % из скважин, эксплуатирующих окско-вологодский и среднепалеогеновый алкский водоносные горизонты при сохранении схемы их расположения. Расчет выполнялся в нестационарной постановке на 25 лет. С учетом того, что схема водоотбора принята постоянной, расчет выполнен для одного стресс-периода. Общее количество отбираемой воды эксплуатационными скважинами составило 5647,6 м³/сут.

Анализ водного баланса на конец 25-ти летнего срока эксплуатации показал увеличение привлекаемых ресурсов со стороны заливов на 1421,1 м³/сут. Перехват естественного потока увеличился на 4225,8 м³/сут. Вклад емкостных запасов составил 0,7 м³/сут (табл. 5.13).

Общий баланс модели (сценарий 6)

Таблица 5.13.

Источник	Нарушенный режим		Естественный режим		Величина изменения питания	Величина изменения разгрузки
	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)		
	Водный баланс всей модели					
Емкостные запасы	0,7	0,0	0,0	0,0	0,7	
Инфильтрация	7541,8	0,0	7541,8	0,0		
Северная граница	289,3	1,3	289,3	1,3		
Заливы	1421,1	3603,8	0,0	7829,6	1421,1	4225,8
Скважины	0,0	5647,6	0,0	0,0		
Итого:	9252,9	9252,7	7831,1	7830,9	5647,6	

В таблице 5.14 приведены фактические и прогнозные концентрации хлоридов и величины минерализации по эксплуатационным скважинам г. Балтийска. На рисунках 5.14 и 5.15 представлены результаты прогноза.

*Сводная таблица фактических и прогнозных данных
по эксплуатационным скважинам г. Балтийска (сценарий 6)*

Таблица 5.14.

Водопользователь	№ скв.	ВГ	Дебит скв., м³/сут		Концентрация хлоридов, мг/дм³		Величина минерализации, г/дм³	
			2016	2045	2016	2045	2016	2045
МУП «Балтвода»	35	K ₂	362,4	362,4	64,0	91,8	0,52	0,55
	д/6	f, lgIok-IIvl	845,6	422,8	74,0	151,8	0,75	0,74
	139	f, lgIok-IIvl	955,8	477,9	34,5	76,7	0,68	0,71
	185	f, lgIok-IIvl	905,2	452,6	390,0	1263,0	1,25	1,78
	190	f, lgIok-IIvl	528,6	264,3	840,0	662,3	1,96	1,28
	134	f, lgIok-IIvl	1233,3	616,7	415,0	171,9	1,35	0,73
	136	f, lgIok-IIvl	718,7	359,4	240,0	259,8	0,98	0,83
	173	f, lgIok-IIvl	730,2	365,1	182,5	188,8	0,83	0,75
	191	K ₂	301,8	301,8	122,5	245,6	0,67	0,86
	192	f, lgIok-IIvl	507,2	253,6	177,5	147,0	0,86	0,80
	74	P ₂ al	705,8	352,9	10,8	26,6	0,61	0,57
МИС Балтийского флота	8201	P ₂ al	81,7*	40,9	340,1	304,7	0,90	0,93
	8206	P ₂ al	81,7*	40,9	н.с.	26,7	н.с.	0,53
	8207	P ₂ al	81,7*	40,9	н.с.	26,7	н.с.	0,53
	8208	P ₂ al	81,7*	40,9	н.с.	26,7	н.с.	0,53
	8209	P ₂ al	81,7*	40,9	н.с.	26,7	н.с.	0,53
	8210	f,lgIIvl-ms	40,3*	40,3	н.с.	169,0	н.с.	0,54
	8211	f,lgIIvl-ms	40,3*	40,3	н.с.	169,0	н.с.	0,54
Военный госпиталь	53475	P ₂ al	480,0	240,0	10,0	26,6	0,40	0,53
АО «Судоремонтный завод №33»	53005	P ₂ al	552,9*	276,5	н.с.	386,47	н.с.	1,15
	909-Д	P ₂ al	552,9*	276,5	н.с.	306,20	н.с.	0,93
	908-Д	P ₂ al	552,9*	276,5	369,3	311,0	0,98	0,92
АО «Балтийский хлеб»	77821	K ₂	64	64,0	81,2	97,9	0,44	0,51
Суммарный водоотбор:			10486,5	5647,6				

*Ввиду отсутствия информации о распределении водоотбора по скважинам, величина лицензионного водоотбора пропорционально разделена на количество скважин, указанных в лицензии

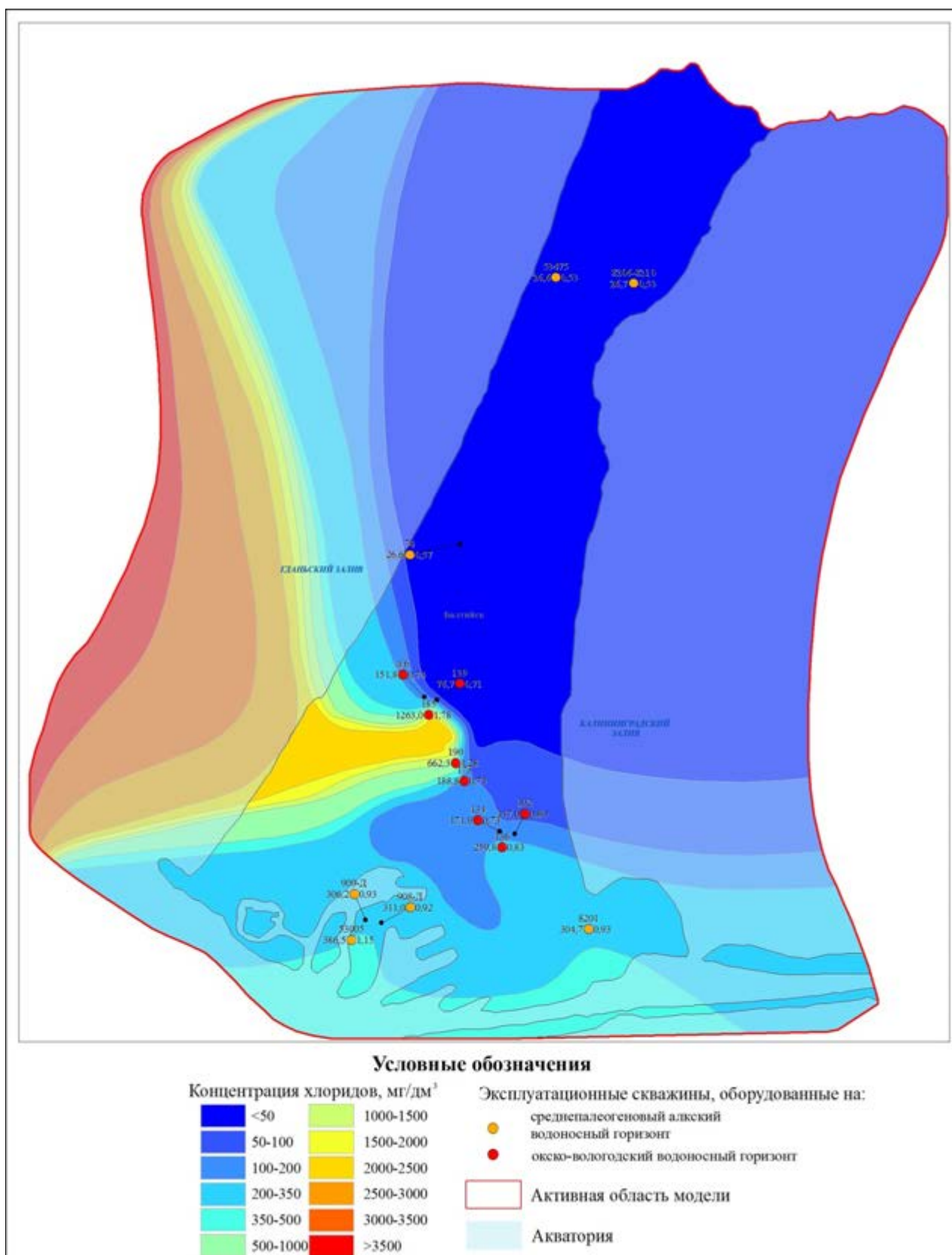


Рисунок 5.14. Распространение хлоридов в окско-вологодском и среднепалеогеновом алкском водоносных горизонтах на конец 9125 сут (сценарий 6)

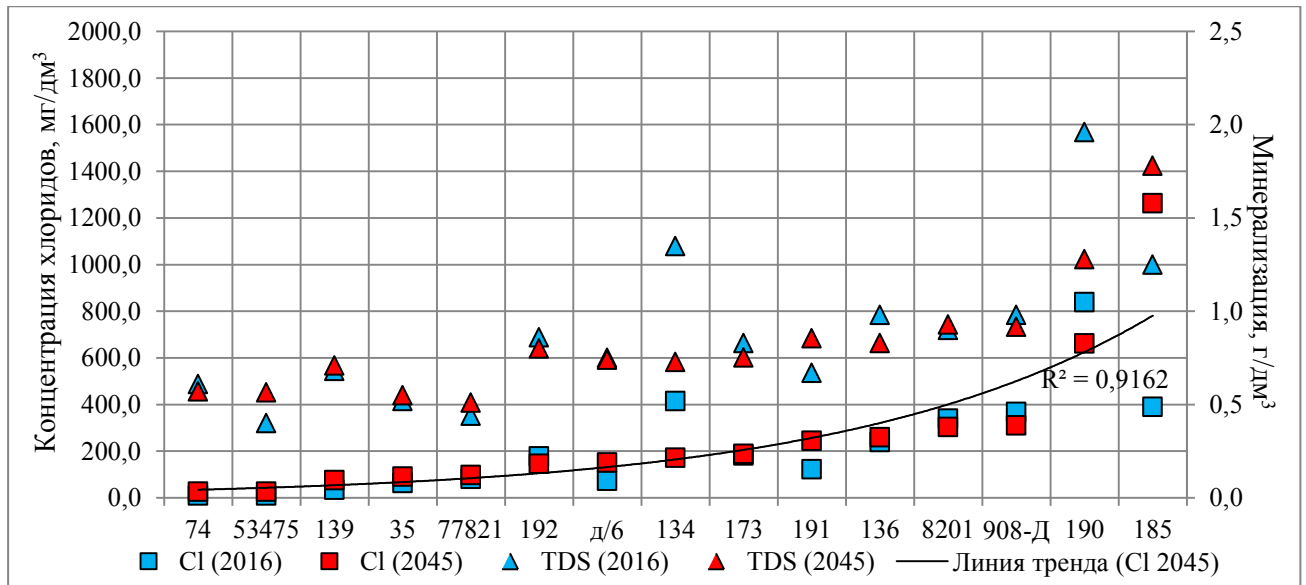


Рисунок 5.15. График сопоставления текущих концентраций хлоридов и величины минерализации с прогнозными (Сценарий 5)

На конец 25-летнего периода эксплуатации при равномерном уменьшении водоотбора на 50 % от текущего, следует ожидать значительного снижения концентрации хлоридов в южной части рассматриваемой территории, при том, что сам фронт интрузии отступит незначительно в западном направлении (рис. 5.14). При таком режиме эксплуатации, превышения ПДК будут фиксироваться только в центральной части палеодолины в районе скв. 185 и 190. Незначительное превышение ПДК также будет фиксироваться в районе скв. 53005.

5.4. Выбор оптимального сценария водоотбора и схемы расположения скважин

На основании полученных результатов при прогоне дополнительных сценариев можно выделить ряд закономерностей, основываясь на которые, станет возможным найти оптимальный сценарий водоотбора для существующих условий.

Во-первых, равномерное увеличение или уменьшение водоотбора не дает определенно положительных результатов, из чего следует, что действительного уменьшения концентрации хлоридов подземных вод извлекаемых определенными скважинами можно достичь лишь индивидуальным изменением дебита на конкретной скважине. Во-вторых, полностью исключить превышения ПДК на некоторых скважинах не получится. К примеру, скв. 185 – увеличение величины водоотбора на ней приводит к логичному увеличению концентрации, за счет перемещения сформировавшегося ореола загрязнения в районе ликвидированной 187 скв. Уменьшение же дебита скважины 185, показывает возможность расширения ореола [125], вследствие чего, в поле превышения концентрации ПДК будут попадать ближайшие скважины.

В-третьих, значительное уменьшение дебита скважин каптирующих окско-вологодские отложения, может отрицательно сказаться на качестве подземных вод верхнемелового водоносного горизонта, особенно в районе отсутствия отложений средне-нижнепалогенового водоупорного горизонта. Это объясняется тем, что значительная величина водоотбора в пределах палеодолины, по сравнению с водоотбором из верхнемеловых отложений сдерживает распространение интрузии в нижележащий водоносный горизонт.

В-четвертых, скважины расположенные в районе насыпной территории морского порта подвержены внедрению некондиционных вод не только в горизонтальном направлении, но и в вертикальном. По результатам дополнительных сценариев прогноза, для того, чтобы не допустить превышение нормативных значений концентрации хлоридов и величины минерализации, дебит каждой из них не должен превышать $100\text{--}200\text{ м}^3/\text{сут.}$

Следует также отметить ряд предпосылок, на основании которых будет подбираться оптимальная схема расположения скважин и величина водоотбора:

1) С целью снижения затрат на бурение новых скважин, перераспределение нагрузок будет произведено между существующими скважинами г. Балтийска, проектными скважинами участка «Восточная Грива» и скважинами, состояние которых по результатам эколого-гидрогеологического обследования 2014-2015 гг. [124] было признано хорошим или удовлетворительным.

2) Ввиду того, что увеличение величины водоотбора ожидаемо, приведет к увеличению концентрации хлоридов в подземных водах, оптимальный сценарий будет подбираться с учетом обеспечения требований по качеству воды на 25-летний период, при

котором превышение ПДК будут фиксироваться только у поднятой воды из скв. № 185, расположенной в районе сформировавшегося за 60 летний период бесконтрольного режима эксплуатации ореола интрузии.

Расчет оптимального сценария водоотбора выполнялся в нестационарной постановке на 25 лет. С учетом того, что схема водоотбора принята постоянной, расчет выполнен для одного стресс-периода. Максимальное количество отбираемой воды, эксплуатационными скважинами, при котором удалось минимизировать влияние морской интрузии на качество подземных вод, составило 11671,1 м³/сут.

Анализ водного баланса на конец 25-ти летнего срока эксплуатации показал увеличение привлекаемых ресурсов со стороны заливов на 4945,6 м³/сут. Перехват естественного потока увеличился на 6538,2 м³/сут. Вклад емкостных запасов составил 187,9 м³/сут (табл. 5.15).

Общий баланс модели (оптимальный сценарий)

Таблица 5.15.

Источник	Нарушенный режим		Естественный режим		Величина изменения питания	Величина изменения разгрузки
	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)	Поступило в модель (м³/сут)	Вышло из модели (м³/сут)		
	Водный баланс всей модели					
Емкостные запасы	187,9	0,0	0,0	0,0	187,9	
Инфильтрация	7541,8	0,0	7541,8	0,0		
Северная граница	289,3	1,3	289,3	1,3		
Заливы	4945,6	1291,4	0,0	7829,6	4945,6	6538,2
Скважины	0,0	11671,7	0,0	0,0		
Итого:	12964,7	12964,5	7831,1	7830,9	11671,7	

В таблице 5.16 приведены фактические и прогнозные концентрации хлоридов и величины минерализации по эксплуатационным скважинам г. Балтийска. На рисунках 5.16 и 5.17 представлены результаты прогноза.

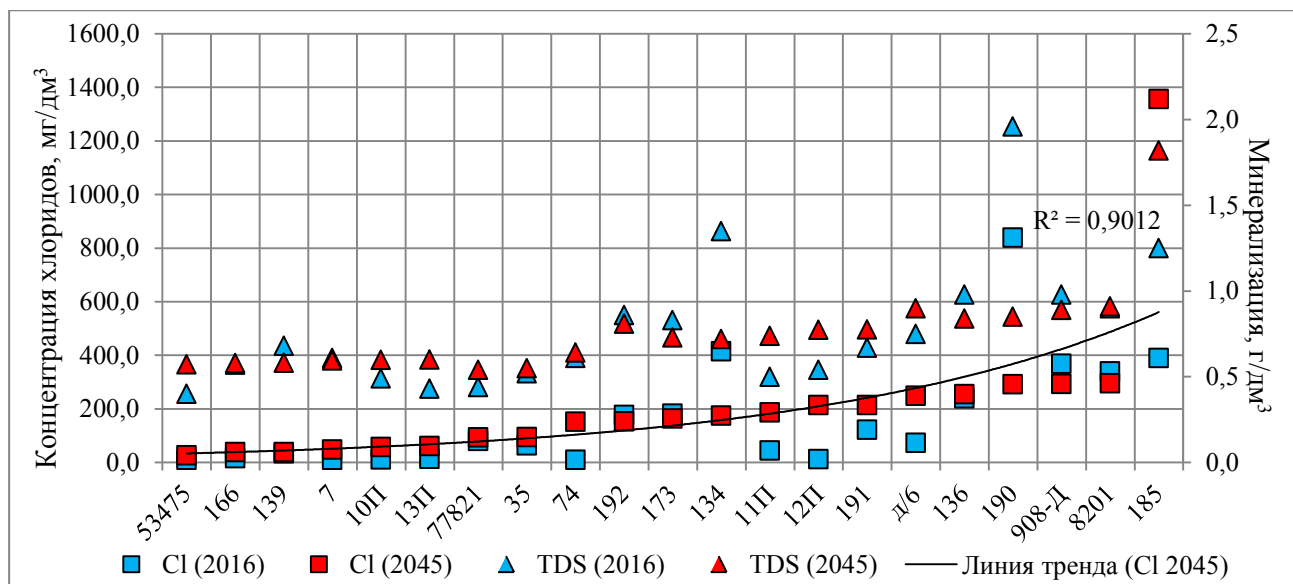


Рисунок 5.16. График сопоставления текущих концентраций хлоридов и величины минерализации с прогнозными (оптимальный сценарий)

Сводная таблица фактических и прогнозных данных
по эксплуатационным скважинам г. Балтийска (оптимальный сценарий)

Таблица 5.16.

Водопользователь	№ скв.	ВГ	Дебит скв., м³/сут		Концентрация хлоридов, мг/дм³		Величина минерализации, г/дм³	
			2016	2045	2016	2045	2016	2045
МУП «Балтвода»	35	K ₂	362,4	362,4	64,0	94,7	0,52	0,55
	д/6	f, lgIok-IIvl	845,6	350,0	74,0	249,1	0,75	0,90
	139	f, lgIok-IIvl	955,8	350,0	34,5	39,4	0,68	0,58
	185	f, lgIok-IIvl	905,2	1000,0	390,0	1356,7	1,25	1,82
	190	f, lgIok-IIvl	528,6	528,6	840,0	292,7	1,96	0,85
	134	f, lgIok-IIvl	1233,3	450,0	415,0	175,5	1,35	0,72
	136	f, lgIok-IIvl	718,7	718,7	240,0	255,1	0,98	0,84
	173	f, lgIok-IIvl	730,2	200,0	182,5	164,8	0,83	0,73
	191	K ₂	301,8	301,8	122,5	214,7	0,67	0,78
	192	f, lgIok-IIvl	507,2	507,2	177,5	154,1	0,86	0,81
	74	P _{2al}	705,8	1300,0	10,8	152,4	0,61	0,64
	166	P _{2al}	0,0	1100,0	15,8	148,4	0,57	0,63
	7	P _{2al}	0,0	1200,0	10,0	38,7	0,61	0,58
	10П	P _{2al}	0,0	800,0	12,0	58,4	0,49	0,60
	11П	P _{2al}	0,0	250,0	45,3	187,4	0,50	0,74
	12П	P _{2al}	0,0	200,0	12,8	214,6	0,54	0,78
	13П	P _{2al}	0,0	800,0	14,5	61,3	0,43	0,60

Водопользователь	№ скв.	ВГ	Дебит скв., м ³ /сут		Концентрация хлоридов, мг/дм ³		Величина минерализации, г/дм ³	
МИС Балтийского флота	8201	P_{2al}	81,7*	81,7	340,1	295,4	0,90	0,91
	8206	P_{2al}	81,7*	81,7	н.с.	26,4	н.с.	0,51
	8207	P_{2al}	81,7*	81,7	н.с.	26,4	н.с.	0,51
	8208	P_{2al}	81,7*	81,7	н.с.	26,4	н.с.	0,51
	8209	P_{2al}	81,7*	81,7	н.с.	26,4	н.с.	0,51
	8210	$f.lgIIVl-ms$	40,3*	40,3	н.с.	303,38	н.с.	0,87
	8211	$f.lgIIVl-ms$	40,3*	40,3	н.с.	303,38	н.с.	0,87
Военный госпиталь	53475	P_{2al}	480,0	300,0	10,0	27,0	0,40	0,57
АО «Судоремонтный завод №33»	53005	P_{2al}	552,9*	100,0	н.с.	300,9	н.с.	0,91
	909-Д	P_{2al}	552,9*	200,0	н.с.	285,5	н.с.	0,87
	908-Д	P_{2al}	552,9*	100,0	369,3	293,2	0,98	0,89
АО «Балтийский хлеб»	77821	K_2	64,0	64,0	81,2	94,3	0,44	0,54
Суммарный водоотбор:			<u>10486,5</u>	<u>11671,7</u>				

*Ввиду отсутствия информации о распределении водоотбора по скважинам, величина лицензионного водоотбора пропорционально разделена на количество скважин, указанных в лицензии

На конец 25-летнего периода эксплуатации при оптимальном сценарии водоотбора, следует ожидать значительной деградации морской интрузии в центральной части палеодолины. Основной ореол загрязнения (>2000 мг/дм³) отступит к побережью Гданьского залива на 420 м, а ее ширина сократится на 200 м.

Максимальный суммарный дебит эксплуатационных скважин составит порядка 11 670 м³/сут, при этом самые большие нагрузки будут перераспределены между скважинами 166, 74 и 7. При таком режиме эксплуатации, превышения ПДК хлоридов будет фиксироваться только в районе скважины 185.

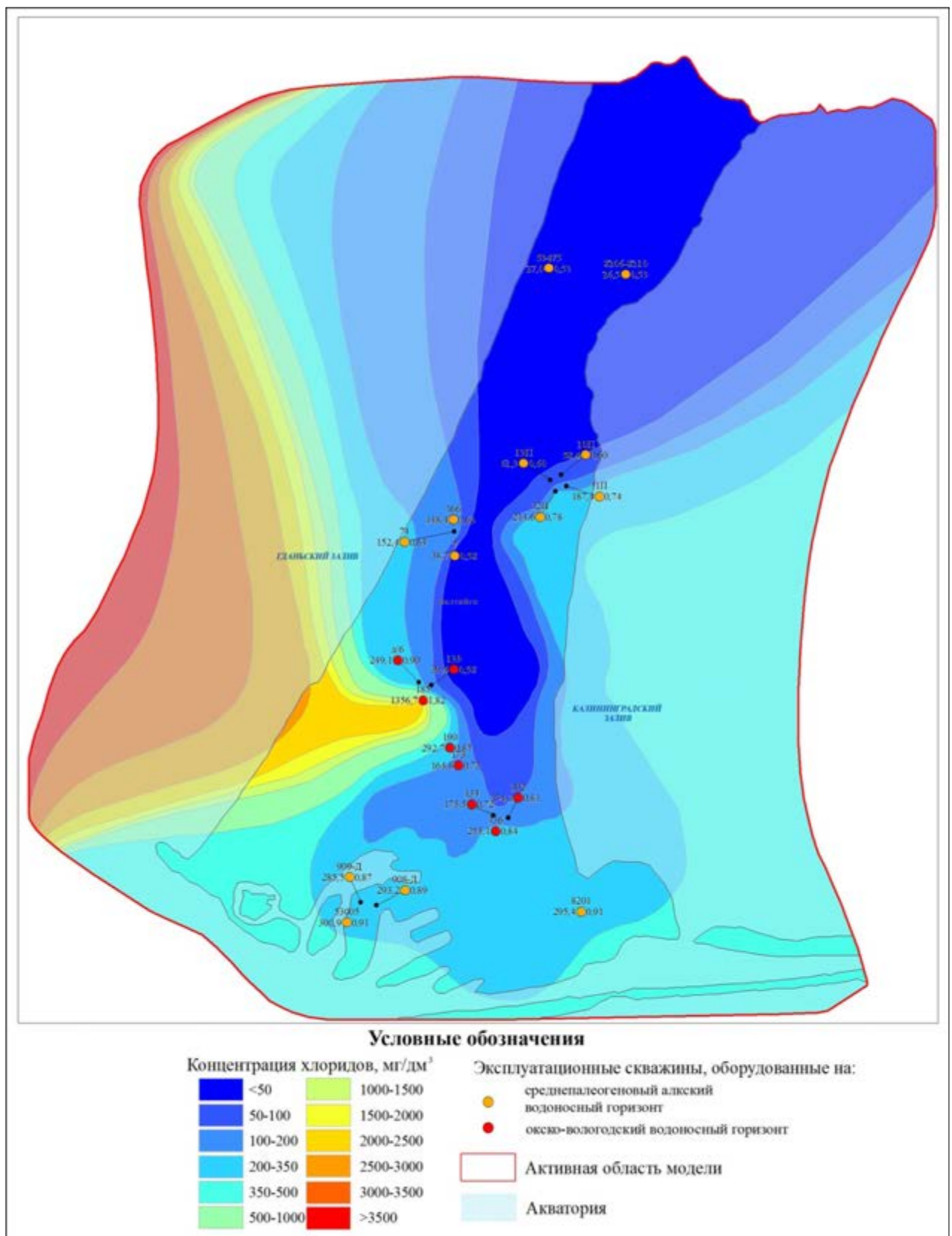


Рисунок 5.17. Распространение хлоридов в окско-вологодском и среднепалеогеновом алеском водоносных горизонтах на конец 9125 сут (оптимальный сценарий)

5.5. Выводы к главе 5

По результатам решения серии численных экспериментов, направленных на поиск оптимального сценария водоотбора подземных вод с целью обоснования их рационального использования и охраны от загрязнения, можно сделать следующие выводы:

1) установлено, что действительного уменьшения концентрации хлоридов подземных вод извлекаемых определенными скважинами можно достичь лишь индивидуальным изменением дебита каждой из них;

2) ввиду устоявшегося загрязнения в центральной части палеодолины за период более полувековой бесконтрольной эксплуатации, полностью исключить превышения ПДК хлоридов и величины минерализации в подземных водах, извлекаемых скважиной № 185, не представляется возможным. Воды, добываемые этой скважиной перед подачей в сеть, следует разбавлять, согласно существующему регламенту водоочистки [124];

3) суммарная величина водоотбора из всех водоносных горизонтов в пределах Балтийской косы не должна превышать $11670 \text{ м}^3/\text{сут}$, при этом водоотбор из скважин, расположенных на территории Судоремонтного завода не должен превышать $400,0 \text{ м}^3/\text{сут}$, а количество извлекаемых запасов из окско-вологодского водоносного горизонта не должно быть менее $3900,0 \text{ м}^3/\text{сут}$.

На основе сделанных выводов сформулировано **третье защищаемое положение:**

В условиях, когда водопотребность населения превышает величину естественных ресурсов территории, разработанная математическая модель Балтийской косы позволяет определить оптимальный сценарий водоотбора из эксплуатационных скважин, при котором достигается минимизация влияния интрузии морских вод на качество подземных вод целевых водоносных горизонтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалифицированной работой, в которой на основании проведенного изучения условий формирования подземных вод Балтийской косы, обосновано решение проблемы организации устойчивого водоснабжения качественными водами хозяйственно-питьевого назначения г. Балтийска.

Основные результаты выполненного исследования заключаются в следующем:

1. На основании систематизация, анализа и обобщения полевых, фондовых и опубликованных материалов получено полное представление о природной гидрогеологической модели Балтийской косы и создан ее математический аналог.

2. Изучение закономерностей формирования подземных вод Балтийской косы позволило установить, что эксплуатационные запасы пресных вод питьевого назначения ограничены. В условиях нарушенного режима наблюдается сложная корреляционная зависимость между показателями водоотбора в каждой конкретной скважине, величиной содержания в ней химических некондиционных показателей (хлоридов и минерализация) и уровнями подземных вод во временном разрезе.

3. Доказано, что основной причиной ухудшения качества пресных подземных вод водоносных горизонтов Балтийской косы является внедрение (интрузия) морских солоноватых вод Балтийского моря начавшаяся из-за неконтролируемого водоотбора в центральной части палеодолины и к югу от нее. Роль других факторов, таких как естественная гидрохимическая зональность и техногенное загрязнение, незначительна.

4. Результаты модельных решений направленные на обоснование параметрической базы модели и воспроизведения существующей гидродинамической обстановки свидетельствуют о функциональном соответствии модели и достоверности ее расчетных гидрогеологических параметров. В результате решения обратных задач охарактеризованы балансовые составляющие системы гидравлически связанных водоносных горизонтов и комплексов, условия их питания и разгрузки.

5. На основании сравнения результатов интерпретации ОФР аналитическими и численными методами, установлено, что использование метода математического моделирования для обоснования параметрической базы численной модели сложного природного объекта позволяет повысить достоверность получаемых геофильтрационных параметров.

6. По результатам решения серии численных экспериментов, направленных на поиск оптимального сценария водоотбора подземных вод с целью обоснования их рационального использования и охраны от загрязнения, установлено, что действительного уменьшения концентрации хлоридов подземных вод извлекаемых определенными

скважинами можно достичь лишь индивидуальным изменением дебита каждой из них, при этом водоотбор из скважин, расположенных на южной окраине территории не должен превышать $400,0 \text{ м}^3/\text{сут}$, а количество извлекаемых запасов в пределах палеодолины не должно быть менее $3900,0 \text{ м}^3/\text{сут}$. Суммарное же количество отбираемой воды в пределах Балтийской косы не должно превышать $11670 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Перспективы дальнейших исследований.

Рациональное управление эксплуатационными запасами подземных вод в сложных гидрогеологических и гидрохимических условиях возможно только путем создания специальной экспертной системы, в которой решающим элементом должна быть постоянно действующая модель (ПДМ) дополненная подсистемой принятия решений, основанной на принципах обеспечения устойчивого водопользования.

Соответственно, наиболее перспективным направлением дальнейшего исследования является работа над созданием постоянно действующей математической модели изучаемого природного объекта.

Ввиду повсеместной проблемы водоснабжения на территории запада Калининградской области, в 2017 г. автором настоящего исследования была подана заявка с предложением о включении в перечень объектов выполняемых за счет средств федерального бюджета РФ перспективного объекта под наименованием: «Создание постоянно действующей гидрогеологической модели западной части Калининградской области с целью обеспечения управления недропользованием в сложных гидрохимических и гидродинамических условиях». Согласно приказу Федерального агентства по недропользованию № 491 от 16.11.2017 «Об утверждении Пообъектного плана геологоразведочных работ на углеводородное сырье и подземные воды за счет средств федерального бюджета на период 2018-2020 годов» объект включен в план работ на 2019 г.

Создание ПДМ рассматриваемого района обеспечит оптимальное управление режимом эксплуатации водозаборов не только в пределах Балтийской косы, но и на всей западной части Калининградской области, создаст возможность регулирования нагрузки на водоносные горизонты и расчета вариантов принимаемых хозяйственно-экономических мероприятий по изменению существующей схемы и объемов водоотбора, а также прогнозирование последствий от принимаемых решений. Выполненная в рамках настоящего исследования работа будет являться в итоге основой для постоянно действующей модели, а собранный обширный материал по данному району обеспечит ее надежность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балтакис В.И. Стратиграфия и литостратиграфическая корреляция палеогеновых отложений Самбии / В.И. Балтакис // Палеонтология и стратиграфия Прибалтики и Белоруссии. – Вильнюс. – 1970. – С. 325-340.
2. Басс О.В. Техногенные воздействия в береговой зоне моря в Калининградской области. / О.В. Басс // Физическая география океана и океаническое природопользование на пороге XXI века. – Калининград. – изд. КГУ и КО РГО. – 2000. – С. 64-71.
3. Блажчижин А.И. Геоэкология Вислинской лагуны / А.И. Блажчижин // Проблемы физической и экономической географии Калининградского региона. – Калининград. – 1995. – С. 38-46.
4. Блажчижин А.И. Древнебереговые уровни и образования Балтийского моря в районе побережья Калининградской области и смежных территорий / А.И. Блажчижин // Корреляция над- и подводных отложений и форм рельефа Южной и Средней Балтики. – Таллинн. – 1981. – С. 18-24.
5. Болдырев В.Л. Формирование, развитие и современная динамика Калининградского побережья Балтийского моря. / В.Л. Болдырев // Изучение основных закономерностей и тенденций перемещения береговой линии Балтийского моря за последние 100 лет. – Таллинн. – 1992. – С. 27-33.
6. Боровский Б.В. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек / Б.В. Боровский, Б.Г. Самсонов, Л.С. Язвин. – М. : Недра, 1979. – 304 с.
7. Бочеввер Ф.М. Защита подземных вод от загрязнения / Ф.М. Бочеввер, Н.Н. Лапшин, Ф.Е. Орадовская. – М. : Недра, 1979. – 254 с.
8. Васильев А.Н. Взаимодействие речных и морских вод в Обской губе. / А.Н. Васильев // Тр. ААНИИ. – 1976. – С. 183-196.
9. Веригин Н.Н. Об определении границы раздела двух несмешивающихся жидкостей в пористой среде / Н.Н. Веригин, В.С. Саркисян, Л.В. Шибанов // Изв. АН СССР. – 1973. – № 6. – С. 155-163.
10. Вонсавичюс В.П. Строение четвертичных отложений юго-западной Прибалтики / В.П. Вонсавичюс // Вопросы геологии и палеографии четвертичного периода Литвы. Труды ЛитНИГРИ. – Вильнюс. – Вып. 5. – 1967. – С. 85-120.
11. Гавич И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии / И.К. Гавич. – М. : Недра, 1980. – 358 с.
12. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. III – Балтийское море. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности / Ф.С. Терзиев. – ГМИ, 1994. – 435 с.

13. ГН 2.1.5.1315-2003 Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. - М.: Стандартинформ, 2003. – 94 с.
14. Голубев В.С. Гетерогенные процессы геохимической миграции / В.С. Голубев, А.А. Гарибьянц. – М. : Недра, 1968. – 192 с.
15. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды / В.М. Гольдберг. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. – 248 с.
16. Гольдберг В.М. Гидрогеологические прогнозы качества подземных вод на водозаборах / В.М. Гольдберг. – М. : Недра, 1976. – 152 с.
17. Гольдберг В.М. Интрузия морских вод в горизонты пресных подземных вод / В.М. Гольдберг // Гидрогеологические исследования за рубежом. – Москва. – 1982. С. 74-88
18. Гольдберг В.М. Гидрогеологические прогнозы движения загрязненных подземных вод / В.М. Гольдберг. – М. : Недра, 1973. – 170 с.
19. Гольдберг В.М. Гидрогеологические основы подземных вод от загрязнения / В.М. Гольдберг, С. Газда. – М. : Недра, 1984. – 262 с.
20. Гончарова О.В. Методика обоснования геофильтрационных параметров в напорных пластах в речных долинах по моделированию паводкового режима (на примере водозаборов г. Твери) / О.В. Гончарова // Разведка и охрана недр. – 2012. – № 11. – С. 73-75.
21. ГОСТ Р 51592-2000 Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартинформ, 2010. – 9 с.
22. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист N-(34) – Калининград. Объяснительная записка. – СПб. : Картфабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 226 с.
23. Грегораускас М.М. Гидрохимические аспекты исследования разгрузки пресных подземных вод в Балтийском море / М.М. Грегораускас, Р.В. Мокрик, К.К. Иокшас // Водные ресурсы. – 1986. – № 4. – С. 13-22.
24. Грегораускас М.М. К вопросу моделирования интрузии морских вод в водоносные горизонты / М.М. Грегораускас, Р.В. Мокрик, С.А. Меерис // Водные ресурсы. – 1987. – № 4. – С. 21-30.
25. Григялис А.А. Стратиграфия палеогеновых отложений Прибалтики / А.А. Григялис, А.А. Каплан // Материалы по стратиграфии Прибалтики. – Вильнюс. – 1976. – С. 101-108.
26. Духанина В.И. Некоторые закономерности формирования зоны пресных подземных вод территории Европейской части СССР. / В.И. Духанина // Вопр. гидрогеол. и инж. геол. Госгеолтехиздат. – 1962. – С. 4-12.

27. Емельянов Е.М. Экологическая и геохимическая обстановки в восточной Балтике / Е.М. Емельянов, А.И. Блажчишин, О.И. Кобленц-Мишке, В.А. Кравцов, В.Л. Стрюк, Г.С. Харин // Проблемы изучения и охраны природы Куршской косы. ГП КГТ. – Калининград. – 1998. – С. 148-185.
28. Загородных В.А. Стратиграфия Калининградского региона / В.А. Загородных, А.В. Довбня, В.А. Жамойда. – Калининград, 2001. – 226 с.
29. Загородных В.А. Стратиграфическое расчленение отложений плейстоцена Калининградской области. / В.А. Загородных, В.В. Мохов // Главнейшие итоги в изучении четвертичного периода и основные направления исследований в XXI веке. Тезисы докладов Всероссийского совещания. – СПб. – 1998. – С. 26-27.
30. Зекцер И.С. Гидрогеологическое районирование Северо-Запада Европейской части СССР по условиям подземного стока в реки / И.С. Зекцер // Тезисы докл. Научн. Конф. По проблемам внутренних вод Карелии и Прибалтики и их хозяйственного использования. – Петрозаводск. – 1962. – С. 54-60.
31. Зекцер И.С. Естественные ресурсы пресных подземных вод Прибалтийского артезианского бассейна / И.С. Зекцер // ТР АН Лит ССР, серия Б. I (36). – 1964. – С. 201-206.
32. Зекцер И.С. Роль артезианских вод в питании крупных рек на примере среднего и нижнего течения р. Неман / И.С. Зекцер // Метеорология и гидрогеология. – 1963. – С. 42-46.
33. Зекцер И.С. Современное состояние проблемы исследований взаимодействия подземных и морских вод / И.С. Зекцер // Водные ресурсы. – 1983. – №6. – С. 57-68.
34. Зекцер И.С. Гидрогеологические условия подземного стока в реки Северо-Запада Европейской части СССР / И.С. Зекцер // Сборник работ по гидрологии. Л. : Гидрометеиздат, 1963. – № 3. – С. 73-84.
35. Зекцер И.С., Джамалов Р.Г., Месхетели А.В. Подземный водообмен суши и моря / И.С. Зекцер, Р.Г. Джамалов, А.В. Месхетели. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 207 с.
36. Израэль Ю.А. Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка изменений состояния окружающей природной среды. Основы мониторинга / Ю.А. Израэль // Метеорология и гидрология. – 1974. – №7. – С. 6-13.
37. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана / Ю.А. Израэль, А.В. Цыбань. – Л. : ГМИ, 1989. – 528 с.
38. Иодказис В.И. Закономерности формирования эксплуатационных ресурсов пресных подземных вод Прибалтийского артезианского бассейна и принципы их рационального освоения: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 04.00.06 / Иодказис Витаутас Ионович. – Вильнюс, 1980. – 399 с.

39. Иодказис В.И. Гидрогеология субмаринной части Прибалтийского артезианского бассейна. Осадкообразование в Балтийском море / В.И. Иодказис, Р.В. Мокрик. – М. : Недра, 1981. – С. 35-44.
40. Иодказис В.И., Мокрик Р.В. Методические аспекты гидрогеологических исследований акватории Балтийского моря / В.И. Иодказис, Р.В. Мокрик // Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов: Материалы I Всесоюз. гидрогеол. конф. - М. : Наука, 1982. – Т. 1. – С. 336-337
41. Иппен А.Т. Гидродинамика береговой зоны и эстуариев / А.Т. Иппен. – Л. : Гидрометеорологическое издательство, 1970. – 394 с.
42. Каменский Г.Н., Толстихина М.И., Толстихин Н.И. Гидрогеология СССР / Г.Н.Каменский, М.И. Толстихина, Н.И. Толстихин. – Госгеолтехиздат, 1959. – 366 с.
43. Катинас В. Янтарь и янтареносные отложения Южной Прибалтики / В. Катинас. – Вильнюс, 1971. – 156 с.
44. Кириков В.П. Идеи А.П. Карпинского и основные представления о геологическом строении и развитии Русской платформы / В.П. Кириков, Б.В. Петров, К.Э. Якобсон // Региональная геология и металлогения. – №7. – 1997. – С. 13-28.
45. Классификация запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод: утв. Приказом Министерства природных ресурсов РФ от 30 июля 2007 г. – № 195. – 2007. – 9 с.
46. Кондратас А.Р. Гидрогеология СССР. Т. XLV: Калининградская область / А.Р. Кондратас. – М. : Недра, 1970. – 97 с.
47. Коносавский П.К. Особенности численного моделирования фильтрации потоков переменной плотности / П.К. Коносавский, В.Г. Румынин, Л.Н. Синдаловский // В сб. докл. Конференции Современные проблемы гидрогеологии и гидромеханики. – СПб. – 2002. – С. 533-549.
48. Котлов С.Н. Использование имитационного моделирования для планирования и интерпретации опытно-фильтрационных работ при разведке месторождений твердых полезных ископаемых / С.Н. Котлов, К.Е. Володченко // Записки Горного института. – 2011. – Т. 189. – С. 38-41.
49. Куваев А.А. Геофильтрационные модели потоков подземных вод переменной минерализации: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.07 / Куваев Андрей Алексеевич. – Москва, 2002. – 322 с.
50. Куваев А.А. Численная модель плотностной конвекции в фильтрационном потоке / А.А. Куваев // Водные ресурсы. – 1995. – № 4. – С. 460-465.

51. Куваев А.А. Оценка разгрузки подземных вод с использованием гидрогеотермических данных / А.А. Куваев, В.М. Шестаков // Водные ресурсы. – 1989. – №6. – С. 5-16.
52. Минкин Е.Л. Взаимосвязь подземных и поверхностных вод и ее значение при решении некоторых гидрогеологических и водохозяйственных задач / Е.Л. Минкин. – М. : Стройиздат, 1973. – 103 с.
53. Мироненко В.А. Опыт-миграционные работы на месторождениях питьевых вод / В.А. Мироненко, В.Г. Румынин, Б.В. Боровский, Г.Е. Ершов. – М. : ГИДЭК, 1998. – 93 с.
54. Мироненко В.А. Проблемы гидрогеоэкологии. Монография в 3-х томах. Том 1. Теоретическое изучение и моделирование геомиграционных процессов / В.А. Мироненко, В.Г. Румынин. – М. : Издательство МГУ, 1999. – 611 с.
55. Мироненко В.А. Проблемы гидрогеоэкологии. Монография в 3-х томах. Том 3 (книга 1). Прикладные исследования / В.А. Мироненко, В.Г. Румынин. – М. : Издательство МГУ, 1999. – 312 с.
56. Михайлов В.Н. Гидрологические закономерности проникновения морских вод в реки. / В.Н. Михайлов // Гидрофизические процессы в реках, водохранилищах и окраинных морях. – М. : Наука, – 1989. – С. 97-115.
57. Норватов Ю.А. Повышение информативности опытных откачек, проводимых при инженерных изысканиях, при помощи численного моделирования / Ю.А. Норватов // Инженерные изыскания. – 2015. – № 5-6. – С. 24-29.
58. Овчинников А.М. Общая гидрогеология / А.М. Овчинников. – М. : Недра, 1948. – 383 с.
59. Пиядаса Ранджана Удайя Кумара. Особенности формирования запасов подземных вод при эксплуатации прибрежных водозаборов в северо-западном районе Шри-Ланки: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 04.00.06 / Пиядаса Ранджана Удайя Кумара. – Москва, 2000. – 172 с.
60. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод / П.Я. Полубаринова-Кочина. – М. : Наука, 1977. – 664 с.
61. Рябкова О.И. Природопользование и задачи берегозащиты на Калининградском морском побережье. / О.И. Рябкова // Физическая география океана и океаническое природопользование на пороге XXI века. – Калининград, КГУ и КО РГО. – 2000, – С. 49-64.
62. СанПиН 2.1.4.1074-01. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». – М. : Стандартинформ, 2001. – 84 с.
63. СанПиН 2.6.1.2523-2009 Нормы радиационной безопасности. – М. : Стандартинформ, 2009. – 72 с.

64. Семенчук А.В. Изучение закономерности формирования подземных вод юго-западной части Калининградского полуострова в условиях их эксплуатации водозаборами подземных вод / А.В. Семенчук // материалы XV Всероссийской научной конференции с международным участием Вузская наука – региону. Мин-во обр. и науки РФ. – Вологда, ВоГУ. – 2017. – С. 317-319.
65. Семенчук А.В. Изучение условий формирования эксплуатационных запасов подземных вод юго-западной части Калининградского полуострова / А.В. Семенчук // материалы V международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского. – СПб, ВСЕГЕИ. – 2017. – С. 911-914.
66. Семенчук А.В. Интерпретация результатов опытно-фильтрационных работ с применением метода математического моделирования для обоснования параметрической базы численной геофильтрационной модели / А.В. Семенчук // Региональная геология и металлогения. – 2017. – Т. 1. – № 71. – С. 75–83.
67. Семенчук А.В. Оценка условий защищенности подземных вод Северо-Петербургской площади Карельского перешейка / А.В. Семенчук // Сб. XVI Сергеевские чтения. РУДН. – Москва. – 2014. – С. 477-483.
68. Семенчук А.В. Применение метода математического моделирования для интерпретации результатов опытно-фильтрационных работ (на примере Новобалтийского месторождения подземных вод) / А.В. Семенчук // Сборник научных трудов. II Международная научно-методическая конференция. – СПб, Санкт-Петербургский горный университет. – 2017. – С. 179-185.
69. Семенчук А.В. Условия формирования эксплуатационных запасов подземных вод юго-западной части Калининградского полуострова / А.В. Семенчук // Региональная геология и металлогения. – 2017. – № 69. – С. 61–68.
70. Синдаловский Л.Н. ANSDIMAT - программный комплекс для определения параметров водоносных пластов / Л.Н. Синдаловский. – СПб. : Наука, 2011. – 335 с.
71. Синдаловский Л.Н. Справочник аналитических решений для интерпретации опытно-фильтрационных опробований / Л.Н. Синдаловский. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2006. – 769 с.
72. Стародубцев В.С. Моделирование процессов геофильтрации и геомиграции: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 05.13.18 / Стародубцев Виктор Сергеевич. – Воронеж, 2002. – 322 с.
73. Тарвидас Р.И. Динамика неоплейстоценового ледника на территории Литвы и Калининградской области / Р.И. Тарвидас // Вопросы геологии и палеографии четвертичного периода Литвы. – ЛитНИГРИ. – вып. 5. – 1967. – С. 161-179.

74. Тшосиньская А. Гидрологический и гидрохимический режим / А. Тшосиньская, Б. Цыберская, В. Кшиминьский // Процессы осадконакопления в Гданьском бассейне (Балтийское море). – М. : ИОАН СССР. – 1987, – С. 30-57.
75. Фрид Ж. Загрязнение подземных вод / Ж. Фрид. – М. : Недра, 1981. – 304 с.
76. Фролов А.П. Моделирование загрязнения пресноводных горизонтов морскими водами в прибрежных районах / А.П. Фролов, В.П. Подсечин // Математические проблемы экологии. – Чита. : Экоиресс. – 1990. – С. 42-43.
77. Фролов А.П. Проникновение соленой воды в пресноводные прибрежные горизонты / А.П. Фролов, М.Г. Хубларян // Водные ресурсы. – 1986. – № 2. – С. 58-62.
78. Фролов А.П. Взаимодействие пресных подземных вод суши с морскими водами на побережье Балтийского моря / А.П. Фролов, И.О. Юшманов // Водные ресурсы. – 1998. – Т. 25. – № 1. – С. 5-8.
79. Халафян А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных: учебник. 3-е изд. / А.А. Халафян. – М. : Бином-Пресс, 2008. – 512 с.
80. Хубларян М.Г. Моделирование процессов интрузии в эстуариях и подземных водоносных горизонтах / М.Г. Хубларян, А.П. Фролов. – М. : Наука, 1988. – 144 с.
81. Хубларян М.Г. Интрузия морских вод в неоднородных пластах / М.Г. Хубларян, А.П. Фролов, И.О. Юшманов // Водные ресурсы. – 1996. – Т. 23. – № 3. – С. 288-292.
82. Хубларян М.Г. Интрузия морских вод в прибрежные водоносные горизонты / М.Г. Хубларян, А.П. Фролов, И.О. Юшманов // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35. – № 3. – С. 288-301.
83. Хубларян М.Г. Исследование гидродинамической задачи фильтрации и конвективной диффузии в неоднородных и анизотропных пористых средах / М.Г. Хубларян, О.М. Чурмаев, И.О. Юшманов // Водные ресурсы. – 1984. – № 3. – С. 23-29.
84. Хубларян М.Г. Исследование задач интрузии соленых вод приближенными методами / М.Г. Хубларян, А.П. Фролов // Труды V Всесоюзного гидрологического съезда. – Л. : Гидрометеиздат. – 1990. – Т. 9. – С. 196-201.
85. Хубларян М.Г. Моделирование субмариной разгрузки и интрузии морских вод в шельфовых областях / М.Г. Хубларян, А.П. Фролов, И.О. Юшманов // Труды конгресса Инженерная геология шельфа и континентального склона морей и океанов мира. – Тбилиси. : МАГИ. – 1988. – С. 148-149.
86. Atkinson S.F. Seawater intrusion / S.F. Atkinson, G.D. Miller, D.S. Curry, S.B. Lee. – 1986. – 408 p.

87. Badon-Ghyben W. Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam (Notes on the probable results of well drilling near Amsterdam) / W. Badon-Ghyben // Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs. – Hague. – 1888. – P. 8-22.
88. Banks H.O., Richter R.C., Harder J. Sea water intrusion in California / H.O. Banks, R.C. Richter, J. Harder // Water Works Assoc. – 1957. – V. 49. – № 1. – P. 71-88.
89. Bear J. Hydraulics of groundwater / J. Bear. – N.Y. : McGraw-Hill, 1979. – 567 p.
90. Brown R.H. Salt water encroachment in limestone at Silver Bluff Miami, Florida / R.H. Brown, G.G. Parker // Econ. Geol. – 1945. – V. 40. – № 4. – P. 235-262.
91. Burnett W.C. Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods / W.C. Burnett // Science of the Total Environment. – 2006. – P. 498-543.
92. Das F. Optimization based solution of density dependent seawater intrusion in coastal aquifers / F. Das, B. Datta // – Eng. ASCE. – 2000. – V. 5. – P. 82-89.
93. Frind E.O. Simulation of long-term transient density-dependent transport in groundwater / E.O. Frind // Adv. Water Res. – 1982. – V. 5. – № 2. – P. 73-88.
94. Gao Xueping. Research on the groundwater contamination caused by using seawater as landscape water in channel coastal / Gao Xueping, Tu Xiangyang, Yu Lili // Transactions of the CSAE. – 2006. – V. 22. – № 2. – P. 132-137.
95. Custodio E. Groundwater problems in coastal areas / E. Custodio. – Paris. : UNESCO, 1987. – 596 p.
96. Harbaugh, A.W. Programmer's documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model / A.W. Harbaugh, M.G. McDonald // USGS Open-File Report. – 1996. P. 96-486.
97. Henry H.R. Salt water intrusion into coastal aquifers / H.R. Henry // Int. Assoc. Sci. Hydrol. Publ. – 1960. – V. 52. – P. 478-487.
98. Herzberg A. Die Wasserversorgung einiger Nordsee Baden / A. Herzberg // Verw. Beleuchtungsdaten Wasserversorg. – 1901. – B. 44. – № 6. – P. 815-819.
99. Kohout F.A. Flow pattern of fresh water and salt water in the Biscayne aquifer of the Miami area, Florida / F.A. Kohout // Int. Assoc. Sci. Hydrol. Publ. – 1960. – V. 52. – P. 440-448.
100. Krieger P.A. Preliminary survey of the saline-water resources of the United States / P.A. Krieger, J.L. Hatchett, J.F. Poole // Water Supply Paper. – 1957. – № 1374. – P. 172-184.
101. Kruseman G.P. Analysis and evolution of pumping test data / G.P. Kruseman, N.A. Ridder. Wageningen, 1994. – 200 p.
102. Lusczynski N.J. Fresh and salty groundwater in Long Island, New York / N.J. Lusczynski, W.V. Swarzenski // Div. Proc. ASCE. – 1962. – V. 88. – № 4. – P. 173-194.

103. Lynn W. Critical Review of data on Field-Scale Dispersion in Aquifers / W. Lynn A. Gelhar // *Water Resources Research*. – Vol. 28. – N. 7. – P. 1955-1974.
104. Meinardi C.R. Fresh and brackish groundwater under coastal areas and islands / C.R. Meinardi // *Geojournal*. – 1983. – V. 7. – № 5. – P. 413-425.
105. Mercer J.W. Simulation of salt water interface motion / J.W. Mercer, S.P. Larson, C.R. Faust // *Ground Water*. – 1980. – V. 18. – № 4. – P. 374-385.
106. Pinder G.F. A numerical technique for calculating the transient position of the saltwater front / G.F. Pinder, H.H. Cooper // *Water Resour. Res.* – 1970. – V. 6. – № 3. – P. 875-882.
107. Reilly T.E., Goodman A.S. Quantitative analysis of saltwater-freshwater relationship in groundwater systems a hysterical perspective / T.E. Reilly, A.S. Goodman // *J. of Hydrology*. – 1985. – V. 80. – №1-2. – P. 125-160.
108. Schmorak S. Upcoming of fresh water- sea water interface below pumping wells, field study / S. Schmorak, A. Mercado // *Water Resour. Res.* – 1969. – V. 5. – № 6. – P. 1240-1311.
109. Segol G. A Galerkin finite element technique for calculating the transient position of the saltwater front / G. Segol, G.F. Pinder, W.G. Gray // *Water Resour. Res.* – 1975. – V. 11. – № 2. – P. 343-347.
110. Shamir U. Motion of the seawater interface in coastal aquifers: numerical solution / U. Shamir, G. Dagan // *Water Resour. Res.* – 1971. – V. 7. – № 3. – P. 644-657.
111. Tamai N. Saltwater wedge in unconfined coastal aquifers / N. Tamai. S. Shima // *Transaction of Japan Soc. Civil Eng.* – 1967. – V. 139. – № 50. – P. 31-38.
112. Todd O.K. Groundwater flow in the Netherlands coastal dunes / O.K. Todd, L. Huisman // *J. of Hydraul. Div. Proc. ASCE*. – 1959. – V. 85. – № 7. – P. 63-81.
113. Volker R.E. An assessment of the importance of some parameters for seawater intrusion in aquifers and a comparison of dispersive and sharp interface modeling approaches / R.E. Volker, K.R. Rushton // *J. of Hydrol.* 1982. – V. 56. – P. 293-250.
114. Xue Y. Sea water intrusion in the coastal area hai3han Bay - China (Monitoring). / Y. Xue, J. Wu, P. Hie, J. Wang, Q. Hiang, H. Shi // *Groundwater*. – 1993, – V. 31, – № 5. – P.740-745.
115. Zheng C. MT3DMS, A modular three-dimensional multispecies transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. Documentation and user's guide / C. Zheng, P. Wang. Departments of Geology and Mathematics, University of Alabama. – 1998. – 221 p.

ФОНДОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

116. Бокин В.П. Заключение по вопросам использования подземных вод для водоснабжения г. Балтийска / В.П. Бокин. – ФБУ ТФГИ по Калининградской области – 1956. – 75 с.

117. Загородных В.А. Информационный отчет о результатах производства геологического, гидрогеологического доизучения, геолого-экологических исследований и картографирования территории Калининградской области м-ба 1:200 000, картосоставительских работ масштаба 1:200 000 на акватории Южной Прибалтики (в пределах экономической зоны России, прилегающей к Калининградской области) и подготовка к изданию комплекта Госгеолкарты-200 (новая серия) листов N-34-II, VIII, XI, XIV-XVI (частично) за 1993-2002 г. / В.А. Загородных, А.В. Довбня, В.А. Жамойда. – ФГУП ВСЕГЕИ. – 2002. – 108 с.
118. Иодказис В.И. Региональная оценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод Прибалтийского артезианского бассейна / В.И. Иодказис. – ФБУ ТФГИ по Калининградской области – 1977. – 200 с.
119. Казанов Ю.В. Отчет о геолого-гидрогеологической съемке листов N-34-VIII, IX, в масштабе 1:200000 за период 1961-66 гг / Ю.В. Казанов. – ФБУ ТФГИ по Калининградской области – 1967. – 178 с.
120. Карпов И.В. Отчет о результатах выполненных геологоразведочных работ на водозаборе г. Балтийска за период 2001-2004 гг. / И.В. Карпов. – ФБУ ТФГИ по Калининградской области – 2005. – 54 с.
121. Кирпичева И.В. Отчет по результатам предварительной разведки подземных вод для водоснабжения г. Пионерска. / И.В. Кирпичева. – ФБУ ТФГИ по Калининградской области – 1974. – 170 с.
122. Переверзева С.А. Отчет о результатах работ по объекту Геологическое изучение (поиски и оценка) подземных вод для водоснабжения Балтийской атомной электростанции / С.А. Переверзева. – ФБУ ТФГИ по СЗФО. – 2012. – 310 с.
123. Семенчук А.В. Отчет о результатах работ по объекту Создание постоянно действующей гидрогеологической модели вендского водоносного комплекса в пределах Карельского перешейка на территориях г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области с целью обеспечения управления недропользованием / А.В. Семенчук. – ФБУ ТФГИ по СЗФО. – 2017. – 329 с.
124. Семенчук А.В. Отчет о результатах работ по объекту Поисково-оценочные работы на подземные воды для обеспечения хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Балтийска Калининградской области / А.В. Семенчук, А.А. Семенчук. – АО Северо-Западное ПГО. – 2016. – 169 с.
125. Семенчук А.В. Отчет о выполнении Научно-исследовательской работы по проведению эколого-геохимических исследований в зоне влияния деятельности ООО ПГ Фосфорит / А.В. Семенчук. – АО Северо-Западное ПГО. – 2015. – 161 с.

126. Тиунов В.Ю. Отчет о результатах детальной разведки пресных подземных вод для водоснабжения г. Балтийска / В.Ю. Тиунов, Л.Ф. Труфанова, В.В. Антонов. – АО Северо-Западное ПГО. – 1991. – 210 с.
127. Труфанова Л.Ф. Отчет о результатах предварительной разведки подземных вод для водоснабжения г. Балтийска в 1982-1984 гг. / Л.Ф. Труфанова. – АО Северо-Западное ПГО. – 1984. – 260 с.
128. Чудинов Н.И. Отчет о гидрогеологических изысканиях, проведенных в районе г. Балтийска в 1964-66 гг / Н.И. Чудинов. – ФБУ ТФГИ по Калининградской области. – 1966. – 87 с.
129. Шебеста Е.А. Отчет о результатах оценки состояния месторождений подземных вод для питьевого водоснабжения населения и обеспечения водой объектов промышленности с целью приведения их запасов в соответствие с действующим законодательством и нормативными правовыми документами на территории Ленинградской, Новгородской, Псковской, Калининградской областей и г. Санкт-Петербурга / Е.А. Шебеста. – АО Северо-Западное ПГО. – 2012. – 4146 с.