



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

Высшего образования

«Российский государственный геологоразведочный университет

имени Серго Орджоникидзе»

(МГРИ)

На правах рукописи

Секерина Ирина Николаевна

**МОНИТОРИНГ БОРЖОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
УГЛЕКИСЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД КАК ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ
ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ**

Специальность 1.6.6 – гидрогеология

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
д-р. геол.-минерал. наук,
профессор Боровский Б.В.

Москва – 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ УГЛЕКИСЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД И БОРЖОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	7
1.1. Общее состояние вопроса и основные проблемы изученности углекислых минеральных вод	7
1.2. Анализ выполненных исследований на Боржомском месторождении углекислых вод	13
1.2.1. Геологоразведочные и оценочные работы	13
1.2.2. Основные гипотезы формирования Боржомской углекислой минеральной воды	21
2. ПРИРОДНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД БОРЖОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕЁ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННУЮ МОДЕЛЬ ПОД ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ	23
2.1. Характеристика геолого-гидрогеологических условий	23
2.2. Газохимическая характеристика	40
2.3. Природная модель формирования минеральных вод Боржомского месторождения и её трансформация в природно-техногенную модель под влиянием эксплуатации	43
3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА БОРЖОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЕКИСЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД	49
3.1. Методика комплексного мониторинга	49
3.2. Анализ результатов эксплуатации месторождения с 1927 по 2015 гг.	64
3.2.1. Центральный участок	64
3.2.2. Вашловани-Квибисский участок	74
3.2.3. Ликанский участок	79
3.3. Анализ результатов эксплуатации месторождения с 2015 по 2019 гг.	86
3.3.1. Центральный участок	87
3.3.2. Вашловани-Квибисский участок	101
3.3.3. Ликанский участок	106
3.4. Влияние землетрясений на режим минеральных вод	109
4. ПРОГНОЗНАЯ ФУНКЦИЯ МОНИТОРИНГА БОРЖОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ	115
4.1. Прогнозирование прямым гидравлическим методом	117
4.1.1. Центральный участок	118
4.1.2. Ликанский участок	118
4.1.3. Вашловани-Квибисский участок	119
4.2. Прогнозирование методом численного моделирования	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	137
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	138

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Боржомская углекислая минеральная вода в связи с её высокой бальнеологической ценностью является одним из крупнейших естественных богатств Грузии. История эксплуатации месторождения ведёт своё начало с 1894 года. Максимальные дебиты скважин наблюдались непосредственно в процессе их бурения и освоения, после чего расход снижался, это происходило в основном в начальные периоды эксплуатации скважин. Исторически сложившееся условие сохранения самоизлива на устье эксплуатационных скважин привело к постепенному снижению суммарного водоотбора. В соответствии с этим утвержденные запасы месторождения с 1963 по 1982 гг. были сокращены в 3 раза. В настоящее время розлив минеральной воды осуществляется компанией "IDS BORGOMI BEVERAGES CO.N.V". В последнее пятилетие в связи с расширением мощностей розлива естественным образом возросла и потребность в добыче минеральных вод. Постоянный поиск оптимальной схемы эксплуатации при изменяющейся во времени перспективной потребности в условиях необходимости сохранения качества воды в пределах установленных кондиций и лимитированности ресурсов месторождения минеральных вод показали важность управления эксплуатацией. Информационное обеспечение управления эксплуатацией наиболее эффективно может осуществляться на основе комплексного мониторинга и периодической переоценке запасов месторождения.

Цель и задачи исследований

Цель данной работы состоит обосновании системы комплексного мониторинга минеральных вод Боржомского месторождения для разработки рациональной схемы его эксплуатации и корректировки её во времени.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) проанализирован опыт эксплуатации с 20-х годов прошлого века;
- 2) проанализированы условия формирования углекислых минеральных вод Боржомского месторождения и обоснована его природно-техногенная модель;
- 3) разработана и реализована на практике современная система мониторинга Боржомского месторождения, включающая в себя: подсистему проведения наблюдений и их документации, подсистему обработки данных и прогнозирования;
- 4) введена практика корректировки эксплуатационных нагрузок на скважинах на основе информационно-управляющей системы мониторинга и результатов переоценки запасов.

Объект и методика исследований. Объектом исследований является Боржомское месторождение углекислых минеральных вод. Методика исследований включала в себя проведение специальных гидрогеологических исследований, создание информационно-аналитической системы, включающей в себя картографическую и фактографическую базы данных, изучение опыта эксплуатации месторождения, обоснование и разработку математической модели месторождения для решения на ней обратных и прогнозных гидродинамических задач с целью переоценки запасов и управления эксплуатацией.

Научная новизна

1. Выполнен специальный комплекс гидрогеологических исследований для обоснования необходимости оборудования самоизливающихся скважин глубинными датчиками с установкой их ниже зоны разделения фаз для определения истинного пластового уровня подземных вод.

2. Впервые для исключительно сложных геолого-гидрогеологических условий Боржомского месторождения разработана гидродинамическая математическая модель. Модель использовалась при переоценке запасов на основе данных многолетней эксплуатации. На модели впервые были оценены составляющие баланса водоотбора на текущий и прогнозный периоды.

3. Впервые в состав комплексного мониторинга Боржомского месторождения включено ведение постоянно действующей модели и выполнение на её основе корректировки прогнозов, схемы и регламента эксплуатации при переоценке запасов.

На защиту выносятся следующие защищаемые положения:

- 1. В исключительно сложных геолого-гидрогеологических условиях Боржомского месторождения углекислых минеральных вод необходимый набор информации для обоснования системы управления его эксплуатацией и переоценки запасов не может базироваться только на отдельных этапах геологоразведочных работ. Достоверная информация должна быть получена в результате анализа результатов мониторинга за весь ретроспективный период, дополненная комплексом специальных гидрогеологических исследований, включающих усовершенствованный и расширенный состав наблюдений.*
- 2. Впервые природно-техногенная модель Боржомского месторождения, отражающая основные закономерности формирования углекислых минеральных вод, была реализована в виде геофильтрационной численной математической модели. Это позволило изучить основные режимообразующие факторы и дать количественную оценку составляющим баланса водоотбора на текущий и*

прогнозный периоды. Для повышения достоверности прогнозов традиционный гидравлический метод подсчёта запасов дополнен методом математического моделирования.

3. *В дополнение к сложившейся практике, в состав комплексного мониторинга Боржомского месторождения углекислых минеральных вод должны быть включены блоки прогнозирования, корректировки регламента эксплуатации и переоценки запасов. Постоянное пополнение данными комплексного мониторинга компьютерной базы данных и математической модели есть основные инструменты управления эксплуатацией.*

Практическая значимость. Практическая реализация усовершенствованной системы мониторинга Боржомского месторождения позволила получить информацию, обосновывающую прирост запасов в 2018, 2019 и 2020 гг. Результаты работ прошли Государственную межведомственную комиссию по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) при Министерстве экономики и устойчивого развития Республики Грузия (протоколы ГКЗ № 66 от 09.08.2018 г., № 75 от 29.10.2019 г. и № 82 от 11.08.2020 г.). Прирост запасов составил 374 м³/сут, что в 1.6 раза больше, чем количество оцененных запасов на начало работ в 2015 г.

Апробация работы и публикации. Положения работы изложены в 3 изданиях рекомендованных ВАК. Результаты исследований и основные положения диссертационной работы были доложены в ГКЗ Республики Грузия в 2018, 2019 и 2020 гг., на НТС АО «ГИДЭК», на конференциях «Новые идеи в науках о Земле» (МГРИ, Москва, 2019 и 2020 гг.), на XV общероссийской научно-практической конференции и выставке «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» (Москва, 2019 г.).

Личный вклад. Автор диссертационной работы принимал участие в составлении, отвечающим современным требованиям, гидрогеологической карты и геолого-гидрогеологических разрезов Боржомского месторождения. В проведении полевых исследований. В разработке современной структуры системы комплексного мониторинга месторождения и реализации её на практике. Создании и регулярном пополнении фактографической базы данных месторождения, построении графиков режимных наблюдений за ретроспективный и современный периоды эксплуатации, а также в выполнении на их основе всестороннего анализа режима эксплуатации месторождения. При непосредственном участии автора была разработана и откалибрована математическая модель Боржомского месторождения, выполняется её постоянное уточнение и прогнозные

расчеты. Автор принимал участие в переоценке запасов и написании отчётов по переоценке запасов месторождения в 2018, 2019 и 2020 г.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырёх глав и заключения, изложенных на 148 страницах, содержит 35 рисунков, 16 таблиц. Список использованной литературы включает 111 наименований.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю д-р. геол. - минерал. наук., профессору Боровскому Б.В. за ценные советы при написании диссертации. Автор признательна Олиферовой О.А., Ершову Г.Е., Абрамову В.Ю., Модиной Т.С. и другим сотрудникам АО «ГИДЭК». За помощь в проведении полевых исследований и режимных наблюдений автор благодарна Ракунову А.Б., грузинским коллегам из "IDS BORGOMI GEORGIA" и "Borjomiminwater". Автор признательна коллективу кафедры гидрогеологии им. В.М. Швеца МГРИ за содействие, рекомендации и замечания. Автор выражает огромную благодарность своей семье за терпение и поддержку на протяжении всего времени написания диссертационной работы.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ УГЛЕКИСЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД И БОРЖОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

1.1. *Общее состояние вопроса и основные проблемы изученности углекислых минеральных вод*

Минеральными водами по определению, данному *Овчинниковым А.М.* в 1963 году, называются подземные природные воды, которые оказывают благотворное бальнеологическое действие на организм человека из-за содержания в них отдельных терапевтически активных компонентов, особенностей химического, газового состава и температуры [49]. На практике, это воды с повышенным содержанием солей (1 г/л и больше) или повышенным содержанием специфических компонентов, а также растворенных газов (ГОСТ Р 54316-2011). В соответствии с современными нормами к углекислым водам относятся подземные воды, содержащие не менее 500 мг/л растворенной двуокиси углерода [38].

Существует несколько классификаций минеральных вод. Среди них наиболее известны классификации *Овчинникова А.М.* (1963), *Иванова В.В. и Невраева Г.А.* (1964).

Классификация Овчинникова А.М. подразделяет все минеральные воды по условиям формирования в различных геохимических обстановках - окислительной, восстановительной и метаморфической. Именно к третьей группе относятся углекислые воды, которые в соответствии с общим химическим составом подразделяются на пять типов: 1) углекислые холодные с невысокой минерализацией гидрокарбонатно-кальциевые воды, иногда с повышенным содержанием натрия, магния, сульфатов (Кисловодский нарзан, Дарасун, Вильдунген (Германия)), 2) углекислые горячие и термальные воды, по составу хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-кальциевые (иногда натриевые) с общей минерализацией 3-7 г/л (Железноводск, Джермук, Пятигорск, Карловы Вары), 3) углекислые холодные, тёплые и горячие гидрокарбонатно-натриевые (содовые) воды с меньшим количеством свободной углекислоты, чем воды первого типа, и минерализацией 5-10 г/л (Боржоми, Виши), 4) углекислые холодные и тёплые гидрокарбонатно-хлоридно-натриевые воды (Ессентуки, Эмс (Германия), Шатель-Гюйон (Франция)), 5) углекислые хлоридно-натриевые (солёные) воды, наиболее минерализованные из углекислых вод (до 30 г/л) (Арзни (Армения), окраины Рейнских сланцевых гор Германии (Крейцнах, Мюнстер, Наугейм)) [49].

Исходя из реально существующих в природе типов вод, *Иванов В.В. и Невраев Г.А.* предложили классификационную таблицу, в которой каждому типу отведено строго определённое место. Все природные (подземные) воды были разделены по составу,

свойствам и лечебному значению на семь основных бальнеологических групп: 1) лечебные без "специфических" компонентов и свойств, 2) углекислые, 3) сероводородные (сульфидные), 4) железистые, мышьяковистые (As) и с высоким содержанием Mn, Cu, Al и др., 5) бромистые (Br), йодистые (I) и высоким содержанием органических веществ, 6) радоновые, 7) кремнистые термы. В данной классификации лечебное значение углекислых вод определяется, прежде всего, наличием больших количеств растворённого углекислого газа, который в общем газовом составе этих вод занимает доминирующее положение (80-100%), а также ионным составом и величиной минерализации [28].

Месторождения углекислых вод обычно приурочены к трещинным зонам разломов в областях альпийской складчатости или к проявлениям новейшего вулканизма [38, 41, 42]. Для таких областей характерны высокие скорости разнонаправленных вертикальных движений и развитие зон тектонического дробления, при этом складываются особые гидрогеологические условия, способствующие глубокому проникновению атмосферных осадков и облегчающие поступление в верхние горизонты глубинных флюидов, обогащенных CO_2 [41, 42]. Проявления этого типа минеральных вод в мире установлены во многих районах Турции, Ирана, Индонезии, Афганистана, Монголии, КНДР, Армении, Польши, Болгарии, Франции, Чехии, Германии, Италии и др. В пределах бывшей территории СССР выделяют следующие главные области распространения углекислых минеральных вод: Карпатскую, Кавказскую, Памирскую, Тянь-Шаньскую, Саянскую, Забайкальскую, Приморскую, Сахалинскую, Камчатскую, Чукотскую. Основными гидрогеологическими структурами, содержащими углекислые воды в Кавказской провинции, являются бассейны трещинно-жильных вод в осадочных и вулканогенно-осадочных породах (структуры Кавказских минеральных вод (КМВ), Большого и Малого Кавказа) [38].

Формирование месторождений углекислых минеральных вод - весьма сложный процесс, определяющийся многими факторами, часто накладывающимися друг на друга. Изучением проблемы формирования и генезиса углекислых вод, их распространения в различных геолого-гидрогеологических обстановках занимались в разное время такие выдающиеся ученые как *Боревский Л.В.* [7, 14, 71], *Буачидзе И.М.* [16], *Вартанян Г.С.* [8, 17, 18], *Врублевский М.И.* [21], *Иванов В.В.* [28], *Кириухин В.А.* [31], *Невзраев Г.А.* [28], *Обручев С.В.*, *Овчинников А.М.* [49], *Огильви А.Н.*, *Островский А.Б.*, *Пантелеев И.Я.* [51], *Погорельский Н.С.* [54], *Посохов Е.В.* [56], *Толстихин Н.И.* [56], *Харатишвили Л.А.*, *Чихелидзе С.С.* [68], *Чичуа Т.Е.*, *Шагоянц С.А.*, *Яроцкий Л.А.* [73] и др. Однако, до сих пор

спорными остаются вопросы, связанные с установлением источников компонентов в углекислых водах (микроэлементов, газов, углекислоты) и происходящих процессах.

Традиционно считалось, что углекислота имеет мантийное происхождение и образуется при остывании магматического очага (*Зюсс Э., Иванов В.В., Овчинников А.М.*). Однако, в последнее десятилетие *Лаврушиным В.Ю.* высказано спорное мнение о том, что по мере затухания вулканической активности доля продуктов дегазации расплавов довольно быстро снижается, происходит сработка ее запасов, накопленных в водоносных горизонтах [41, 42]. Вне связи с магматическими очагами, а вследствие регионального термометаморфизма в подвижных горноскладчатых регионах рассматривает генезис углекислоты *Вартанян Г.С.* [17, 18]. Кроме того, существует биохимическая гипотеза формирования углекислого газа при разложении органического вещества и углеродсодержащих соединений. Методом термодинамического моделирования показана возможность образования углекислых растворов в алюмосиликатах в результате физико-химических взаимодействий внутри системы «вода-порода» без привлечения внешних источников углекислоты [50]. Ученые, развивающие механизмы глобальной тектоники, поддерживают идею о мантийном источнике эндогенных флюидов, в том числе углекислоты [67, 65, 1]. Многочисленные современные исследования углекислых вод давно доказали, что подавляющая масса углекислых вод - это инфильтрационные воды, проникающие по разломам на большие глубины, где они проходят стадию термометаморфизма [1, 4, 2, 3, 64]. Такое разнообразие во взглядах исследователей позволяет считать, что углекислый газ представляет собой полигенетический продукт разнообразных природных реакций. Существование такого разнообразия гипотез заставляет ученых снова и снова возвращаться к рассмотрению генезиса углекислых минеральных вод [69].

Анализируя распространение углекислых минеральных вод *Вартанян Г.С.* [17] приходит к выводу о том, что главным процессом, формирующим восходящие потоки углекислого газа на больших площадях территорий угасшего вулканизма, является региональный термальный метаморфизм, сопровождающийся химическими реакциями, формирующими комплексы метаморфических пород. В упрощенном виде формирование большинства месторождений и проявлений углекислых минеральных вод можно представить следующим образом: поступающая из глубоких горизонтов земной коры метаморфогенная углекислота насыщает различные по генезису, составу и температуре подземные воды, усиливая при этом их агрессивность к карбонатным и силикатным породам. В результате формируется разнообразная гамма углекислых вод, химический состав которых зависит от состава исходной воды, состава водовмещающих горных

пород, степени насыщения воды углекислым газом. При этом как формирование крупных скоплений углекислых вод, так и появление очагов их разгрузки всегда контролируется тектоникой. Разнообразие связей месторождений углекислых минеральных вод с тектоникой отражено в типизации месторождений углекислых минеральных вод горноскладчатых областей. Одним из девяти типов Вартанян Г.С. [17] выделяет зоны сочленения трещинно-жильных и пластовых водонапорных систем. К этому типу относится Боржомское месторождение. Также исследователем [18] была предложена типизация месторождений минеральных вод, основанная на учёте структурно-гидродинамических факторов и главных механизмов их формирования. В том числе выделены месторождения гидроинжекционного типа в артезианских бассейнах и склонах. Они связаны с зонами разгрузки глубинных флюидов в горизонты пластовых напорных вод и характеризуются крайне сложными гидродинамическими и гидрохимическими условиями, которые зависят от соотношения параметров двух систем: пластовой и трещинно-жильной, связанной с водопроводящими разломами, а чаще всего - с зоной пересечения разнонаправленных разломов. Инжекционным механизмом формирования обусловлена основная особенность рассматриваемого типа месторождений - минеральные воды всегда образуют гидродинамический (а также газогидрохимический и геотемпературный) купол в пластовой системе. Характерные примеры месторождений этого типа - Нагутское, Боржомское [18].

Исследования, посвященные газоводяным флюидам и их роли в формировании химического состава подземных вод, в разное время осуществлялись: *Островским А.Б.*, *Боревским Л.В.*, *Всеволожским В.А.*, *Киреевой Т.А.* [22], *Матусевичем В.М.* [46]. В последние десятилетия идея о мантийном источнике эндогенных флюидов в углекислых водах рассмотрена в работах *Хаустова В.В.* [65] и *Абрамова В.Ю.* [1, 3, 9].

Хаустов В.В. [65] предложил понятие ювенильного водного флюида (ЮВФ) (взамен «ювенильных вод» Зюсса Э.), генетически связанного с глубинными геодинамическими процессами. ЮВФ представляет собой первичную воду, зарождение которой осуществляется в верхнемантийных, а возможно и более глубоких очагах плавления, которая мигрирует в сторону поверхности Земли вместе с сопутствующими летучими компонентами, в первую очередь газами. Ювенильные воды в момент своего "зарождения" опреснены. В дальнейшем формирование химического состава ювенильных вод происходит за счет процессов растворения мантийногенных газов и взаимодействия с вмещающими породами (углекислотное растворение алюмосиликатов).

Абрамов В.Ю. [1, 3, 9] сформулировал основные принципы формирования химического состава углекислых минеральных вод находящихся в сверхкритическом

состоянии, которое происходит благодаря потоку из магматических очагов по разломам к поверхности Земли сверхкритических флюидов H_2O , CO_2 , H_2S , H_3As , HCl , CH_4 и их гомологов. Выше критических параметров индивидуальных флюидов газов и при переходе через критические точки образуется водный раствор, взаимодействующий с вмещающими горными породами, приводя к образованию компонентного состава минеральных углекислых вод.

В последнее годы был написан ряд кандидатских и докторских работ по углекислым минеральным водам отдельных регионов: *Харитоновой Н.А.* [64] - по северо-востоку Азии, *Лепокуровой О.Е.* [45] - по Кузбассу, *Шестаковой А.В.* [69] - по Тыве, *Гусевой Н.В.* [27] - по горно-складчатым областям центральной Евразии, *Бондаревой Г.Л.* [6] - по Пятигорскому месторождению, а также вышел ряд монографий: *Кулакова В.В.* [39] - по Приамурью, *Церцвадзе Н.В.* [66] - по Грузии.

Углекислые воды изучают по всему миру. Среди зарубежных исследователей отметим *Chiodini G.* [74], *Kharaka Y.K.* [77] и др., проводящих свои исследования в области геохимии углекислых вод и занимающихся моделированием влияния CO_2 в гидродинамической системе. Многочисленные зарубежные исследования углекислых термальных и холодных подземных вод доказали присутствие мантийных летучих веществ в некоторых углеродных источниках Италии, США и др., установили влияние глубинного флюида, что способствует повышению минерализации вод, поступлению микроэлементов в высоких концентрациях, CO_2 , $^{87}Sr/^{86}Sr$ и мантийного гелия (*Chiodini G.* [74], *Crossey L.J.* [75], *Gardner W.P.* [76], *Phillips F.M.* [78], *Williams A.J.* [79]).

Контроль за состоянием месторождений минеральных вод в процессе их эксплуатации и принятие управляющих решений осуществляется за счёт ведения комплексного мониторинга. Понятие "мониторинг" вошло в научную литературу сравнительно недавно - в начале 1970-х гг. Согласно *Герасимову И.П.* [26], "мониторинг - система наблюдения, контроля и управления состоянием окружающей среды, осуществляемая в различных масштабах, от глобального до локального".

Система наблюдений для целей регионального изучения и прогноза режима подземных вод организована в СССР с 30-х годов прошлого столетия. Научные основы принципов организации и содержания режимных наблюдений изложены в работах *Каменского Г.Н.*, *Биндемана Н.Н.*, *Вевиоровской М.А.*, *Альтовского М.Е.* (1938) [30], *Коноплянцева А.А.*, *Семенова С.М.*, *Ковалевского В.С.* (1963) [34], *Киселева П.А.* (1975) [32], *Лебедева А.В.* (1989) [44] и др. Определение понятия «режим подземных вод» дается *Каменским Г.Н.* [30] как «поведение подземных вод во времени под влиянием геологических и климатических факторов». Изначально наблюдения за режимом

подземных вод рассматривались как «метод решения конкретных практических задач, большинство которых могут быть сформулированы как задачи прогноза режима». Одновременно назначение метода режимных наблюдений в естественных условиях состояло в «накоплении материалов многолетних наблюдений о режиме подземных вод и установлении закономерностей регионального значения». Вопросы изучения естественного и естественно-техногенного режима минеральных и промышленных вод в разные годы в своих работах рассматривали *Вартамян Г.С.* (1977, 1990) [15, 16], *Ефремочкин Н.В.*, *Плотникова Р.И.* (1986, 1989) [8, 71]. Особенности ведения режимных наблюдений на различных месторождениях минеральных вод, рекомендации по оформлению годовых обобщающих отчетов, а также вопросы технического обслуживания гидроминерального хозяйства и горно-санитарной охраны курортов были обобщены в методических рекомендациях Центрального совета по управлению курортами профсоюзов (*Валединский В.И.*, *Стойнов Т.Ф.*, под редакцией *Иванова В.В.*, 1980) [81].

Определение **комплексного мониторинга месторождений подземных вод** было сформулировано *Боревским Б.В.*, *Язвиным Л.С.*, *Закутиным В.П.* (1998) [82], как система наблюдений и сбора информации, оценки и прогнозирования пространственно-временных изменений состояния месторождения под воздействием антропогенных и природных факторов. Главное отличие предложенной системы наблюдений (мониторинга) за естественно-техногенным режимом от наблюдений за естественно-природными явлениями заключается в необходимости получения информации о нарушенном в процессе водоотбора режиме для управления эксплуатацией. Структура и содержание мониторинга базируются на современных подходах к постановке системы наблюдений, теории обработки, представления, хранения информации, построения моделей природно-технических объектов, их калибровки и получения прогнозных решений. Однако, в настоящее время отсутствуют методические рекомендации по комплексному мониторингу месторождений минеральных вод. В настоящей работе детально рассмотрена комплексная система мониторинга Боржомского месторождения, и полученные основные рекомендации могут быть использованы для мониторинга других крупных месторождений углекислых минеральных вод.

Материалы многолетнего комплексного мониторинга месторождений углекислых минеральных вод служат информационным обеспечением оценок (переоценок) их запасов. Методика и основные принципы оценок эксплуатационных запасов термальных и минеральных вод были изложены в работах *Вартамяна Г.С.*, *Яроцкого Л.А.* [20], *Гольдберга В.М.*, *Язвина Л.С.* [80]. Долгое время все подсчеты запасов на месторождениях углекислых минеральных вод базировались на различных вариациях гидравлического

метода. Это не позволяло производить оценку обеспеченности подсчитанных запасов различными источниками их формирования. В последнее десятилетие *Боревским Б.В., Ершовым Г.Е., Абрамовым В.Ю.* [11] предложена и внедрена в практику, на примере наиболее крупных месторождений Северного Кавказа (Ессентукского, Нагутского, Кисловодского), методика оценки запасов углекислых минеральных вод на основе гипотезы их формирования с использованием комбинирования гидравлического метода и метода математического моделирования. Оба метода имеют ряд недостатков и ограничений, которые могут быть сведены к минимуму при их одновременном применении. Гидравлический метод даёт оценку стабильности или изменчивости фактических показателей – уровней, дебита, содержания газа и качества минеральных вод в конкретной точке при достигнутом дебите для имеющейся конструкции и технического состояния скважины. Математическое моделирование позволяет оценивать, анализировать и прогнозировать масштабы влияния эксплуатации скважины на изменение гидрогеологических условий на территории месторождения и на другие скважины. Особенно важным результатом использования моделирования является оценка балансовых составляющих формирования запасов минеральных вод.

Выполнение прогнозов методом математического моделирования для подсчёта запасов месторождений углекислых минеральных вод применяется *ЗАО «ГИДЭК»* с начала 2000-х годов. Под руководством *Боревского Л.В. Плугиной Т.А.* была разработана региональная модель Кавминводского артезианского бассейна, а *Ершовым Г.Е. и Сычёвой Л.Б.* на врезках к ней локальные модели Железноводской группы и Кисловодского месторождения. В результате впервые был оценён ресурсный потенциал минеральных вод района КМВ и отдельных крупных месторождений, а также оценены балансовые составляющие (*Тимохин В.Г., Алибекова С.В., Боревский Л.В., 2006*) [101].

1.2. Анализ выполненных исследований на Боржомском месторождении углекислых вод

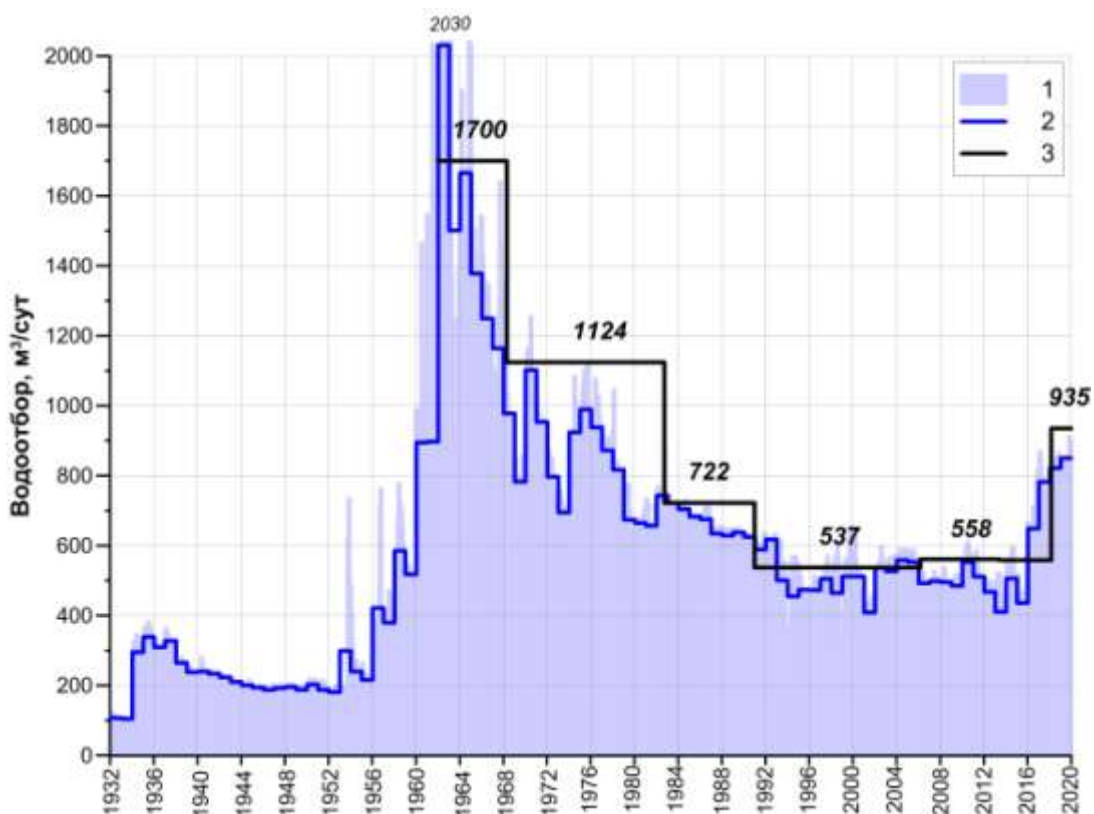
1.2.1. Геологоразведочные и оценочные работы

Боржомское месторождение углекислых минеральных вод является одним из наиболее ярких представителей этого типа. История эксплуатации месторождения ведёт своё начало с 1894 года, когда в долине р. Боржомула (Центральный участок) были закаптивированы два первых минеральных источника "Екатерининский" и "Евгеньевский" с суммарным дебитом до 90 м³/сут. Помимо указанных источников в русле р. Куры и ее притоков Боржомула и Гуджаретис наблюдались фиксируемые визуально очаги разгрузки

минеральных вод.

Изучением месторождения в разное время занимались *Алтаев В.Р., Буачидзе И.М., Вартанян Г.С., Гаглов Г.М., Джигаури Д.Г., Корошинадзе Т.О., Лазарашвили Т.Х., Мелива А.М., Огильви А.Н., Овчинников А.М., Плотникова Р.И., Хараташвили Л.А., Церцвадзе Н.В., Чихелидзе С.С., Чичуа Т.Е., Чхаидзе Д.В.* Разведочные работы на месторождении были начаты лишь в 1927 г. Первые скважины были пробурены в 1929 г. Во второй половине 1950-х годов были разведаны и введены в эксплуатацию ещё два участка Боржомского месторождения: Ликанский и Вашловани-Квибисский. Хронология проведения основных геологоразведочных и оценочных работ, а также динамика изменения запасов Боржомского месторождения приведены в табл. 1.1 и на рис. 1.1.

В результате детальной разведки Центрального участка (1927-1935 гг.) [99] к двум ранее известным источникам прибавились шесть скважин, пробуренных в осевой полосе Боржомской антиклинали в долинах рек Боржомула, Гуджаретис и Куры. К 1935 г. суммарный дебит минеральной воды был увеличен с 90 до 340 м³/сут., а общие ресурсы Центрального участка были оценены *Овчинниковым А.М.* по данным о величине субаквальной разгрузки в объеме 500 м³/сутки [63].



1 – суммарный среднемесячный водоотбор, 2 – суммарный среднегодовой водоотбор, 3 – величина утвержденных эксплуатационных запасов (по категориям А+В+С₁+С₂)

Рис. 1.1. Соотношение суммарного водоотбора и динамики изменения запасов Боржомского месторождения

Таблица 1.1

Геологоразведочные и оценочные работы Боржомского месторождения

Временной интервал. Организация. Виды работ.	ЭЗПВ, в том числе по категориям, м ³ /сут (до 1962 г. величина достигнутого суммарного водоотбора, м ³ /сут)
1927-1935 гг. Главное курортное управление Минздрава ГС (<i>Огильви А.Н., Овчинников А.М.</i>). Детальная разведка Центрального участка.	340 (1935 г.)
1936-1953 гг. Институт Курортологии Грузии (<i>Чихелидзе С.С., Мелива А.М.</i>). Буровые работы на Центральном и Ликанском участках, изучение режима минеральных вод.	185 (1953 г.)
1954-1964 гг. Геологическое управление при СМ ГССР, Грузгеолкаптажминвод (<i>Гаглов Г.М., Джигаури Д.Г.</i>). Разведка месторождения с подсчётом запасов. Открыт третий участок месторождения – Вашловани-Квибисский.	1700 (1962 г.), А – 374, В+С ₂ - 1326
1965-1968 гг. Геологическое управление ГССР (<i>Буачидзе И.М., Лазарашвили Т.Х.</i>). Доизучение Вашловани-Квибисского участка, повышение категоричности его запасов.	1124 (1968 г.), А – 974, В - 150
1969-1977 гг. Геологическое управление ГССР (<i>Буачидзе И.М., Хухия Н.В., Чхаидзе Д.В., Георгадзе Д.Ш., Лазарашвили Т.Х., Гаврилов Г.С.</i>). Бурение глубоких скважин в районе месторождения. Уточнение контуров Вашловани-Квибисского участка. Бурение новых эксплуатационных скважин на месторождении. Бурение глубокой параметрической скважины в осевой полосе Боржомской антиклинали.	1124 (не переоценивались)
1978-1982 гг. Геологическое управление ГССР, ВСЕГИНГЕО (<i>Гогитидзе И.К., Вартанян Г.С., Харатишвили Л.А., Плотникова Р.И. и др.</i>). Переоценка запасов месторождения в связи с увеличением потребности в минеральных водах.	1983-1990 гг.: 722 (А+В) 1991-2007 гг.: 537 (А+В)
2005-2006 гг. ООО Горно-геологический проект, Боржомминводы (<i>Мигинеишвили Б., Харатишвили Л., Габечава Ю., Чхаидзе Д.</i>) Переоценка запасов месторождения в связи с истечением срока предыдущей оценки 2013-2014 гг. (<i>Корошинадзе Т., Чхаидзе Д.</i>) Доизучение Вашловани-Квибисского участка, повышение категоричности его запасов.	561 (2006 г.), 2006-2013 гг.: А+В – 503, С ₁ – 58 С 2014 г.: А+В – 558.3, С ₁ – 2.7
2007-2011 гг. Боржомминводы (<i>Корошинадзе Т., Чхаидзе Д.</i>). Разведка маломинерализованных вод (2-5 г/л) боржомского типа в пределах месторождения. Пробурено 6 неглубоких скважин на Центральном участке. Оценены запасы по водоносному комплексу Боржомского флиша в количестве 124.6 м ³ /сут.	-
2014-2020 гг. ЗАО ГИДЭК, IDS BORJOMI (<i>Боревский Б.В., Корошинадзе Т.О., Язвин А.Л., Крапивнер Р.Б., Абрамов В.Ю., Ершов Г.Е., Ракунов. А.Б., Секерина И.Н., Чхаидзе Д.В. и др.</i>). Переоценка запасов месторождения в связи с увеличением потребности в минеральных водах для целей розлива. После выполненной переоценки запасов (2018 г.) ведутся работы по повышению их категоричности.	935 (2018 г.) В – 683, С ₁ – 115, С ₂ – 137, дополнительно Р - 60

В период **1936-1953 г.г.** гидрогеологические исследования были направлены на завершение буровых работ на западной части Центрального участка (с. Ликани), бурение скважин на Ликанском участке в долине р. Ликани (к западу от Центрального участка), на изучение режима минеральной воды, на проведение опытных и разведочных работ по изучению вопроса разгрузки минеральных вод и смешения их с пресными. После окончания каптажных работ в 1935 г. суммарный дебит источников и скважин начал падать и составил к декабрю 1953 г. в среднем $185 \text{ м}^3/\text{сут.}$ *Чихелидзе С.С.* был сделан вывод о естественном характере уменьшения дебита как отдельных скважин, так и суммарного, в результате уменьшения потенциальной энергии накопленного напора при выпусках из скважин [68].

По завершении этого цикла работ *Мелива А.М.* в своей статье (1950 г.) [47] на основе изучения режима источников и скважин в 1948 г, а также ссылаясь на наблюдения *Мольденгауера Ф.Ф.* [48] за источником № 1 (Екатерининским) в 1892-1902 гг., делает вывод о присутствии на месторождении различной интенсивности пульсационных явлений в связи с неравномерным притоком газа. Даются рекомендации по уменьшению диаметра выводящих труб скважин для прекращения или минимизации явлений пульсации. Экспериментальным путём для ряда скважин была установлена глубина начала спонтанного выделения газа. В дальнейшем, полученные величины были подтверждены расчётным способом по формуле *Дальтона Д.* о растворимости газа в воде: $P = \gamma/\lambda$, где P - давление в атм., γ - количество растворённого газа ниже зоны разделения фаз в г/дм³, а λ - коэффициент растворимости газа (по Освальду). В результате проведённых экспериментов были установлены различия между устьевым и пластовым давлением и приближённая глубина разделения фаз.

Новый этап поисково-разведочных работ (комплексная гидрогеологическая съёмка масштаба 1:50 000 и бурение глубоких структурно-гидрогеологических, разведочных, и наблюдательных скважин) на месторождении проведен в **1954-1964 г.г.** Было установлено более широкое распространение контуров месторождения, чем это предполагалось ранее; увеличены ресурсы минеральной воды в центральной эксплуатируемой части месторождения, где углекислая минеральная вода была получена в трёх скважинах на северном крыле Боржомской антиклинали. Суммарный водоотбор минеральной воды на Центральном участке в период с октября 1953 г. до конца 1959 г. за счёт ввода в эксплуатацию новых скважин и скважин дублёров был существенно увеличен, достигая в отдельные месяцы $780 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Это послужило основной причиной истощения источников №№ 1 и 2 в 1957-1958 г. (окончательно – в начале 1960 г.). Источник 1 был заменён на

скважину 1 в Парке. При этом очаги разгрузок, во всяком случае, в долине реки Куры, продолжали функционировать. Минеральная вода типа Боржоми была получена также в трёх скважинах в пределах Баратхевской синклинали (в 3-4-х км севернее Центрального участка), что привело к открытию нового Вашловани-Квибисского участка. Результаты работ этого периода отражены в сводном отчёте [91] (*Гаглов Г.М., Джигаури Д.Г. и др.*) и в кратком виде обобщены в монографии *Чихелидзе С.С.* [68]. По представленным материалам в ГКЗ СССР впервые были утверждены эксплуатационные запасы Боржомского месторождения углекислых минеральных вод. Общая величина утверждённых запасов составила **1700 м³/сут**, из них 374 м³/сут по категории А на Центральном (297 м³/сут) и Ликанском (77 м³/сут) участках, а также 1326 м³/сут (по категориям В и С₂) на Вашловани-Квибисском участке. Расчёты гидравлическим методом базировались на экстраполяции режима дебитов при эксплуатации 1958-1961 гг. при расчётной схеме неограниченного напорного пласта, что не соответствует реальным геолого-гидрогеологическим условиям месторождения. Очевидно, это привело к завышению общей величины запасов.

Последующие работы **1965-1968 гг.** проводились на Вашловани-Квибисском участке. Они были направлены на перевод запасов в более высокие категории. В основу подсчёта запасов 1968 г. были положены данные группового выпуска 1965-1966 гг. (*Буачидзе И.М., Лазарашвили Т.Х. и др.*) [89]. Стабилизации режима не наблюдалось. Запасы были утверждены в количестве 750 м³/сут (А - 600 м³/сут, В - 150 м³/сут). Сумма запасов месторождения в количестве **1124 м³/сут** была уменьшена за счёт существенного снижения запасов категории С₂ на Вашловани-Квибисском участке.

В **1969-1978 гг.** поисково-разведочные работы продолжались путем бурения глубоких скважин в районе месторождения, а также разведочных скважин для уточнения контуров Вашловани-Квибисского участка (*Буачидзе И.М., Хухия Н.В. и др.* [90], *Чхаидзе Д.В., Гергадзе Д.Ш. и др.* [104]). Одновременно, в связи с неуклонным ростом потребности в минеральной воде, было пробурено пять эксплуатационных скважин глубиной 1300-1500 м на Вашловани-Квибисском и Центральном участках. На Ликанском участке в осевой полосе Боржомской антиклинали было осуществлено бурение глубокой параметрической скважины. Скважина прошла по падению пластов, не вскрыла подошву верхнемеловых пород и была остановлена на глубине 3680 м при проектной глубине 4500 м. Ранее пробуренными на участке скважинами, боржомская вода, с минерализацией 5-6 г/л, была выявлена до глубины до 1400 м. Данные опробования ниже этой глубины [96] (*Лазарашвили Т.Х., Гаврилов Г.С. и др.*) указывают на снижение минерализации боржомской воды.

В связи с существенным снижением дебитов скважин по сравнению с утверждёнными запасами, в 1973 г. была создана комиссия с привлечением специалистов в области разведки и эксплуатации минеральных вод. Заключение Комиссии было положено в основу проекта работ **1978-1982 г.г.** В рамках реализации проекта Управлением геологии ГССР совместно со ВСЕГИНГЕО были выполнены работы по детальной разведке Боржомского месторождения (*Гогитидзе И.К., Вартамян Г.С., Харатишвили Л.А., Плотникова Р.И. и др.*) [94, 19]. Была выполнена ликвидация дефектных скважин, пробурено шесть дополнительных наблюдательных скважин. Подсчёт запасов минеральных вод был выполнен гидравлическим методом на основании анализа режима эксплуатации месторождения, термогидродинамических исследований в скважинах и газовой углекислотной съёмки. Из анализа данных длительной эксплуатации месторождения был сделан вывод о том, что гидравлическая латеральная связь между участками отсутствует или затруднена вследствие низких фильтрационных свойств пород между ними. На основании данных глубинных термодинамических и гидрохимических исследований на Центральном участке, был сделан вывод о подвижности границ купола минеральных вод в зависимости от водоотбора и сейсмических явлений. Отметим, что период проведения исследований был весьма кратковременным (1980-1982 гг.). Авторы не учитывали различия показаний в открытых стволах скважин и трубах, а полученная величина изменения объёма купола находилась в пределах точности оценок. Тем не менее, этот вывод вызвал опасения о возможности изменения качества воды в период дальнейшей эксплуатации. Впоследствии эти предположения не подтвердились. Запасы минеральных вод Центрального и Ликанского участков были оценены величинами 220 и 77 м³/сут соответственно. Для Вашловани-Квибисского участка при неустановившемся режиме по экстраполяции темпа снижения уровня была принята величина запасов 425 м³/сут на период 1983-1990 г. и 240 м³/сут на период 1991-2007 г., при условии отбора только за счёт самоизлива. Таким образом, суммарные запасы минеральных вод месторождения были существенно уменьшены по сравнению с ранее оцененными – до величины **537 м³/сут.**

Оценочные работы **2005-2006 гг.** были выполнены в связи с истечением срока ранее утверждённых запасов (*Мигинишвили Б., Харатишвили Л., Габечавა Ю., Чхаидзе Д.*) [107]. К началу работ количество скважин глубиной более 100 м составляло 21, из них 11 эксплуатационных и 10 наблюдательных. Добыча воды производилась самоизливом. Переоценка запасов была выполнена гидравлическим методом. В процессе работ французской компанией "ANTEA" [106] была создана информационная система Боржомского месторождения на основе программного обеспечения BADGE-GGMW.

Общая величина запасов по месторождению практически не изменилась и составила **561 м³/сут**: Центральный участок – 185 м³/сут (категория В), Ликанский участок – 73 м³/сут (категория А), Вашловани-Квибисский участок – 245 м³/сут (категория В) и 58 м³/сут (категории С₁), всего 303 м³/сут. В 2014 г. запасы категории С₁ Вашловани-Квибисского участка в количестве 55.3 м³/сут были доизучены и переведены в категорию В [109, 110].

После оценки запасов 2006 г., у недропользователя возникла задача поиска маломинерализованных вод боржомского типа для поставки в страны ЕС. В 2010 г. взамен Государственного стандарта Грузии "Вода натуральная минеральная "Боржоми" СТГ 50:2005 был утвержден Национальный стандарт Грузии СТГ 50:2010, согласно которому минерализация воды "Боржоми" составляет от 2.0 до 7.5 г/л [83]. Ранее было установлено, что маломинерализованные воды боржомского типа распространены в породах среднего палеоцена - нижнего эоцена в интервале глубин до 50 м. С этой целью в пределах Центрального участка в **2007-2011 гг.** был пробурено шесть скважин. В результате длительной откачки были оценены и утверждены запасы по водоносному комплексу боржомского флиша в количестве **124.6 м³/сут** [108]. Отбор из остальных эксплуатационных скважин Боржомского месторождения осуществлялся в соответствии с величиной утверждённых в 2006 г. запасов. Влияние водоотбора из вновь пробуренных скважин на скважины, вскрывающие верхнемеловой-нижнепалеоценовый водоносный комплекс, не отмечалось.

Современный этап исследований был начат в 2014 году при участии автора диссертации. В связи с расширением мощностей заводов розлива и возросшей потребностью в добыче минеральных вод ЗАО «ГИДЭК» и «IDS BORJOMI» была разработана «Программа специальных гидрогеологических исследований для переоценки запасов Боржомского месторождения углекислых минеральных вод» (*Боревский Б.В. и др.*) [84]. Целью работ являлось обоснование прироста водоотбора на основе уточнения условий формирования боржомских минеральных вод и оценки их потенциальных ресурсов. В Программе был выполнен анализ всех ранее проведённых работ и отмечалось, что все оценки запасов были выполнены для условий самоизлива и базировались на различных вариациях гидравлического метода подсчета, соответствующих достигнутому расчетным величинам водоотбора. С 1963 по 1982 гг. величина утвержденных запасов сократилась в 3 раза. Снижение запасов при этом соответствовало в целом снижению водоотбора при условии сохранения самоизлива на устье скважин. Обеспеченность подсчитанных запасов источниками их формирования, т.е. баланс приходных составляющих в величине водоотбора количественно не оценивался.

В период с **2015 по 2018 г.г.** (*Боревский Б.В., Корошинадзе Т.О., Язвин А.Л., Крапивнер Р.Б., Абрамов В.Ю., Ершов Г.Е., Ракунов. А.Б., Секерина И.Н., Чхаидзе Д.В. и др.*) [85, 86] были выполнены геофизические исследования в скважинах, опытно-фильтрационные работы, специальные изотопные, гидрохимические, пьезометрические и акваториальные геофизические исследования. Большинство эксплуатационных скважин Боржомского месторождения были переведены на насосный режим эксплуатации. Это позволило стабилизировать величину водоотбора при снижении уровня минеральных вод ниже поверхности земли. Для увеличения суммарного водоотбора ряд наблюдательных скважин был переведен в режим опытной эксплуатации, в пределах Центрального участка была пробурена новая скважина. Расширение состава объектов наблюдений и наблюдаемых показателей, изменение регламента проведения наблюдений, оборудование скважин автоматизированными средствами измерений, регистрации и передачи информации, создание компьютерной базы данных и ГИС-проекта, систематический анализ режима эксплуатации, разработка и ведение постоянно действующей геофильтрационной математической модели, систематическое выполнение прогнозов изменения состояния месторождения позволили применить комплексный подход к системе мониторинга Боржомского месторождения. Анализ обширного фактического материала и данных многолетнего мониторинга послужили информационным обеспечением переоценки запасов подземных вод в 2018 г., выполненной на основе гипотезы формирования Боржомской минеральной воды непосредственно в боржомском пласте (*Абрамов В.Ю., Боревский Б.В.*). Эксплуатационные запасы были подсчитаны с использованием комбинации гидравлического метода, базирующихся на материалах опытной эксплуатации, и математического моделирования. Математическое моделирование однофазного потока жидкости осуществлено с использованием программы ModFlow. Численное моделирование потока газовой смеси по Центральному участку выполнено с использованием программы TOUGHREACT (*Хархордин И.Л.*). По данным численного моделирования были определены балансовые составляющие формирования запасов подземных вод при разных величинах водоотбора и схемах эксплуатации. В результате работ были оценены эксплуатационные запасы в количестве **935 м³/сут**, (**B – 683 м³/сут**, **C₁ – 115 м³/сут**, **C₂ – 137 м³/сут**), в т.ч. по участкам: Центральный – **348 м³/сут**, Ликанский – **120 м³/сут**, Вашловани-Квибисский – **467 м³/сут**. Прогнозные ресурсы составили **60 м³/сут**. Необходимо отметить, что запасы категории B соответствовали средней величине отбора за период стационарного режима уровня подземных вод, категории C₁ – среднему расходу скважины в случае, если стабилизация уровня не была достигнута, либо прибавке к дебиту по сравнению со стационарным

режимом. Запасы категории C_2 и прогнозные ресурсы категории Р были определены на основании данных численного моделирования. Прирост запасов составил $374 \text{ м}^3/\text{сут}$, что в 1.6 раза больше, чем количество оцененных запасов на начало работ в 2015 г. В настоящее время ведутся работы по доизучению и повышению категорийности запасов (*Боревский Б.В., Секерина И.Н., Корошинадзе Т.О. и др.*) [87, 88].

Оценке современного состояния запасов Боржомского месторождения посвящена докторская диссертация *Корошинадзе Т.О.*, осуществлявшим руководство полевыми работами на современном этапе исследований [111].

В разные годы *Тугуши И.Н.* (1984, 1985 гг.), *Поповым В.Г. и Абдрахмановым Р.Ф.* (2013г.) [55] экспериментально было доказано, что из верхнемеловых-нижнепалеоценовых горных пород Боржомского месторождения путем проведения последовательных углекислотных водных вытяжек возможно получить боржомскую минеральную воду с минерализацией 5.0-7.5 г/л. На основе анализа поглощенного комплекса и состава обменного комплекса верхнемеловых-нижнепалеоценовых горных пород авторы пришли к выводу, что емкость поглощения достигает 44 ммоль/100 г, из них на долю натрия приходится до 52 %, и его достаточно для формирования Боржомских минеральных вод.

1.2.2. Основные гипотезы формирования Боржомской углекислой минеральной воды

В разное время исследователи высказали множество гипотез формирования боржомской углекислой минеральной воды. Основные положения существующих гипотез можно сформулировать следующим образом:

1. Боржомская минеральная вода является древней (погребенной) водой – *Овчинников А.М.* (1936 г.) [99], *Чихелидзе С.С., Гамквелидзе И.П., Лобжанидзе Г.П.* (1981 г.) [93]; *Буачидзе И.М., Лазарашвили Т.Х.* (1968 г.) [89];
2. Боржомская минеральная вода формируется в результате обменно-адсорбционных процессов между инфильтрационной водой и поглощенным комплексом верхнемеловых карбонатных и палеоценовых флишевых пород, путем распада и растворения натрий содержащих силикатов в условиях постоянного притока эндогенного CO_2 – *Мелива А.М.* (1952 г., 1980 г.), *Буачидзе И.М. и др.* (1970 г.), *Гаглов Г.М. и др.* (1962 г.) [91], *Качарава Д.* (1976 г.), *Буачидзе И.М., Чихелидзе С.С.* (1956 г.), *Гамквелидзе И.П., Лобжанидзе Г.П.* (1981 г.) [93] и частично *Буачидзе И.М., Лазарашвили Т.Х.* (1968 г.) [89], *Гамквелидзе И.П., Тугуши И.Н.* (1984, 1985 г.г.), *Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф.* (2013 г.) [55], *Церцвадзе Н.В.* (2017 г.) [66], *Буачидзе И.М., Лазарашвили Т.Х., Чхаидзе Д.В., Гиоргадзе Д.Ш. и др.* (1978 г.) [104], *Церцвадзе Н.В., Буачидзе Г.И. и др.* (1980 г.) [102].
3. Боржомская минеральная вода поступает в верхнемеловые-нижнепалеоце-

новые отложения из вулканогенного мела и, возможно, более древних пород в готовом виде - *Буачидзе И.М., Лазарашвили Т.Х., Чхаидзе Д.В., Гиоргадзе Д.Ш. и др.* (1978 г.) [104], *Церцвадзе Н.В., Буачидзе Г.И. и др.* (1980 г.) [102].

4. Боржомская минеральная вода образуется в результате смешивания высокоминерализованных содовых вод, поступающих из вулканогенного мела, с пресными инфильтрационными водами (*Харатишвили Л.А.*).

5. Боржомская минеральная вода формируется за счет глубинных углекислых флюидов и маломинерализованных вод водоносного комплекса нижнего палеоцена - верхнего мела - *Вартанян Г.С., Плотникова Р.И., Харатишвили Л.А., Чхаидзе Д.В.* (1985 г.) [19].

Следует отметить, что одни и те же исследователи в разное время выдвигали разные гипотезы формирования углекислых минеральных вод, что свидетельствует о сложности физико-химических и гидродинамических процессов их образования.

В результате анализа многочисленных высказанных ранее гипотез формирования боржомских вод, результатов многолетнего мониторинга и материалов проведённых научных и полевых исследований, *Абрамовым В.Ю. и Боровским Б.В.* [86] в 2018 году был сделан вывод о том, что газохимический состав боржомской минеральной воды формируется непосредственно в верхнемеловом-нижнепалеоценовом водоносном комплексе при смешении латерального потока метеогенных вод, получающих инфильтрационное питание высоко в горах, и глубинного обогащенного CO_2 газовойдающего флюида магматического генезиса находящегося в сверхкритическом состоянии, содержащего различные микрокомпоненты за счет катионного обмена с морским поглощенным комплексом водовмещающих пород. Количественное соотношение величины этих двух потоков играет определяющую роль в формировании запасов минеральных вод. Данной гипотезы придерживается автор. Гипотеза более подробно рассмотрена в главе 2.

В заключение следует констатировать, что несмотря на многочисленные научные исследования и масштабные геологоразведочные работы по изучению Боржомского месторождения до современного этапа не проводился комплексный анализ причин снижения газовых факторов, напоров и расходов, а также оценка балансовых составляющих водоотбора и их изменение во времени. Обоснование современной системы управления эксплуатацией и переоценка запасов Боржомского месторождения должны базироваться на анализе результатов многолетнего мониторинга, дополненного комплексом специальных гидрогеологических исследований, что позволит не только стабилизировать величину запасов, но и рассмотреть возможности их прироста.

2. ПРИРОДНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД БОРЖОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕЁ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ПРИРОДНО- ТЕХНОГЕННУЮ МОДЕЛЬ ПОД ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

2.1. Характеристика геолого-гидрогеологических условий

Боржомское месторождение углекислых минеральных вод расположено на территории города-курорта Боржоми и прилегающих сел республики Грузии. Его геологические условия и геоструктурный облик определяются приуроченностью к сложнопостроенному срединному блоковому поднятию Аджаро-Триалетской горно-складчатой области. Геолого-структурная основа месторождения представлена чередованием антиклинальных (Боржомская, Квибисская, Ломисмтинская) и синклинальных (Баратхевская, Рвельская) складок, прорванных многочисленными разрывными нарушениями различного кинематического типа (Боржомульский, Занавский, Квибисский, Ликанский разломы), основные из которых достигают глубинного магматического очага. В гидрогеологическом отношении месторождение относится к центральной части Аджаро-Триалетской водонапорной системы, являющейся северо-западной окраиной гидрогеологической структуры Малого Кавказа Крымско-Кавказской гидрогеологической области. В пределах изученной части Боржомского месторождения подземные воды выявлены в четвертичных отложениях и породах дочетвертичного возраста – боржомского флиша среднего палеоцена-нижнего эоцена и в карбонатной толще верхнего мела – нижнего палеоцена. Схематическая гидрогеологическая карта, гидрогеологические разрезы и пьезометрические профили Б-9, Б-10 и К-6, составленные в рамках современного этапа работ на месторождении *Крапивнером Р.Б., Боровским Б.В. и автором диссертации* [86], представлены на рис. 2.1 (а)-2.1 (е), 2.2, 2.3, 2.4.

Водоносный горизонт четвертичных отложений (Q)

Водоносный горизонт четвертичных аллювиальных, делювиальных и пролювиальных отложений имеет ограниченное площадное распространение по ущельям рек (Куры, Боржомулы, Гуджаретис и их притоков) и незначительную мощность – до 14 м. Сложен валунными галечниками и галечниками с песчано-гравелистым, песчаным и песчано-глинистыми заполнителями. Подземные воды безнапорные, дебиты родников колеблются от 0.01 до 0.5 л/с, температура - 7-13°C. Воды гидрокарбонатные кальциево-магниевого с минерализацией 0.3-0.6 г/л. Наибольший интерес представляют современные аллювиальные отложения пойменных террас рек Куры, Боржомулы и Гуджаретис. В мелких скважинах, пробуренных в аллювиальных отложениях реки Куры на участке естественной разгрузки боржомской воды вблизи осевой части Боржомской антиклинали

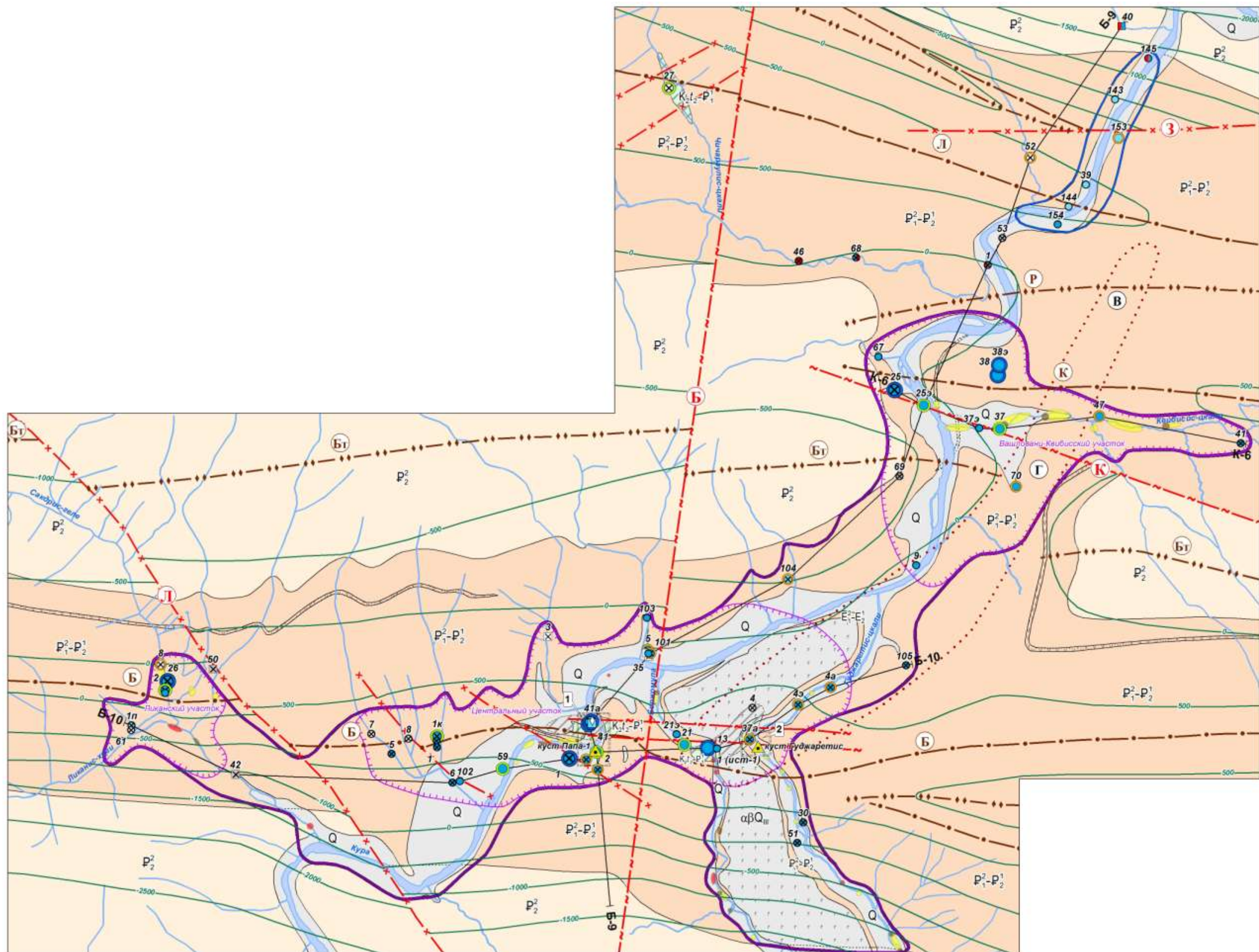


Рис. 2.1. (а). Схематическая гидрогеологическая карта Боржомского месторождения углекислых минеральных вод

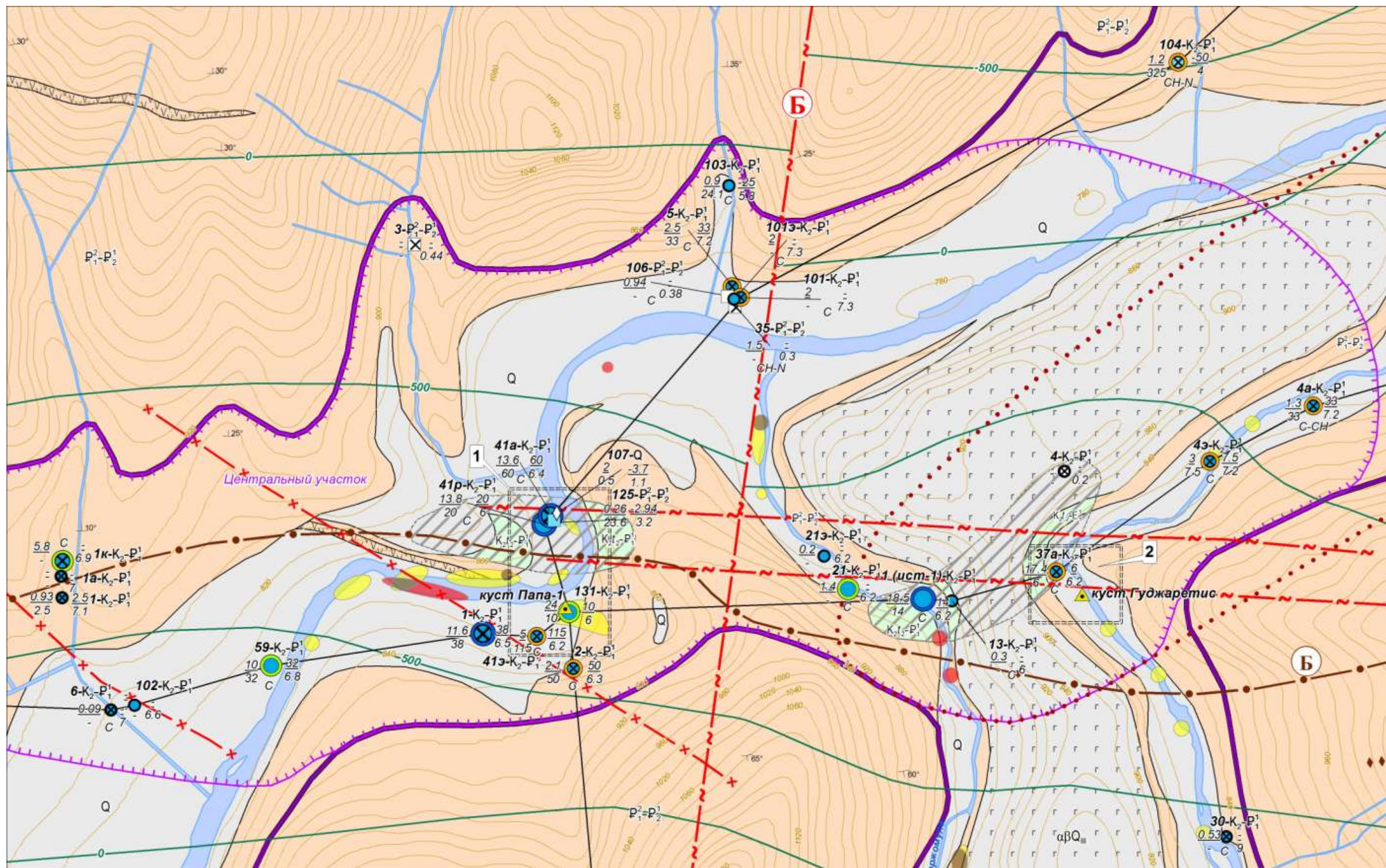


Рис. 2.1. (б). Схематическая гидрогеологическая карта Боржомского месторождения углекислых минеральных вод. Центральный участок.

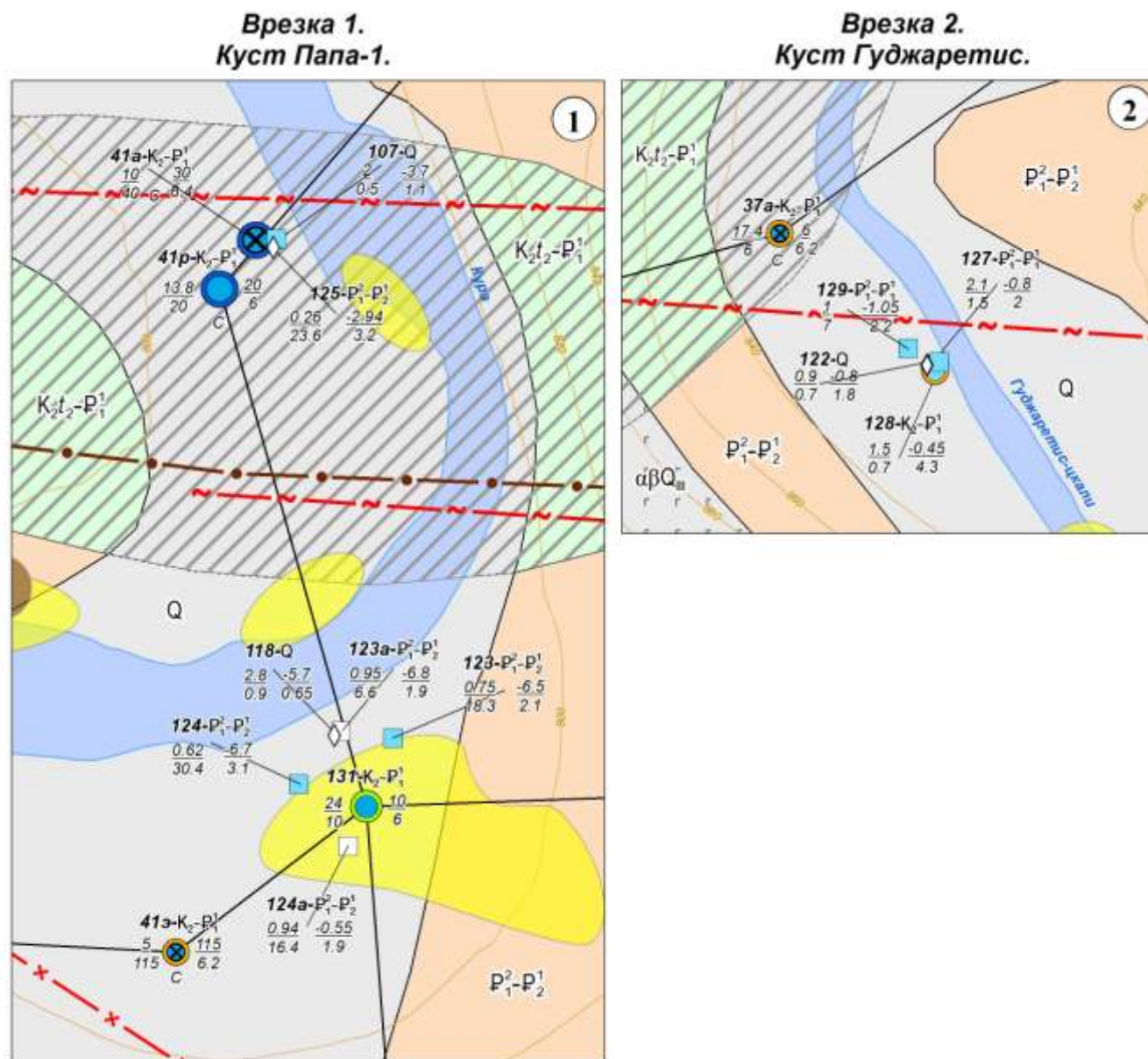


Рис. 2.1. (в). Схематическая гидрогеологическая карта Боржомского месторождения углекислых минеральных вод.

Центральный участок. Врезки 1 и 2.

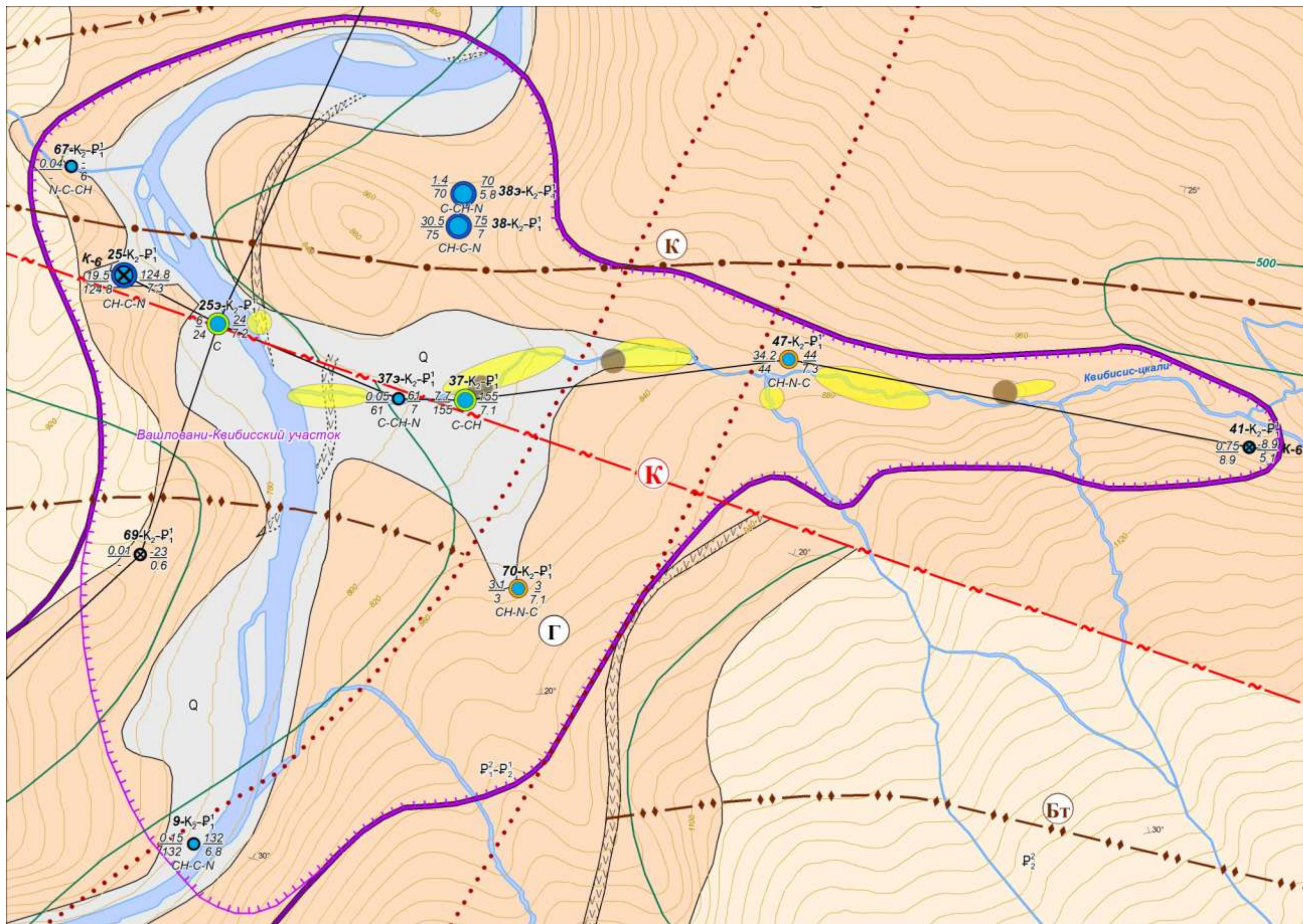


Рис. 2.1. (г). Схематическая гидрогеологическая карта Боржомского месторождения углекислых минеральных вод. Вашловани-Квибисский участок.

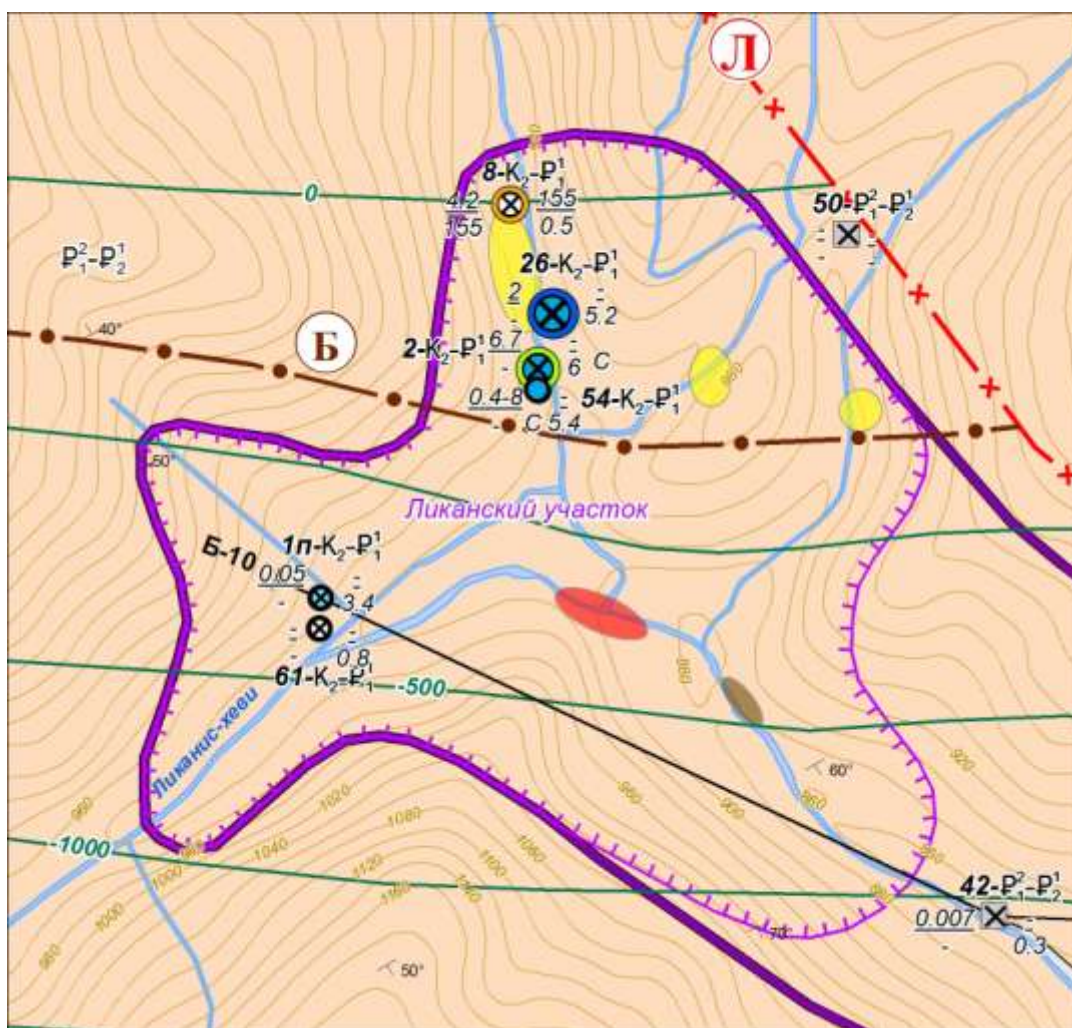


Рис. 2.1. (д). Схематическая гидрогеологическая карта Боржомского месторождения углекислых минеральных вод. Ликанский участок.

наблюдалось повышение минерализации воды до 1.0 г/л и более, а также изменение типа воды до гидрокарбонатно-натриевого, что является признаком разгрузки в аллювиальный горизонт минеральных вод [108]. Дебиты скважин при опробовании составляют 0.9-2.8 л/с, удельные дебиты — 1.25-4.0 л/с.

Водоносный горизонт верхнечетвертичных лавовых покровов ($a\beta Q_{III}$)

Верхнечетвертичный андезитовый лавовый покров распространен в междуречье Гуджаретис и Боржомулы. Мощность его достигает 130 м. Водонасыщенность лав обусловлена наличием трещиноватости. Водоносный горизонт дренируется родниками и реками. Родники располагаются в местах наибольшего эрозионного вреза ущелий рек. Дебиты отдельных родников из лавового потока, как правило, составляют до 1 л/с, температура - 8-8.5°C, общая минерализация 0.2 г/л, тип воды гидрокарбонатный кальциево-магниевый. Аномально мощный выход приурочен к подошвенной части лавового потока, в ущелье р. Боржомулы. Дебит этого родника 34-40 л/с.

Условные обозначения:

1. Водоносные комплексы, горизонты и водоупорные отложения.

	Водоносный горизонт четвертичных образований (аллювиальные и валунные галечники)
	Водоносный горизонт верхнечетвертичных лавовых покровов (андезиты, базальты)
	Водоносный горизонт среднезоценовых, вулканогенно-осадочных отложений (туфы, туфопесчаники, базальты)
	Водоносный комплекс боржомского флиша среднепалеоценовых и нижнезоценовых отложений (мергели, глины, аргиллиты, песчаники и обломочные известняки с пластовыми жилами диабаз, в верхней части разреза - кристаллические туфы, туфопесчаники)
	Водоносный комплекс верхнемеловых и нижнепалеоценовых карбонатных отложений (известняки, слоистые песчаные и глинистые известняки, обломочные органогенные (брекчиевидные) известняки с прослоями мергелей и песчаников)
	Среднезоценовая пластовая интрузия диабаз
	Границы водоносных горизонтов и комплексов
	Направление и угол падения слоев

2. Водопункты.

Скважина. Вверху - номер скважины и индекс геологического возраста водовмещающих пород; слева в числителе - дебит (л/сек), в знаменателе - понижение (м); справа в числителе - уровень воды от устья (м), в знаменателе - минерализация (г/л); под знаком - газовый состав воды. Прочерк - отсутствие данных. Примечание: приведены первоначальные данные (на момент бурения скважины)

а) Скважина, оборудованная на водоносный комплекс верхнемеловых и нижнепалеоценовых карбонатных отложений

	Скважина эксплуатационная или наблюдательная
	Скважина ликвидированная

Размер знака и цвет обода знака соответствуют дебиту скважины:

	- практически безводная, с дебитом менее 0,03 л/с
	- менее 1 л/с
	- до 5 до 10 л/с
	- от 1 до 5 л/с
	- более 10 л/с

б) Скважина, оборудованная на комплекс боржомского флиша среднепалеоценовых и нижнезоценовых отложений

	- скважина эксплуатационная
	- скважина ликвидированная

в) Скважина, оборудованная на водоносный горизонт четвертичных образований

	Куст скважин и его название
--	-----------------------------

3. Химический и газовый состав подземных вод.

	Гидрокарбонатные воды с минерализацией до 2 г/л
	Гидрокарбонатные воды типа "Боржоми" с минерализацией от 2 до 5 г/л
	Гидрокарбонатные воды типа "Боржоми" с минерализацией более 5 г/л
	Хлоридные воды
	Смешанные воды двухкомпонентные
	Углекислота
	Азот
	Сероводород
	Метан

4. Прочее.

	Стратоизогипс по кровле водоносного комплекса верхнемеловых и нижнепалеоценовых карбонатных отложений (АО, м)
	Оси антиклинальных складок
	Оси синклинальных складок
	Высокопроводящий разлом по кровле водоносного комплекса верхнемеловых и нижнепалеоценовых карбонатных отложений
	Экранирующий разлом по кровле водоносного комплекса верхнемеловых и нижнепалеоценовых карбонатных отложений
	Боржомульский разлом
	Занавский разлом
	Квибисский разлом
	Ликанский разлом
	Боржомская антиклиналь
	Баратшевская синклиналь
	Квибисская антиклиналь
	Ломисмтинская антиклиналь
	Рвельская синклиналь
	Гуджаретисская седловина
	Вардгинетская седловина
	Выходы на поверхность или под покров верхнечетвертичных андезибазальтов водоносного комплекса верхнемеловых и нижнепалеоценовых карбонатных отложений
	Граница предполагаемого погребенного термического поднятия
	Граница Боржомского месторождения минеральных вод
	Граница эксплуатационного участка Боржомского месторождения минеральных вод
	Граница Занавского месторождения минеральных вод
	Линия геолого-гидрогеологического разреза
	Контур врезки масштаба 1:2500, ее номер
	Зона газовой аномалии
	Зона температурной аномалии
	Зона газовой и температурной аномалии

Рис. 2.1. (е). Условные обозначения к схематическая гидрогеологическая карта Боржомского месторождения углекислых минеральных вод.

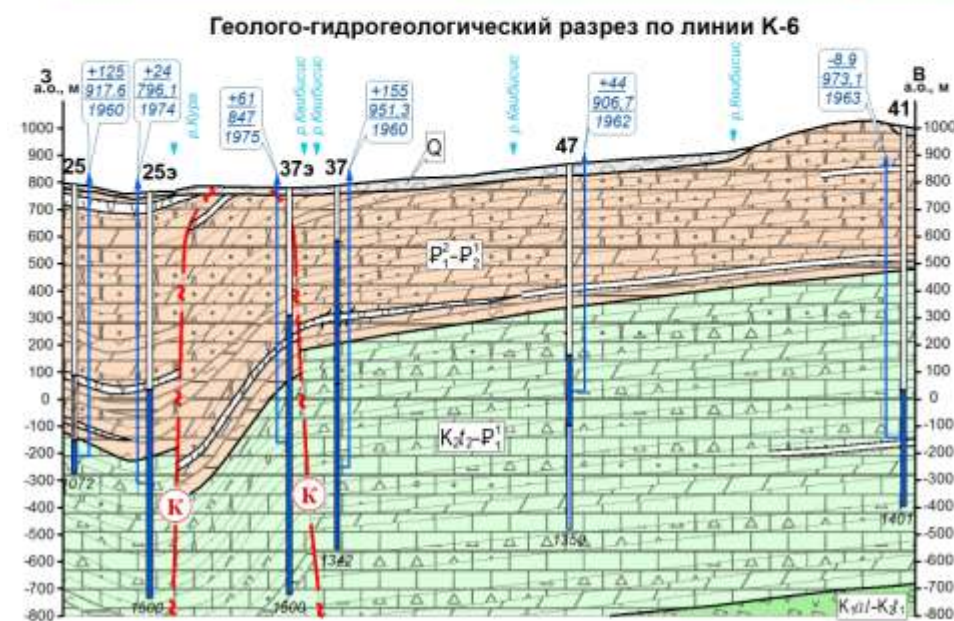
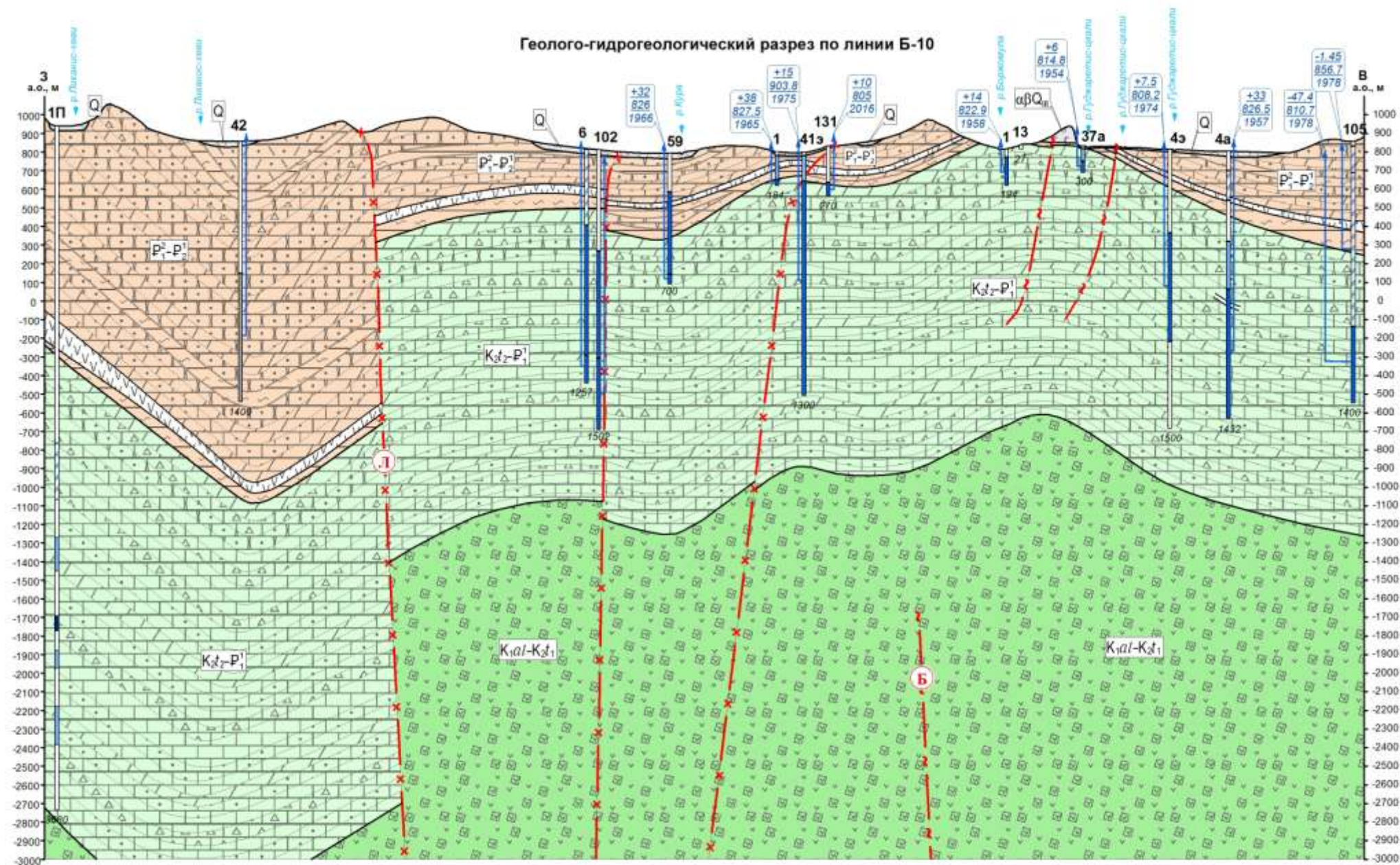


Рис. 2.2. Схематические геолого-гидрогеологические разрезы по линиям Б-10 и К-6

Геолого-гидрогеологический разрез по линии Б-9

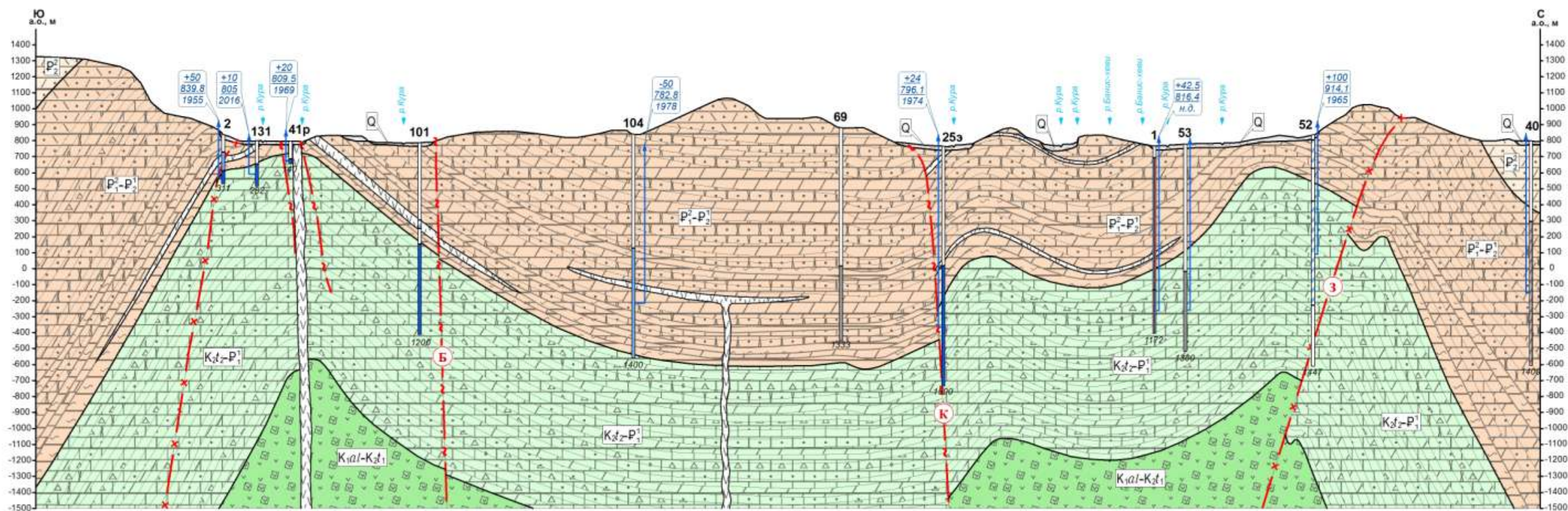


Рис. 2.3. Схематический геолого-гидрогеологический разрез по линии Б-9

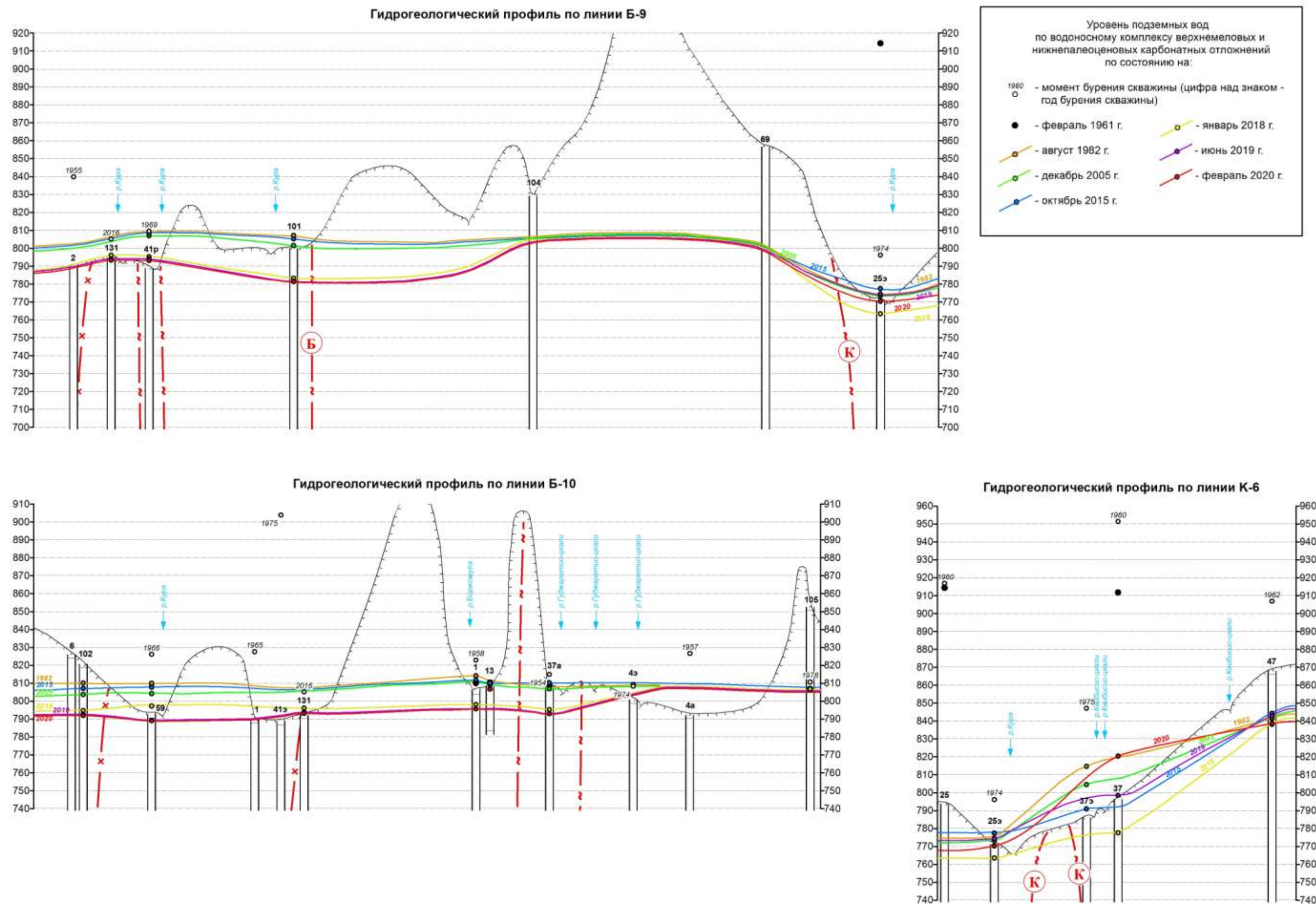


Рис. 2.4. Пьезометрические профили по линиям гидрогеологических разрезов

Родник каптирован и используется для водоснабжения курорта Боржоми. Родники Даба и Квибиси с расходами 2-3 л/с используются для промышленного розлива.

*Водоносный комплекс флишевых отложений среднего палеоцена–нижнего эоцена
(Боржомский флиш) (P_1^2 - P_2^1)*

Флишевые отложения среднего палеоцена-нижнего эоцена (Боржомский флиш) в основном представлены мергелями, песчаниками, глинами, аргиллитами, глинистыми и песчанистыми известняками. Мощность их достигает 1500 м. В силу такого литологического разнообразия флишевые отложения представляют собой неоднородную толщу. Подземные воды содержат в основном известняки и песчаники, в меньшей степени - мергели и алевролиты, а аргиллиты и глины являются неводоносными. Водоупорные или слабопроницаемые породы явно преобладают над водопроницаемыми. Основным водоупором для верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса служит самая нижняя часть дабисхевской подсвиты флишевых отложений (мощностью около 50 м), представленная глинисто-мергелистыми породами, а также пластовыми дайками и силлами диабазов.

Подобное сочетание водопроницаемых и водонепроницаемых пород на небольшой площади создает условия спорадического распространения подземных вод во флишевых отложениях, которые в целом могут быть охарактеризованы как слабопроницаемые. Водоносность слабая, неравномерная и носит трещинный и трещинно-пластовый характер. Некоторое усиление трещиноватости отмечается в зонах тектонических нарушений, сводах антиклинальных складок, где породы Боржомского флиша в той или иной степени обводнены. Родники - нисходящие. Дебит их колеблется в пределах 0.01 - 0.15 л/с, температура 7-14°C. Очень редко встречаются родники с дебитом до 1.3 л/с. Тип воды гидрокарбонатный кальциевый, магниевый-кальциевый, натриево-кальциевый и натриево-магниевый-кальциевый. Воды последних двух типов встречается в туфогенных породах верхней части флишевых отложений.

Скважинами №№ 2, 8, 26 (Ликани) и №№ 4а, 5, 35, 101, 106 (Боржоми), пробуренными на северном крыле Боржомской антиклинали, во флишевых отложениях, залегающих стратиграфически выше Боржомпарковой пластовой жилы диабаз, в интервале глубин от 90 до 1000 м выявлены напорные, пресные азотные и азотно-метановые сероводородные воды. Первоначальные дебиты воды на самоизливе составляли 1-16 л/с, температура 13-33°C. Тип их карбонатный, гидрокарбонатный и карбонатно-гидрокарбонатный натриевый с общей минерализацией 0.3-0.8 г/л.

Напорные пресные воды с незначительным дебитом на самоизливе (0.01-0.3 л/с) и температурой 10-15°C получены из флишевых отложений воды скважинами №№ 42, 61

(Ликани) и № 105 (Боржоми). Тип воды гидрокарбонатный натриевый.

Скважинами 25, 38, 70 (Вашловани-Квибисский участок) и 104, 105 (между Вашловани-Квибисским и Центральным участками) непосредственно над толщей с Боржомской водой, в интервале 90-750 м во флишевых отложениях вскрыты слои, содержащие слабоминерализованные воды типа Боржоми. Дебит воды 0.1-1.0 л/с, температура 12-22°C. Тип воды гидрокарбонатный, хлоридно-гидрокарбонатный и гидрокарбонатно-хлоридно-карбонатный натриевый с минерализацией до 4 г/л. С глубиной наблюдается увеличение минерализации и преобладание гидрокарбонатных натриевых вод над другими типами.

В скважинах №№ 9 и 37 Вашловани-Квибисского участка из флишевых отложений в процессе бурения появилась боржомская вода. Глубины появления боржомской воды в этих скважинах находятся на 290 м и 355 м выше кровли верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса. Эти проявления связаны с восходящей фильтрацией боржомских вод в зонах повышенной трещиноватости. В пределах залегания флишевых отложений дебит боржомской воды был незначительным.

С целью поисков маломинерализованных вод Боржоми в зонах восходящей разгрузки в долинах р.р. Кура и Гуджаретис Центрального участка было пробурено семь скважин глубиной до 50 м (скв. №№ 125, 123, 123а, 124, 124а, 127, 129) [108]. Дебиты скважин в долине р. Куры колеблются в пределах 0.26-0.94 л/с, удельные дебиты преимущественно сотые л/с. Аномально высокий удельный дебит 1.38 л/с получен по скв. № 127 в долине р. Гурджаретис. Минерализация подземных вод при откачках после бурения колебалась в пределах 2-3 г/л. Их качественные показатели могут формироваться при восходящей разгрузке минеральных Боржомских вод с минерализацией 5-7 г/л и смешением с пресными инфильтрационными водами аллювиальных отложений.

*Водоносный комплекс верхнемеловых-нижнепалеоценовых карбонатных
отложений ($K_2t_2-P_1^1$)*

Верхнемеловому-нижнепалеоценовому водоносному комплексу принадлежит главная роль в формировании и скоплении Боржомской минеральной воды. Комплекс сложен мощным (более 1.2 км) неоднородным комплексом карбонатных пород: известняков, песчанистых и глинистых известняков, органогенных и органогенно-обломочных (брекчиевидных) известняков, реже песчаников и мергелей с пластовыми и секущими жилами диабазов. Известняки неравномерно трещиноватые, местами сильно трещиноватые и перемятые. Трещиноватость пород в плане и разрезе меняется. Относительно водоупорной кровлей комплекса является описанная выше песчано-глинистая толща флишевых отложений среднего палеоцена-нижнего эоцена.

Следует отметить, что ни одна скважина на территории Боржомского месторождения не выходит из верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса и не вскрывает водоносный горизонт в толще вулканогенно-осадочных отложений альб-нижнего турона. Этот факт не даёт возможности однозначной трактовки роли этого водоносного горизонта в формировании боржомских вод.

В пределах Боржомского месторождения рассматриваемый водоносный комплекс вскрыт скважинами на всех разведанных участках (Центральном, Вашловани-Квибисском и Ликанском) на различной глубине. Комплекс выходит на поверхность только на Центральном участке в пределах осевой полосы Боржомской антиклинали (вблизи скважин №№ 1, 21, 13 и 41р). Скважины в осевой полосе Боржомской антиклинали вскрывают только нижнепалеоценовую часть водоносного комплекса до глубины 400-600 м. На крыльях Боржомской антиклинали водоносный комплекс быстро погружается под водоупорные флишевые отложения среднего палеоцена-нижнего эоцена мощностью до 800 м. На крыльях антиклинали глубокими скважинами до 1500 м полностью пройдены мергели с пластовыми и секущими жилами диабазов. Кровля комплекса на Вашловани-Квибисском и Ликанском участках, а также между Центральным и Вашловани-Квибисским участками вскрывается на глубинах 500-1350 м, что значительно глубже чем на Центральном участке. На этих участках большинством скважин пересечены нижнепалеоценовые и частично верхнемеловые карбонатные отложения.

Водоносный комплекс верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений представляет исключительный интерес в смысле наличия в нем боржомской минеральной воды. Она выявлена на всех разведанных участках месторождения почти всеми скважинами, вскрывшими описываемый водоносный комплекс. Данные по скважинам приводятся в табл. 2.1. Материалы бурения показывают, что боржомская вода с минерализацией больше 5 г/л в процессе бурения появилась во многих скважинах в основном ниже боржомской пластовой интрузии диабазов как выше, так и ниже кровли верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса. Глубины ее появления в пределах водоносного комплекса, в зависимости от структурно-гидрогеологических условий, находятся на разных стратиграфических и гипсометрических уровнях.

Результаты гидрогеологических наблюдений в процессе бурения и глубинных термогидродинамических исследований скважин показывают, что наиболее водообильной является верхняя нижнепалеоценовая часть комплекса (породы боржомульской подсвиты). Боржомскую воду содержит и залегающая ниже карбонатная толща верхнего мела. Карбонатные отложения верхнего мела и нижнего палеоцена представляют единый водоносный комплекс.

Таблица 2.1

**Характеристика скважин, вскрывающих верхнемеловой-нижнепалеоценовый водоносный комплекс по результатам
опробования после бурения**

№ скважины (участок/ подучасток)	Год буре- ния	Глу- бина, м	Интервал опробо- вания, м*	Мине- рали- зация, г/л	Темпе- ратура, °С	А.о. устья, м	А.о. устано- вившегося уровня, м	Напор над устьем при бурении, м	Понижение, м	Дебит		Удельный дебит, л/с/м
										л/с	м³/сут	
Центральный участок												
1 (бювет, Парк)	1958	193.8	171-194	6.2	36	808.86	822.86	14	14	18.5	1598.4	1.32
1 (Папа)	1955	184	164-184	6.5	30	789.54	827.54	38	38	11.6	1002.24	0.31
41а (Папа)	1954	130	96.7-130	6.4	33.5	789.54	849.54	60	60	13.6	1175.04	0.23
41р (Папа)	1969	140	107.9-140	6.0	36.5	789.54	809.54	20	20	13.8	1192.32	0.69
2 (Папа)	1955	310.5	230-310	6.3	21.5	789.8	839.8	50	50	2.1	181.44	0.04
131 (Папа-2)	2016	282	150-270	6	36	795.02	805.02	10	10	24	2073.6	2.40
4а (Гуджаретис)	1957	1432	741-1432	7.2	31	794.22	827.22	33	33	1.3	112	0.04
4э (Гуджаретис)	1974	1500	435-1034	7.2	38	801	808.5	7.5	7.5	3	259.2	0.40
37а (Гуджаретис)	1954	140.9	136-140.9	6.2	22	808.8	814.8	6	6	17.4	1503.36	2.90
128 (Гуджаретис)	1980	300	150-296	4.3	22.5	811.91	811.46	-0.45	0.7	1.5	129.6	2.14
59 (Боржоми-Ликани)	1966	700	640-700	6.8	38	793.98	825.98	32	32	10	864	0.31
103 (Север)	1979	1400	980-1400	5.8	22.8	825.63	800.63	-25	24.1	0.9	77.76	0.04
Ваишловани-Квибисский участок												
25 (ВК)	1960	1072	949-1072	7.3	40.5	792.8	917.6	124.8	124.8	20	1728	0.16
25э (ВК)	1974	1500	731-1500	7.2	41	772.07	796.07	24	24	6	518.4	0.25
37 (ВК)	1960	1342	1059-1342	7.1	35.5	796.35	951.35	155	155	7.7	665	0.05
37э (ВК)	1975	1500	485-1500	7.0	14.5	786.03	847.03	61	61	0.05	4.32	0.001
38 (ВК)	1961	1370	965-1100	7.0	38.2	832.96	907.96	75	75	32.3	2791	0.43
38э (ВК)	1975	1500	750-1300	5.8	36	788.96	858.96	70	70	1.4	120.96	0.02
41 (ВК)	1963	1401	960-1400	5.1	29	982.03	973.13	-8.9	8.9	0.75	64.8	0.08
47 (ВК)	1962	1350	676-950	7.3	38.5	862.67	906.67	44	44	34.2	2954.88	0.78
70 (ВК)	1975	1300	800-1300	7.1	37	859.34	862.34	3	3	3.14	271.30	1.05
9 (ВК)	1958	1400.8	718-1400.8	6.8	23	781.63	913.63	132	132	0.15	13	0.001
Ликанский участок												
2 (Ликани)	1956	1161	1158-1161	6.0	38.5	914.2	1018	103.8	103.8	6.7	579	0.06

На Центральном участке Боржомского месторождения наибольшими первоначальными дебитами обладали скважины глубиной до 195 м (1, 37а, 41а), расположенные в осевой полосе Боржомской антиклинали, на участках естественной разгрузки боржомской воды. Дебит воды на самоизливе составлял 13.6-18.5 л/с, температура - 22-36°C, максимальный напор над устьем при закрытой скважине - 60 м. Наиболее высокие удельные дебиты получены в скважинах 1, 37а, 128, 41р, наиболее низкие в скважине № 103. Остальные скважины имеют средние по величине показатели.

В пределах Вашловани-Квибисского участка большие первоначальные дебиты (3.1-34.2 л/с) наблюдались как в осевой полосе Квибисской антиклинали (скв. 25, 25э, 37, 47), так и на ее крыльях (скв. 38 и 70). Значительно более низкими показателями дебита (0.15 - 1.4 л/с) характеризуются скважины на флангах участка (9, 38э, 41 и 67). Анализируя изменение удельных дебитов по площади их можно разделить на три группы: 1) высокие от десятых долей до 1.05 л/с·м (скв. 25, 25э, 38, 47, 70); 2) средние – сотые доли л/с·м (скв. 37, 38э, 41); 3) низкие – тысячные доли л/с·м (скв. 37э и 9). Обращает внимание незначительный дебит и удельный дебит воды (0.05 л/с и 0.001 л/с·м) по скв. № 37э в осевой полосе Баратхевской синклинали, расположенной в 50 м ниже, чем скважина 37. Это можно объяснить тем, что скв. 37э находится в зоне сжатия, а скв. 37 в зоне растяжения пород Квибисского разлома. Температура воды высокодебитных скважин составляет 35.5 - 41.0°C, низкодебитных - 14.5 - 29.0°C.

На Ликанском участке месторождения первоначальные дебиты боржомской воды при самоизливе скважин 2, 26 и 54 составляли 2-8 л/сек, температура - 38-40°C при снижении напора около 100 м (скв. 2). Самоизлив воды в скважинах обусловлен естественным термогазлифтом, т.к. в настоящее время уровень в пласте находится ниже устья скважины.

Следует отметить, что удельные дебиты скважин, опробованных экспресс-откачками в процессе проведенных в 2015-2016 г.г. работ по большинству скважин оказались достаточно близкими с данными первоначального опробования. Поэтому ранее сделанный вывод (1982 г.) о снижении удельных дебитов во времени, что можно было объяснить уменьшением раскрытия трещин или их кольтматаций, не подтвердился и оказался ошибочным. Это было связано с тем, что расчеты удельного дебита проводились с учетом суммарного снижения напоров за весь период эксплуатации, а не реальной величины понижения уровня при опробовании.

Большой интерес представляет анализ соотношения напоров над устьем скважин после вскрытия пласта при бурении и их абсолютных отметок. Поскольку высота напора очень сильно зависит от рельефа, абсолютные отметки пьезометрических уровней дают

более реальную картину их изменения по площади и в разрезе. Поэтому характер их изменения по площади и во времени более наглядно иллюстрируется пьезометрическими профилями по линиям гидрогеологических разрезов (рис. 2.4). Первоначальные абсолютные отметки уровней и высота напора над устьем после бурения, а также положение напоров в разные периоды эксплуатации Боржомского месторождения, приведены в табл. 2.2.

На Центральном участке наиболее высокая первоначальная отметка напора 860.9 м зафиксирована в скв. 1 (Боржом-Ликани), пробуренной в 1936 г., глубиной 270 м. Она превышала отметку уровня источника № 1 более чем на 50 м. Высота напора над устьем скв. 41а глубиной 130 м, пробуренной в 1954 г. в долине р. Куры, составляла 60 м, а скв. 1 (Папа), пробуренной в 1955 г. - 48 м. В скв. 41р (дублер скв. 41а), пробуренной рядом со скв. 41а в 1969 г. отметка уровня была на 40 м ниже, т.е. за 15 лет уровень снизился на 40 м. В то же время в скв. 41э, пробуренной на тех же отметках рельефа в 1975 г. глубиной 1300 м, первоначальная отметка уровня зафиксирована на высоте 903.8 м, а высота напора над устьем 115 м, т.е. на 95 м выше, чем в скв. 41р, пробуренной 6 годами раньше. Необходимо отметить, что в скв. 41а и 41р интервал опробования соответствовал глубинам до 140 м, в то время как в скв. 41э - глубине более 500 м. Полученные данные по скв. № 41э свидетельствуют о высоких градиентах напора при восходящей фильтрации глубинной составляющей Боржомской воды, а также наличие «ловушек» газоводяной смеси не только в кровле водоносного комплекса, но и в различных более глубоких его интервалах, что подтверждается данными о возрастании напоров с глубиной при бурении скважин. Отметим при этом, что первоначальные дебиты и удельные дебиты скв. 41р и 41а были существенно выше, чем в скв. 41э, которые фиксировались на значительно большей глубине. В скв. № 131, пробуренной в 2016 г. первоначальный уровень зафиксирован на отметке 805 м, т.е. на 35 м ниже первоначального в скв. 2 на подучастке Папа.

На Вашловани-Квибисском участке первоначальные отметки пьезометрического уровня в скважинах глубиной 1072-1400 м, пробуренных в 1961-1969 г.г. достигали 930-950 м, а высота напора над устьем 100-150 м. Их следует сравнивать только с данными по скважине 41э на Центральном участке, т.е. с относительно близкими глубинами опробования. При таком сравнении разница в пьезометрических уровнях между участками составит около 50 м, а не более 100 м, если для сравнения использовать на Центральном участке скважины глубиной не более 100 м. В более поздние годы (скважина 41э пробурена в 1975 г.) пьезометрические уровни на обоих участках относительно близки.

Таблица 2.2

Сводная таблица по среднемесячным величинам уровней и водоотбора на разные моменты эксплуатации Боржомского месторождения

№ скв. (участок/ подучасток)	А.о. устья, м	Первоначаль- ные напоры		февраль 1961				декабрь 1963				август 1982				декабрь 2005				октябрь 2015				январь 2018				Δ Н началь- ный - 1961 год, м	Δ Н началь- ный - 2018 год, м	
		а.о. уров- ня, м	Год буре- ния	Нст, м	Ндин, м	а.о. уров- ня, м	Q, м³/сут	Нст, м	Ндин, м	а.о. уров- ня, м	Q, м³/сут	Нст, м	Ндин, м	а.о. уров- ня, м	Q, м³/сут	Нст, м	Ндин, м	а.о. уровня, м	Q, м³/сут	Нст, м	Ндин, м	а.о. уровня, м	Q, м³/сут							
Центральный участок																														
1 (Парк)	808.86	822.86	1958	-	1.20	810.06	47.6	-	-	-	65.9	-	5.33	814.19	43.5	-	2.5	811.36	13.4	-	3	811.86	16	-	-10.81	798.05	11.4	12.8	24.8	
13 (Парк)	813.49	-	-	-3.21	-	810.28	0	-3.59	-	809.90	0	-2.83	-	810.66	0	-4.48	-	809.01	0	-3.34	-	810.15	0	-6.55	-	806.94	0.0			
21 (Парк)	800.03	-	-	-	-	-	3.0	-	-	-	1.7	-	-	-	7.8	-	-	-	4.4	-	3	803.03	3.3	-	-3.15	796.88	5.4			
21а (Парк)	798.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	-	-	0.2	-	-	-	0.6			
59 (Боржоми-Ликани)	793.98	825.98	1966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.1	808.08	17.0	-	10.27	804.25	23.4	-	13.8	807.78	15.3	-	3.22	797.20	60.8		28.8	
102 (Боржоми-Ликани)	821.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-11.17	-	810.21	0	-17.71	-	803.67	0	-14.25	-	807.13	0	-26.70	-	794.68	0.0			
1 (Боржоми-Ликани)	858.40	860.90	1936	-49.5	-	808.90	0	-51.46	-	806.94	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52.0		
1к (Боржоми-Ликани)	871.40	-	-	-48.93	-	822.47	0	-51.19	-	820.21	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
1 (Папа)	789.54	827.54	1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
2 (Папа)	789.80	839.80	1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
41а (Папа)	789.50	849.54	1954	-	-	-	119.4	-	-	-	105	-	3.00	792.50	136.2	-	1.76	791.26	7.3	-	-	-	-	-	-	-	-			
41р (Папа)	789.54	809.54	1969	-	-	-	-	-	-	-	-	18.37	-	807.91	0	-	17.48	807.02	128.6	-	18.75	808.29	129.2	-	5.77	795.31	177.8		14.2	
131 (Папа-2)	795.02	805.02	2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	796.02	0.0		9.0	
37 (Гуджаретис)	796.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
37а (Гуджаретис)	808.80	814.80	1954	-0.48	-	808.32	0	-	-2.26	806.54	76.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.5		
4э (Гуджаретис)	801.0	808.5	1974	-	-	-	-	-	-	-	-	8.2	-	809.20	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4а (Гуджаретис)	794.22	827.22	1957	-	-	-	70.8	-	-	-	45.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
128 (Гуджаретис)	811.91	811.46	1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-3.13	-	808.78	0	-7.66	-	804.25	0	-3.9	-	808.01	0	-16.65	-	795.26	0.0		16.2	
5 (Север)	799.24	832.24	1956	-	-	-	94.4	-	-	-	63.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
103 (Север)	825.63	800.63	1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-19.27	-	806.36	0	-23.75	-	801.88	0	-20.52	-	805.11	0	-	-42.37	783.26	23.4		17.4	
101 (Север)	800.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.90	807.04	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
101а (Север)	795.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.36	795.45	10.5	5.2	-	800.29	0	8.16	-	803.25	0.0			
106 (Север)	795.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	8.23	-	803.55	0.0			
Суммарный средне- месячный водоотбор по участку (Q),				335				358				215				188				164				280						
Вацловани-Квибисский участок																														
70 (ВК)	859.34	862.34	1975	-	-	-	-	-	-	-	-	-3.36	-	855.98	0	-3.48	-	855.86	0	-2.68	-	856.66	0	-	-8.52	850.82	20.6		11.5	
37 (ВК)	796.35	951.35	1960	-	115.3	911.65	263.7	-	20.4	816.75	394.1	-	-	-	122.3	-	0.32	796.67	41.8	-	-	-	9.8	-	-18.79	777.56	29.3	39.7	173.8	
37а (ВК)	786.03	847.03	1975	-	-	-	-	-	-	-	-	32.8	-	818.83	0	21.6	-	807.63	0	5	-	791.03	0	-	-	-	-			
38 (ВК)	832.96	907.96	1961	-	-	-	-	-	48.8	881.76	157.4	-1.7	-	831.26	0	-5.4	-	827.56	0	-9.22	-	823.74	0	-	-31.56	801.40	35.3		106.6	
38а (ВК)	788.96	858.96	1975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	127.6	-	13.37	802.33	103.7	-	8	796.96	88.5	-	4.51	793.47	95.3		65.5	
25 (ВК)	792.80	917.60	1960	-	121.5	914.30	24.5	-	74.8	867.60	6.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3		
25а (ВК)	772.07	796.07	1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	155.5	-	1.25	773.32	127.6	-	5.4	777.47	112.8	-	-8.48	763.59	120.8		32.5	
67 (ВК)	800.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-25.75	-	774.30	0	-18.77	-	781.28	0	-12.56	-	787.49	0	-	-37.61	762.44	20.8			
47 (ВК)	862.67	906.67	1962	-	-	-	-	-	12.2	874.87	392.2	-21.5	-	841.17	0	-20.9	-	841.77	0	-18.37	-	844.30	0	-	-24.55	838.12	80.5		68.5	
9 (ВК)	781.63	913.63	1958	-	-	-	18.0	-	-	-	-	-0.16	-	781.47	0	-	-	-	-	-	2	783.63	1.3	-	0.3	781.93	1.0		131.7	
Q, м³/сут				306				951				405				273				212				403						
Ликанский участок																														
54 (Ликани)	912.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-2.5	909.69	82.7	-	-	-	75	-	-9.47	902.72	79.1	-	-13.07	899.12	87.3			
2(Ликани)	914.40	1018.0	1956	-	-	-	175.1	-	-	-	90.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Q, м³/сут				175				90				82.7				75				79				70						

На Ликанском участке первоначально в скважине 2 (1956 г.) отметка пьезометрического напора зафиксирована на 1018 м при высоте напора над устьем более 100 м. Эти данные свидетельствуют о подтверждении выводов о наличии барражирующего разлома между Ликанским и Центральным участками.

Аномально высокие давления по скважинам №№ 41э, 37, 38, 9 и др., скорее всего связаны с локальными ловушками газоводяной смеси, которые очень быстро срабатываются при вскрытии буровыми скважинами с аномально высоким дебитом скважин на самоизливе. В последствии темп снижения уровня существенно замедляется. Одновременно отмечается существенное снижение расходов скважин. Это хорошо видно на гидродинамических пьезометрических профилях (рис. 2.4), где первоначальное положение напора к 1982 г. снизилось на 100 и более метров.

2.2. Газохимическая характеристика

В границах Боржомского месторождения в верхнемеловом-нижнепалеоценовом водоносном комплексе буровыми скважинами вскрыты исключительно гидрокарбонатно-натриевые углекислые воды. Однако, по химическому и газовому составу боржомская вода на разных участках месторождения имеет определенные отличия.

Так на северной и северо-восточной границе Вашловани-Квибисского участка в скважинах №№ 38, 38э и 47 на глубинах свыше 950-1300 м минерализация снижается с 6-7 до 2.3-3.2 г/л. Соотношение основных макрокомпонентов остается без изменения. По скважине № 51, пробуренной на южной границе Центрального участка под толщей боржомской воды с минерализацией 5-5.5 г/л минерализация снижается до 3.5 г/л. На Ликанском участке боржомская вода с минерализацией 5.0-6.0 г/л была выявлена скважинами №№ 2, 26 и 54 до глубины 1400 м. Параметрическая скважина № 1 была перекрыта обсадными трубами 325 мм и не опробована до глубины 1693 м. Данные опробования ниже этой глубины указывают на снижение минерализации боржомской воды в интервале до 3680 м [96].

На Центральном участке общая минерализация воды по скважинам и источникам составляет 5.5-7.2 г/л. Воды старых источников №№ 1, 2 и скважин №№1 (парк), 13, 21, 37а и 41а, пробуренных на участках естественной разгрузки боржомской воды незначительно отличаются друг от друга. Общая минерализация их составляет 6.0-6.5 г/л, содержание натрия 1400-1850 мг/л, кальция 90-170 мг/л, магния 30-60 мг/л, гидрокарбоната 3500-4500 мг/л и хлорида 280-510 мг/л. Воды же глубоких скважин - №№ 4а, 5, 6, 59, 101, 102, 103, пробуренных на крыльях Боржомской антиклинали, а также неглубоких скважин №№ 1, 1к, 5 на восточной приосевой части антиклинали показали

несколько повышенную минерализацию (6.6-7.2 г/л), более высокое содержание натрия и понижение роли кальция и магния.

На Вашловани-Квибисском участке боржомская вода характеризуется самыми высокими показателями общей минерализации (до 7.3 г/л), содержания гидрокарбоната, натрия и хлорида. Здесь для нее характерно также самое низкое содержание кальция (20-65 мг/л) и магния (20-55 мг/л). В пределах самого участка наблюдается следующая закономерность: самая высокая общая минерализация (7.1-7.3 г/л) и высокое содержание натрия (2000 мг/л), гидрокарбоната (4800 мг/л) и хлорида (490 мг/л) характерны для воды, вскрытой скважинами №№ 25, 25э и 37, расположенными в центре участка, в осевой полосе погребенной Квибисской антиклинали.

Боржомская вода Ликанского участка заметно отличается от всех других сравнительно меньшей минерализацией (до 5.9 г/л), повышенным содержанием кальция (до 170 мг/л) и магния (до 130 мг/л), а также понижением роли натрия (до 1100 мг/л).

Таким образом, при одинаковом химическом составе боржомской воды в разрезе водоносного комплекса можно выделить его нижнюю часть, в которой на больших глубинах, вскрытых наиболее глубокими скважинами, отмечается снижение минерализации до 2-4 г/л по сравнению с интервалами «классического» боржоми с минерализацией 5-7 г/л. При погружении боржомского комплекса на крыльях и контакте с отложениями боржомского флиша отмечается снижение минерализации до 2-3 г/л. Встречаются также пресные воды инфильтрационного генезиса. Можно полагать, что эти факты свидетельствуют о роли ионного обмена в формировании состава и минерализации боржомской воды.

Дебит газов и их состав подчиняются определенной закономерности. На Центральном и Ликанском участках в спонтанной фазе преобладает углекислота, а на Вашловани-Квибисском участке и между Вашловани-Квибисском и Центральным участками на первое место выходит метан. В скважинах, пробуренных в осевой полосе Боржомской антиклинали, как на Центральном участке, так и на Ликанском, наблюдаются самые большие величины газового фактора (соответственно 0.7-1.6 и 2.0-2.3). Количество метана, которое в скважинах Центрального участка №№ 1(парк), 1к, 13, 41а составляет единичные проценты, быстро растет на крыльях и в скважинах № 4а и 51 достигает до 2-44 %. В скважинах центральной части Вашловани-Квибисского участка в составе спонтанных газов углекислота и метан присутствуют почти в равном количестве (соответственно 50% и 40%). Увеличение содержания метана наблюдается на крыльях Баратхевской синклинали. На южном крыле по данным скважины № 9 содержание метана достигает до 80%. Газовый фактор по скважинам Вашловани-Квибисского участка

составляет 0.2-0.7. Между Центральным и Вашловани-Квибисским участками количество метана доходит до 80 % (по скважине 105). Газовый фактор составляет 0.2. Следует отметить, что содержание метана (до 90%) в подземных водах верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса увеличивается также севернее Вашловани-Квибисского участка (скважины № 1 - Рвели, 39 - Занави).

В растворенных газах на всех участках значительно преобладает углекислота, содержание которой составляет 80-99%. Более высокими содержаниями растворенной углекислоты (500-1500 мг/л) характеризуются воды Центрального и Ликанского участков. В водах Вашловани-Квибисского участка содержание ее колеблется в пределах 250-700 мг/л.

Дегазация боржомской воды в скважинах в зависимости от температуры и состава сопутствующего газа происходит на разных глубинах. Известно, что появление в спонтанной фазе метана начинается на значительных (до 500 м и более) глубинах. Сравнительно неглубоко происходит переход в спонтанную фазу углекислоты. По данным резистивиметрии глубина появления ее в спонтанной фазе по скважинам Боржомского месторождения составляет не более 100 м [86].

Поле геотемператур, изученное по данным термогидродинамического опробования сети скважин отражает общие гидрогеологические условия объекта. Температура минеральных вод, выводимых скважинами колеблется в пределах 17-41°C. Как показывают термогидродинамические опробования, величина геотермического градиента в пределах Боржомского месторождения в зависимости от литолого-фациальных и структурно-гидрогеологических условий меняется как по площади, так и по глубине. Терригенные отложения толщи среднего палеоцена – нижнего эоцена из-за сравнительно низкой величины коэффициента теплопроводности имеют более высокие значения геотермического градиента по сравнению с карбонатными породами рассматриваемого водоносного комплекса. Геотермический градиент в породах флишевых отложений среднего палеоцена – нижнего эоцена составляет 3.2-4.9°C/100 м.

Существенное влияние на распределение геотермического градиента в карбонатных отложениях верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса оказывает циркуляция боржомской термоминеральной воды. Из-за более высоких значений теплопроводности пород и циркуляции в них боржомской воды, карбонатные отложения верхнего мела-нижнего палеоцена на погруженных участках месторождения характеризуются по сравнению с флишевыми отложениями значениями геотермического градиента (0.6-3.1°C/100 м). Наглядная картина положительных температурных аномалий наблюдается в осевой полосе Боржомской антиклинали на Центральном участке.

При проведении многочисленных исследований в XX веке в руслах рек Кура, Боржомула и Гуджаретис фиксировалась разгрузка минеральных вод, наблюдающаяся визуально. Впервые она была зафиксирована *Овчинниковым А.М.* в 1927 г. [99]. В настоящее время разгрузка минеральных вод регистрируется визуально только в русле реки Куры. На схематической гидрогеологической карте (рис. 2.1) показаны многочисленные локальные температурные и газовые аномалии в руслах рек. Эти аномалии выявлены при проведении акваториальных геофизических исследований 2015-2020 г. В 2015 году на подучастке Папа Центрального участка была установлена разгрузка минеральных вод в пойме р. Куры. В сентябре 2017 года родник был каптирован для наблюдений. В феврале 2020 г. были обнаружены на участке Вашловани-Квибиси на острове в р. Кура выходы минеральных вод, сохранившиеся несмотря на интенсивную эксплуатацию участка.

2.3. Природная модель формирования минеральных вод Боржомского месторождения и её трансформация в природно-техногенную модель под влиянием эксплуатации [9]

В районе месторождения в земной коре имеется вулканический очаг (очаги), продуцирующий в верхние горизонты фундамента и осадочный чехол восходящий поток газоводяных флюидов, одним из основных компонентов которого является CO_2 . Пути поступления газоводяных флюидов в осадочный чехол служат Казбекско-Цхинвальский и сочлененные с ним поперечные глубинные разломы, по которым заложены долина р. Куры и Гуджаретис-Боржомула, представляющие собой основные морфологические элементы на площади месторождения. Смещение этого восходящего потока флюидов с латеральным потоком подземных вод образует Боржомскую минеральную воду, локализованную преимущественно в верхнемеловом-нижнепалеоценовом водоносном комплексе, и формирует уникальное Боржомское месторождение.

Сочленение трещинно-жильных водоносных зон с трещинно-пластовой водоносной системой верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений, обусловило *гидроинжекционный тип месторождения*, формирование избыточных напоров и сложнопостроенных куполообразных скоплений минеральных вод, а также разделение месторождения на автономные Ликанский, Центральный и Вашловани-Квибисский участки, гидравлически не связанные между собой и имеющие индивидуальные пути инжекции из единого магматического очага газоводяной смеси [19].

Минеральные воды боржомского типа приурочены к трещинно-пластовому водоносному комплексу. Водовмещающие карбонатные отложения смяты в структурные антиклинальные и синклиналильные складки, чередование которых сопровождается

формированием геодинамических зон сжатия и растяжения, прорванных проводящими и экранирующими активными тектоническими нарушениями, как правило, линейного типа.

Водоносный комплекс верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений перекрыт слабопроницаемой толщей боржомского флиша. Она представлена переслаиванием глин, аргиллитов и песчаников. В зонах повышенной трещиноватости этот комплекс содержит маломинерализованные боржомские воды (2-4 г/л). Можно полагать, что на глубине до 40-50 м - это разбавленные за счет современной инфильтрации боржомские воды с минерализацией 5.5-7.5 г/л (классический Боржом).

Характер складок, углы падения их крыльев, кинематический тип и структурная позиция разрывных нарушений, их интенсивность и направленность определяют степень трещиноватости горных пород, и раскрытость трещин, слагающих основные верхнемеловой-нижнепалеоценовый (боржомский пласт) и среднепалеоценовый-нижнеэоценовый (боржомский флиш) водоносные комплексы, а также их проницаемость. С тектонической структурой связана крайне высокая неоднородность фильтрационных свойств основных водоносных комплексов, развитых в пределах Боржомского месторождения. Удельные дебиты скважин основного верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса меняются на 3 порядка, составляя десятые, сотые и тысячные доли л/с. Соответственно, изменяется величина коэффициента фильтрации (проницаемости) от сотых долей до нескольких м/сут. Их величины определяются раскрытием трещин, наличием и характером заполнителя. В керне буровых скважин отмечается большое количество трещин полностью заполненных вторичным кальцитом. На площади месторождения буровыми скважинами боржомский пласт полностью не вскрыт и его мощность определяемая по аналогии с соседними районами составляет более 1000 м.

Фильтрационные свойства водовмещающих пород в пределах месторождения определяются, главным образом, их положением в его складчатой структуре. В разрезе антиклиналей в верхней части пласта проницаемость пород максимальна на своде и уменьшается вниз по разрезу и по падению пластов. В нижней части толщи она минимальна, улучшаясь вверх по разрезу и восстанию пластов. В синклиналях, наоборот, проницаемость пород максимальна в нижней части складки, уменьшаясь вверх по разрезу и восстанию пластов (*Крапивнер Р.Б.*, 2018 [86]). Чередование зон растяжения и сжатия в синклиналях и антиклиналях в разных частях разреза обусловило практическое отсутствие гидравлической связи между участками Боржомского месторождения из-за того, что зоны повышенной и пониженной проницаемости в Боржомской, Квибисской и Ломисмтинской антиклиналях и разделяющих их Баратхевской и Рвельской синклиналях непосредственно

сочленяются между собой. Проводящие разломы, являясь нарушениями сплошности горных пород, играют роль локальных проводников, экранирующие – фильтрационных барьеров. Один и тот же разлом может быть аномально высоким проводником в продольном направлении и экранирующим фильтрационным барьером в поперечном. Ликанский, Квибисский и Занавский разломы служат гидравлическими границами между отдельными участками месторождения. Складчатая структура месторождения, определившая чередование зон сжатия и растяжения в антиклиналях и синклиналях, также обуславливает отсутствие или весьма слабую гидравлическую связь между отдельными участками. Таким образом, Центральный участок отделен от Ликанского Ликанским экранирующим разломом, а от Вашловани-Квибисского осевой частью Братхевской синклинали, что является геолого-структурным обоснованием отсутствия между ними гидравлической взаимосвязи.

В пределах каждого из водоносных участков наиболее перспективными для получения промышленных притоков боржомской минеральной воды являются сводовые части Боржомской, Квибисской и Ломисмтинской антиклиналей. Это четко подтверждается соотношением величин водопритоков, полученных из пробуренных скважин на разных участках месторождения и подтвердивших отчетливую связь их продуктивности с тектонической структурой.

Газогидрохимические гидродинамические купола напоров имеют сложную пространственную форму, обусловленную соотношением приходных и расходных статей баланса газовой смеси, проницаемостью водовмещающих пород, раскрытостью антиклинальных структур, сетью приуроченных к ним разломов и вторичных складок, экранирующими свойствами отложений, перекрывающих верхнемеловой-нижнепалеоценовый комплекс, и его внутренней неоднородностью. Они сформировались в течение длительного геологического времени, хотя безусловно являются гидродинамически весьма подвижными, а их границы носят условный характер.

Как уже отмечалось в разделе 1.2.2, газохимический состав боржомской минеральной воды формируется непосредственно в верхнемеловом-нижнепалеоценовом водоносном комплексе при смещении латерального потока метеогенных вод, получающих инфильтрационное питание высоко в горах, и глубинного обогащенного CO_2 газовой смеси флюида магматического генезиса находящегося в сверхкритическом состоянии, содержащего различные микрокомпоненты за счет катионного обмена с морским поглощенным комплексом водовмещающих пород (Абрамовым В.Ю. и Боровским Б.В. [86]). В совокупности эти процессы определяют гидрокарбонатно-натриевый состав, величину минерализации и газовый фактор боржомской минеральной воды.

Разгрузка боржомской минеральной воды в естественных условиях осуществлялась минеральными источниками в парке на Центральном участке, наблюдаемыми визуально участками восходящей разгрузки в руслах р.р. Кура, Боржомула и Гуджаретис. Эта разгрузка на Центральном участке оценивалась различными исследователями от 500 м³/сут (*Овчинников А.М.*, 1936) [99] до 800 м³/сут (*Гаглов Г.М.*, 1962) [91]. Можно полагать, что существенную роль имела «скрытая» разгрузка в поймах рек и других элементах рельефа с избыточными напорами над поверхностью земли (пластовое высачивание, испарение и др.). По результатам математического моделирования, выполнено автором совместно с *Ершовым Г.Е.*, разгрузка минеральных вод составила 450 м³/сут [86].

Естественное природное состояние куполов минеральных вод месторождения было существенно изменено в процессе многолетнего неуправляемого самоизлива при бурении скважин и последующей интенсивной эксплуатации. Очевидными свидетельствами таких изменений было быстрое снижение напоров подземных вод, отмеченных при вскрытии пласта, и расходов самоизливающихся скважин вплоть до прекращения самоизлива, исчезновения источников в парке, сокращения участков восходящей разгрузки. Однако, несмотря на интенсивную эксплуатацию месторождения в течение 90 лет, разгрузка в речную сеть продолжается и в настоящее время, сохранились газовые и температурные аномалии различного характера (рис. 2.1), что свидетельствует об отсутствии истощения запасов месторождения. Предельная величина отбора подземных вод может достигать суммарной величины перехвата естественной разгрузки.

Имеющийся фактический материал позволяет предполагать, что поступающая из магматических очагов газоводяная смесь расходовалась в естественных условиях различными путями разгрузки не полностью. Частично ее накопление происходило в локальных экранированных ловушках, о чем свидетельствуют аномально высокие напоры, газовый фактор и начальные дебиты скважин при вскрытии ими наиболее продуктивных интервалов разреза боржомского пласта. В сложнопостроенных экранированных куполах в течение длительного геологического времени медленно накапливались упругие запасы газоводяной смеси, быстро израсходованной при вскрытии этих куполов буровыми скважинами. На достаточно быстрое снижение расходов самоизлива из скважин, избыточных напоров и газового фактора обращали внимание многие исследователи, начиная с 30-х годов XX века [99], и особенно в период интенсивного ведения буровых работ [91]. Основные предполагаемые факторы, определяющие медленное накопление и быстрое расходование газоводяной смеси сводятся к следующему. Первоначальные напоры при прекращении самоизлива из

скважин или резком снижении водоотбора никогда не восстанавливались до первоначальных или близких к ним величин. Хорошей иллюстрацией такого характера восстановления является соотношение абсолютных отметок уровней в скважинах на Центральном участке до и после форсированного водоотбора в 2016 - 2017 г.г.

В связи с интенсивным снижением напоров и расходов скважин при самоизливе, особенно интенсивном при вскрытии скважинами интервалов разреза с аномально высокими газовым фактором, напорами и расходами, многие исследователи делали вывод об истощении накопленных естественных запасов минеральных вод Боржомского месторождения, что приводило к постоянному снижению оцененных запасов минеральных вод. Сторонники гипотезы истощения придерживались в основном теории седиментационного формирования боржомских минеральных вод или, во всяком случае, их важной определяющей роли в величине запасов Боржомского месторождения. Однако это опасение разделяли не все специалисты. В частности этот вопрос был рассмотрен в отчете *Гаглыева Г.М.* (1962 г.) [91]. Авторы указанного отчета делают следующий весьма важный вывод: "При вскрытии артезианских вод и снятии напора путем выпуска воды с течением времени образуется депрессия пьезометрической поверхности. Размеры депрессии постепенно возрастают в зависимости от времени, а затем при установившемся движении стабилизируются. В этот начальный период скважина дает воду за счет упругих запасов. На сработку упругих запасов может потребоваться длительное время, в продолжении которого дебит непрерывно должен падать". Этот вывод, сделанный в 1962 г. [91], подтвердился на современном этапе работ 2015-2020 гг. при всестороннем анализе многолетнего периода эксплуатации. Можно только отметить, что при поддержании стабильного дебита при насосной эксплуатации или регулировании величины самоизлива снижение расхода сменяется снижением напора, а затем достижением равенства притока и оттока. Постепенно наступает стабилизация при достижении равенства приходных и расходных статей баланса (*Боревский Б.В., Еришов Г.Е.*, 2018) [86].

Модель формирования автономных куполов Боржомской минеральной воды может происходить по следующей схеме. В экранирующую ловушку происходит приток газоводяной смеси, превышающий ее расходование. Это различие имеет небольшую величину, но накопление газоводяной смеси происходит в течение весьма длительного геологического времени. При вскрытии газоводяной ловушки с аномально высокими напорами скважина изливается с очень большим расходом, вода характеризуется высоким газовым фактором. Поэтому накопленный за длительный период избыточный объем газоводяной смеси расходуется за несколько лет или даже несколько месяцев. После этого устанавливается или должно установиться новое равновесие притока и расходования

минеральной воды в скважине или на участке в целом, но при значительно более низких избыточных напорах. Время достижения такого равновесия может достигать многих лет и водоотбор в этот период будет происходить при неустановившемся режиме. При крайне низких коэффициентах фильтрации и пьезопроводности процесс формирования воронки депрессии происходит крайне медленно. Непрерывное изменение величины водоотбора в ретроспективный период эксплуатации обуславливало преимущественно нестационарный режим фильтрации и затрудняло достижение стабилизации режима минеральных вод.

Эта гипотеза полностью подтвердилась при бурении скважины 131 на подучастке Папа Центрального участка [86, 87]. В 1955 г. на этом подучастке были пробурены скважины 1 и 2, через которые были сброшен упругий объем газоводяной смеси при снятии начального избыточного напора, составлявшем 60 м, и расходе более 1000 м³/сут. При бурении скважины 131 в 2015 г. отмечалось бурное выделение газа CO₂. После сброса в течение 14 суток среднего расхода около 350 м³/сут избыточный напор составил всего 10 м. При этом при вскрытии наиболее раздробленного интервала пород расход самоизлива в течение нескольких часов достигал 1360 м³/сут при бурном выделении CO₂. В дальнейшем при отборе из скважины 131 – 100 м³/сут наблюдался резко выраженный неустановившийся режим. Приведенные данные позволяют сделать вывод о том, что за 60 лет простоя скважин на подучастке накопился неизрасходованный избыток газоводяной смеси в значительно меньшем объеме, чем до бурения скважины 1. Замеренный напор оказался не менее, чем в 10 раз ниже, т.е. накопление газоводяной смеси до бурения скважины 1 продолжался не менее, чем 1000 лет. Большая величина газового фактора также отмечалась *Гагловым Г.М.* при бурении скважин в зонах аномально высоких напоров в 50-60 годах XX века [91]. Таким образом, после сброса газоводяного купола с низкой плотностью за счет высокого газового фактора для стабилизации режима уровней и расходов при максимально допустимом водоотборе должно быть достигнуто новое равновесие при большей глубине и размерах воронки депрессии. В период опытно-промышленной эксплуатации 2015-2020 г.г. такой максимально допустимый водоотбор и соответствующее ему равновесие достигнуто не было, о чем свидетельствует сохранившаяся разгрузка в русле р. Куры, наличие в её пойме минеральных источников. Поэтому можно полагать, что резервы повышения водоотбора пока не исчерпаны.

Введение прогнозной функции в состав комплексного мониторинга Боржомского месторождения потребовало расширение необходимого набора исходной информации. Всесторонний анализ исходной информации за всю историю эксплуатации позволил показать трансформацию природной модели формирования Боржомского месторождения в природно-техногенную модель под влиянием эксплуатации.

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА БОРЖОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЕКИСЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

В главах 3 и 4 рассмотрена комплексная система мониторинга Боржомского месторождения, включающая проведение наблюдений, документацию, обработку полученной информации, а также оперативное и долгосрочное прогнозирование. Перечисленные элементы легли в основу созданной интегрированной информационной аналитической системы управления эксплуатацией Боржомского месторождения. Разработанная комплексная система мониторинга, дополненная специальными гидрогеологическими исследованиями, обеспечила увеличение объёма, состава и достоверности исходной информации для разработки природной гидрогеологической и численной геофильтрационной моделей месторождения, выполнения краткосрочных и долгосрочных прогнозов изменения состояния месторождения, обоснования прироста запасов, оптимизации схемы и режима эксплуатации.

3.1. Методика комплексного мониторинга

Комплексный мониторинг месторождений минеральных подземных вод - это система наблюдений и сбора информации, оценки и прогнозирования пространственно-временных изменений состояния месторождения под воздействием антропогенных и природных факторов. Целью комплексного мониторинга месторождений минеральных подземных вод является информационное обеспечение процессов управления эксплуатацией подземных вод, их охраны от загрязнения и истощения, предотвращения негативных последствий влияния водоотбора на окружающую среду, а также контроль за соблюдением требований, установленных при предоставлении недр для добычи подземных вод (требований лицензионных условий) при сохранении их газохимического состава в пределах установленных кондиций.

Для реализации указанной цели в системе мониторинга месторождений подземных вод осуществляется решение следующих основных задач:

- оценка состояния месторождения подземных вод, включая зону существенного влияния его эксплуатации, а также связанных с ним других компонентов окружающей природной среды;
- составление краткосрочных и долгосрочных прогнозов изменения состояния месторождения;

- разработка рекомендаций по рационализации эксплуатации подземных вод и предотвращению или ослаблению негативных последствий отбора подземных вод, а также техногенного воздействия на подземные воды;

- выдача информации о состоянии месторождения подземных вод и взаимосвязанных с ним компонентов окружающей природной среды;

- контроль и оценка эффективности мероприятий по рациональному использованию подземных вод и их охране от загрязнения и истощения [82].

Система мониторинга месторождений подземных вод включает в себя две взаимосвязанные подсистемы: а) подсистему проведения наблюдений и их документации; б) подсистему обработки информации и прогнозирования [82].

Подсистема проведения наблюдений и их документации

Объекты наблюдений. На месторождениях минеральных вод стандартными объектами наблюдений являются:

- эксплуатируемый (эксплуатируемые), и все вышележащие, включая первый от поверхности водоносный горизонты;

- естественная разгрузка минеральных вод – источники (каптированные и некаптированные);

- эксплуатационные и наблюдательные скважины;

- зоны санитарной охраны;

- поверхностные водотоки и водоемы.

Крупные месторождения углекислых минеральных вод (Боржомское, Кисловодское, Ессентукское) за редким исключением отличаются сложными гидрогеологическими условиями и большими глубинами залегания продуктивного водоносного горизонта, в связи с чем, бурение наблюдательных скважин резко ограничено с экономических позиций [8].

На Боржомском месторождении корректировка состава и числа объектов наблюдений происходила в периоды основных этапов геологоразведочных и оценочных работ (табл. 3.1, рис. 3.1). До 1927 года эпизодические наблюдения велись за двумя каптажами минеральных вод верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса в Парке на Центральном участке. С 1929 года к каптажам добавились первые скважины на продуктивный водоносный комплекс и метеостанция. Систематические наблюдения за режимом эксплуатации Боржомского месторождения углекислых минеральных вод ведутся с 1932 г. В 1958 г. в состав объектов наблюдений вошли скважины верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса Вашловани-Квибисского и Ликанского участков. В это же время на Центральном участке в связи со

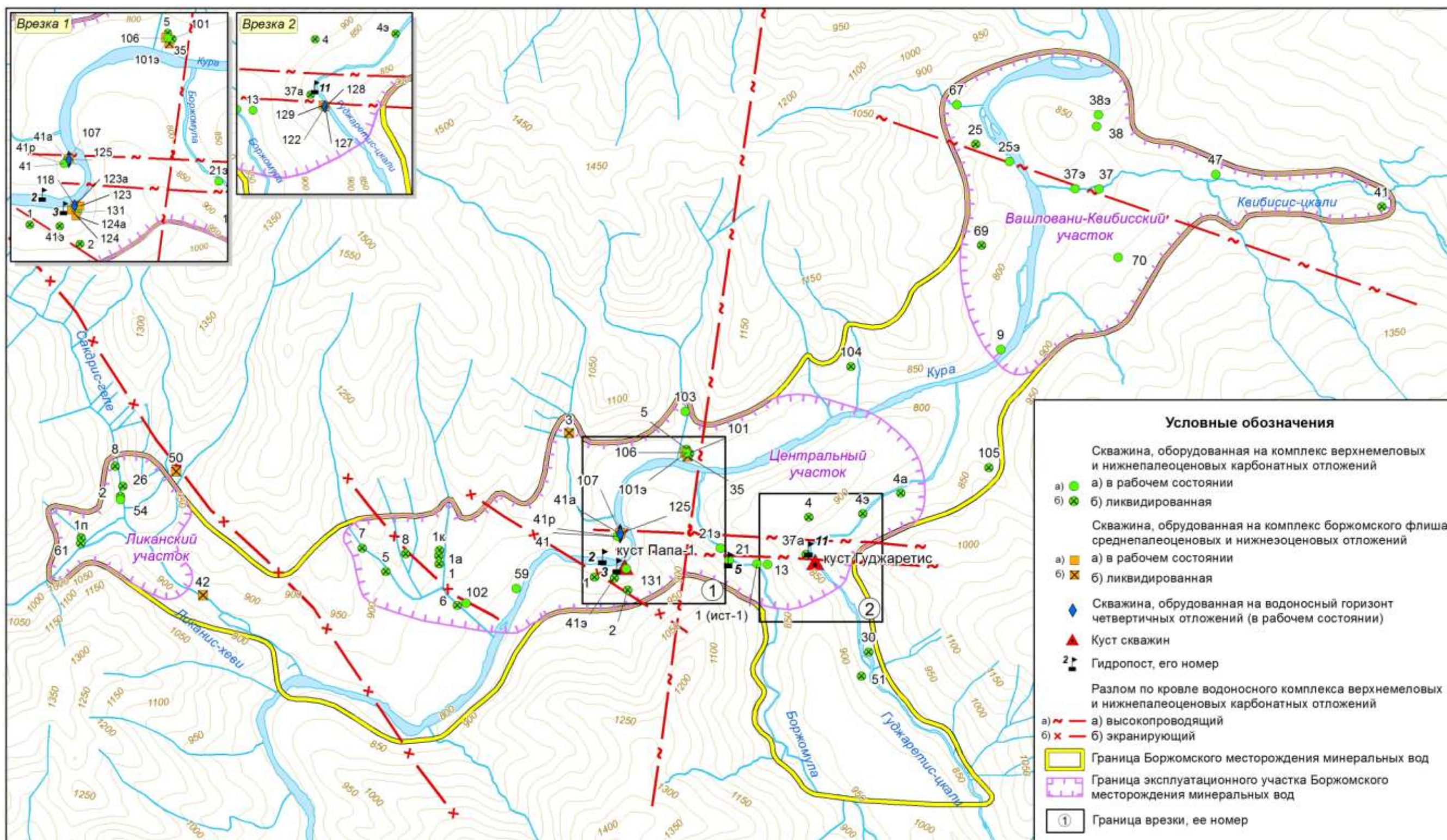


Рис. 3.1. Схема расположения скважин Боржомского месторождения

Таблица 3.1

Объекты наблюдений на Боржомском месторождении

Временной интервал	Центральный участок	Вашловани-Квибисский участок	Ликанский участок	Дополнительно
До 1928 г.	каптажи $K_2t_2-P_1^1$	-	-	-
1929-1957 гг.	каптажи $K_2t_2-P_1^1$ скважины $K_2t_2-P_1^1$	-	-	метеостанция
1958-2012 гг.	скважины $K_2t_2-P_1^1$	скважины $K_2t_2-P_1^1$	скважина $K_2t_2-P_1^1$	метеостанция
2013-2020 гг.	скважины $K_2t_2-P_1^1$ скважины $P_1^2-P_2^1$ скважины Q	скважины $K_2t_2-P_1^1$	скважина $K_2t_2-P_1^1$	метеостанция гидропосты на реках каптаж разгрузки минеральных вод $K_2t_2-P_1^1$

снижением уровней воды прекратился излив каптажей и в объектах наблюдений остались только скважины. Необходимо отметить, что на Боржомском месторождении бурились только эксплуатационные скважины. Однако, если после завершения буровых работ уровень в скважине устанавливался ниже поверхности земли, то скважина переводилась в наблюдательные. До исследований на современном этапе действовало исторически сложившееся ограничение по эксплуатации скважин только самоизливом. Эксплуатационные скважины выводились из работы при снижении уровня ниже поверхности земли, в большинстве случаев производилась их ликвидация. Сразу после бурения ликвидации подвергались скважины, которые не дали боржомскую воду.

В начале 2010-х годов в связи с проведением работ по получению маломинерализованной воды боржомского типа на Центральном участке были пробурены скважины в отложениях среднего палеоцена - нижнего эоцена. Однако, систематические наблюдения в этих скважинах начали вестись с 2014-2015 года. Также с 2015 года в объекты наблюдений на Центральном участке были введены пробуренные в разное время скважины четвертичного водоносного горизонта. На реках Кура, Боржомула, Гуджаретис для наблюдений за изменениями уровней поверхностных вод были организованы гидропосты. В сентябре 2017 года разгрузка минеральных вод в пойме р. Куры была каптирована для наблюдений. Таким образом, на современном этапе исследований на Центральном участке было оборудовано три ярусных куста для одновременных наблюдений за состоянием поверхностных вод, каптажом минеральных вод в пойме реки, четвертичным водоносным горизонтом, водоносными комплексами боржомского флиша и верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений.

Наблюдаемые показатели. Основными наблюдаемыми показателями для крупных месторождений минеральных вод являются: 1) водоотбор (суммарный дебит месторождения (участка, горизонта (горизонтов)), дебит отдельных скважин (источников, каптажей); 2) динамический или статический уровень (избыточное давление) в скважинах,

оборудованных на эксплуатируемый (эксплуатируемые) и смежные с ними водоносные горизонты, уровень поверхностных вод; 3) температура, химический и газовый состав минеральных вод; 4) расход спонтанного газа (газовый фактор). Все вышеперечисленные показатели с различной частотой фиксируются на Боржомском месторождении углекислых минеральных вод с 1932 года. Однако, с усовершенствованием технических средств измерений изменилась методика выполнения замеров. На современном этапе исследований репрезентативность режимных наблюдений удалось повысить за счёт ввода в работу системы автоматизированного измерения и регистрации показателей гидродинамического и температурного режима эксплуатации (*Ракунов А.Б.*) [12]. В ходе проведения скважинных геофизических исследований была показана необходимость проведения регулярной оценки технического состояния наблюдательных пунктов для возможности отбраковки некондиционных данных режимных наблюдений.

Водоотбор. Исторически дебит каптажей минеральных вод и эксплуатационных скважин измерялся объемным методом, с продолжительностью времени наполнения измерительных ёмкостей не менее 60 секунд. По-видимому, с 1932 по 1957 гг. замеры выполнялись ежемесячно, с 1958 по 2004 гг. 3 раза в месяц, с 2005 по 2010 гг. ежедневно за исключением выходных дней.

Сведения об учтенных расходах подземных вод являются достаточно достоверными и практически не содержат пробелов. Исключением являются периоды неконтролируемых значительных самоизливов, которые имели место при бурении скважин. Это позволяет предположить, что в периоды интенсивных буровых работ суммарный водоотбор на месторождении был существенно выше, чем зафиксированный объем добычи. Важно также, что в результате дефектов технического состояния ряда скважин происходили неконтролируемые утечки из их стволов, с последующей ликвидацией таких скважин. Таким образом, следует иметь в виду, что при анализе режима эксплуатации автор оперирует только величиной учтенного водоотбора, которая в периоды интенсивного бурения скважин достаточно условна. В целом величина отбора в эти периоды (1930-е годы, конец 1950-х – начало 1960-х, середина 1970-х) существенно занижена.

В начале 2010-х годов эксплуатационные скважины были оборудованы водомерными счётчиками. Суточный дебит скважины высчитывался по разнице показаний водосчётчика. Несколько раз в месяц проводился контроль объёмным методом по времени наполнения измерительной ёмкости.

На современном этапе исследований с 2015 года на все эксплуатационные скважины верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса были

установлены водомерные счетчики СКБ (СКБИ), подключенные к системе автоматической регистрации данных (рис. 3.2, 3.3). Программируемый блок автоматической регистрации и накопления данных АСМ-ВЗУ-1 постоянно выводит на экран в режиме текущего времени дебит скважины в м³/сут с точностью до десятых. В соответствии с настраиваемой программой блок хранит результаты замеров дебита с заданной частотой. Для регистрации показаний запрограммированная частота замеров – один раз в час. При еженедельных обходах ведётся контроль работы автоматизированной системы учета дебита, а также производится копирование накопленных данных. Замеры дебита объемным способом показывают высокую сходимость с автоматическими замерами. При анализе накопленных материалов производится автоматическая отбраковка программных ошибок, а также пересчёт на среднесуточные и среднемесячные значения.

Учёт водоотбора по эксплуатационным скважинам, оборудованным на водоносный комплекс боржомского флиша, ведётся по недельной разнице между показаниями водосчетчиков. Несколько раз в месяц проводится контроль объёмным методом по времени наполнения измерительной ёмкости.

Динамический или статический уровень в скважинах (избыточное давление). С 1940 по 1977 гг. мы располагаем ежемесячными, с 1978 по 2004 гг. – декадными, с 2005 г. по настоящее время ежедневными данными по уровням (напорам) верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса.

До бурения самоизливающихся скважин при проведении геологоразведочных работ в середине 1950-х годов инструментальные данные по избыточным напорам подземных вод практически отсутствовали. Далее напоры воды на закрытых скважинах, а также на скважинах, работающих с ограниченным самоизливом, замерялись образцовыми манометрами. В целом ретроспективную информацию по напорам следует признать приближенной вследствие использования манометров с низкой чувствительностью, образования газовых шапок в закрытых скважинах, невозможности учета явлений термогазлифта. Вследствие этого она не в полной мере достаточна для детальной характеристики их динамики за весь период эксплуатации месторождения.

Более достоверные материалы получены в тех случаях, когда уровни устанавливаются ниже поверхности земли. Исторически замеры уровней выполнялись хлопущками, а с первой половины 2000-х – уровнемерами. Первые скважины с отрицательным уровнем были пробурены на рубеже 1930-40 годов в с. Ликани и на р. Гуджаретис, к первой половине 1980-х на месторождении 7 наблюдательных скважин с уровнем ниже поверхности земли. Наиболее представительными являются данные,

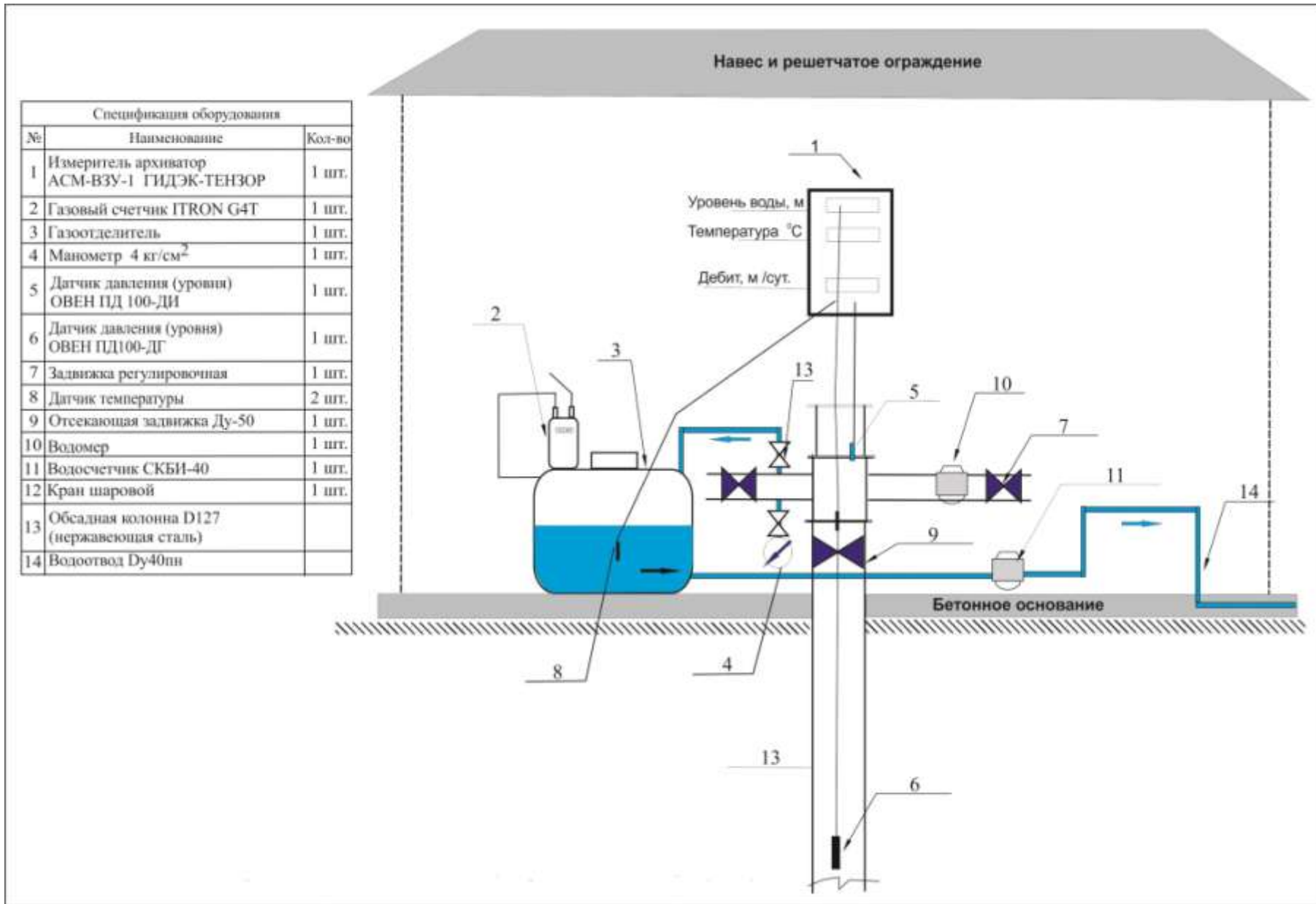


Рис. 3.2. Принципиальная схема оборудования самоизливающихся скважин на современном этапе исследований

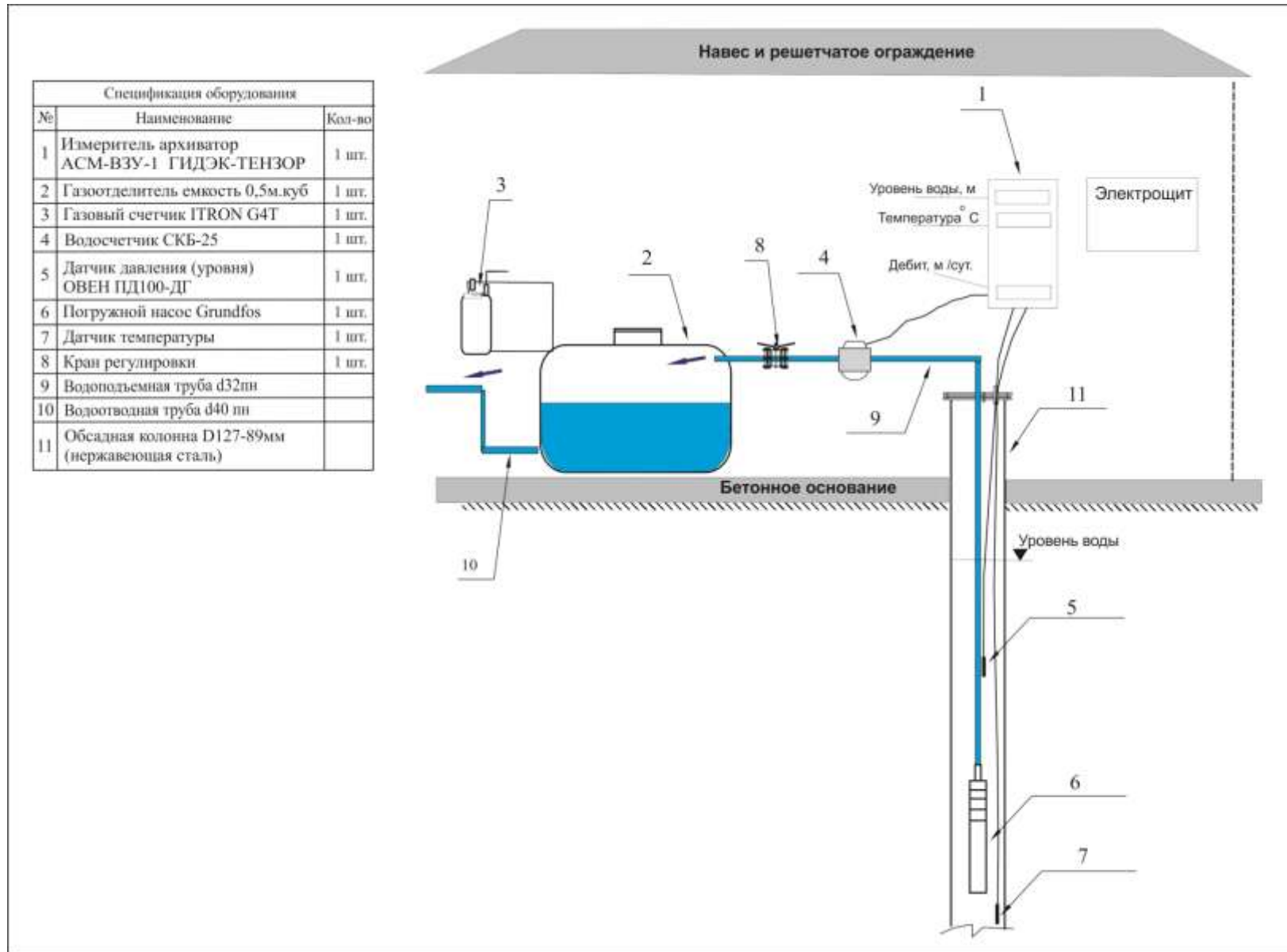


Рис. 3.3. Принципиальная схема оборудования скважин, эксплуатирующихся насосным оборудованием, на современном этапе исследований

полученные после перехода на насосный режим водоотбора при проведении опытно-эксплуатационного мониторинга в 2016-2020 гг.

С 2015 года на современном этапе исследований во все эксплуатационные и наблюдательные скважины верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса была установлена автоматическая система регистрации уровней (напоров). На самоизливающие скважины монтировались устьевые датчики давления (уровня) марки «Овен» ПД-100-ДИ, подключаемые к системе автоматической регистрации данных (рис. 3.2). На нескольких самоизливающих скважинах одновременно с устьевыми датчиками давления (уровня) были установлены глубинные датчики давления ниже зоны разделения фаз, фиксирующие истинную величину напора в водоносном пласте, марки «Овен» ПД-100-ДГ, подключенные к автоматической системе регистрации данных (рис. 3.2).

При организации мониторинга на самоизливающих скважинах углекислых минеральных вод необходимо фиксировать устьевое и пластовое давление. Они могут существенно различаться и меняться в зависимости от расхода и температуры воды. Широко известен эффект повышения (а не понижения) давления при увеличении расхода самоизлива и соответствующего ему повышению температуры. Датчики пластового давления или пьезометрические трубки следует устанавливать ниже зоны разделения фаз. Глубина зоны разделения фаз может приближенно быть рассчитана по формуле Дальтона (подробнее в разделе 1.2), а также установлена экспериментально по данным резистивиметрии и при спуске измерительных устройств, когда уровень в пьезометрической трубке перестанет снижаться или когда увеличение давления, фиксируемого датчиком, будет соответствовать только увеличению глубины погружения. Этот эффект связан исключительно с облегчением объемного веса столба газовой смеси над глубиной разделения фаз за счет уменьшения растворимости углекислоты и её выделения в свободную фазу.

При измерениях устьевое и пластовое давления могут наблюдаться следующие ситуации:

- давление одинаковое – устьевое давление выше давления разделения фаз при фиксируемой температуре и суммарном содержании спонтанной и растворенной углекислоты;
- давления начинают расходиться, но давление фиксируемое глубинным датчиком остается выше уровня самоизлива;
- давления расходятся и показания глубинного датчика ниже уровня самоизлива – режим газлифта;

➤ устьевое давление падает ниже уровня излива – газлифт невозможен, требуется переход на эксплуатацию насосом.

Все эти позиции фиксировались при ведении мониторинга на скважине 131 на современном этапе эксплуатации [12, 60].

При снижении уровней ниже поверхности земли скважины верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса переводились на насосную эксплуатацию. В эксплуатационные и наблюдательные скважины с уровнем ниже поверхности земли монтировались датчики давления (уровня) марки «Овен» ПД-100-ДГ, подключаемые к системе автоматической регистрации данных (рис. 3.3).

Программируемый блок автоматической регистрации и накопления данных АСМ-ВЗУ-1 постоянно выводит на экран в режиме текущего времени уровень воды в скважине в метрах, отсчитанных от точки замера (оголовок, поверхность земли, бетонное основание). Абсолютная отметка точки замера каждой скважины была определена в ходе высотной привязки. В соответствии с настраиваемой программой блок хранит результаты замеров уровня с заданной частотой. Для ведения режимных наблюдений запрограммированная частота замеров - один раз в час. При проведении еженедельных контрольных замеров уровней электроуровнемером или образцовым манометром корректируется настройка автоматических датчиков уровня, что позволяет повысить точность измерений до нескольких сантиметров. Еженедельно производится копирование накопленных данных, автоматическая отбраковка программных ошибок, пересчёт на среднесуточные значения, а также пересчёт уровней из глубин (напоров) на абсолютные отметки.

Аналогичные датчики давления (уровня) марки «Овен» ПД-100-ДГ в 2015 году были установлены на эксплуатационные и наблюдательные скважины комплекса боржомского флиша, а также в наблюдательные скважины четвертичного горизонта.

С 2015 года еженедельно выполняются замеры уровней рек Кура, Боржомула, Гуджаретис. Для каждой из рек было выбрано по одной точке замера и выполнена высотная привязка этой точки. Замеры осуществляются уровнемером, определяется расстояние от точки замера до уровня воды в реке. Полученная величина пересчитывается в абсолютные отметки. В меженные периоды аналогично определяется абсолютная отметка уровня разгрузки минеральных вод в русле реки Куры.

Температура минеральных вод. Исторически температура минеральных вод измерялась на устье эксплуатационных скважин родниковыми ртутными термометрами с ценой деления 0.5 градуса С, а с первой половины 1980-х годов – с ценой деления 0.1 градуса С. С 1940 по 1982 гг. мы располагаем ежемесячными, с 1983 по 2004 гг. –

декадными, с 2005 г. по настоящее время ежедневными данными температуры минеральных вод. Однако, по причине изменения температуры минеральных вод по стволу скважины, в эксплуатационных скважинах рекомендуется производить глубинные и устьевые замеры температуры. С этой целью в ходе проведения опытно-эксплуатационного мониторинга в 2016-2020 гг. на ряде эксплуатационных скважин на верхнемеловой-нижнепалеоценовый водоносный комплекс были установлены датчики температуры, подключенные к автоматической системе регистрации данных. В большинстве случаев датчики температуры монтировались в стволы скважин ниже насосного оборудования (рис. 3.3), а также на устье скважин. При отсутствии такой возможности монтаж датчиков осуществлялся в газоотделители (рис. 3.2) или чаши излива. Аналогично с показаниями уровня и дебита блок автоматической регистрации и накопления данных АСМ-ВЗУ-1 постоянно выводит на экран в режиме текущего времени температуру минеральных вод с точностью до 0.1 градуса С. Запрограммированная частота сохранения замеров - один раз в час. Еженедельно производится копирование накопленных данных, автоматическая отбраковка программных ошибок, пересчёт на среднесуточные значения.

Контрольные замеры температуры воды по большинству скважин показали высокую сходимость с данными автоматических датчиков. В эксплуатационных скважинах, где не установлены датчики температуры, наблюдения за температурой минеральных вод продолжают производиться на устье скважин ртутным термометром с ценой деления 0.1 градуса С в ходе еженедельных контрольных замеров.

Химический и газовый состав минеральных вод. Первые данные по химическому составу боржомской минеральной воды относятся к середине XIX века. Систематические газогидрохимические наблюдения начались на скважинах Боржомского месторождения в 30-ые годы прошлого века. В советский период в процессе режимных наблюдений 1 раз в месяц на всех самоизливающихся скважинах на устье отбирались пробы воды на сокращённый анализ, а один раз в квартал – на полный химический анализ. Кроме того, на всех эксплуатационных скважинах, на месте, один раз в неделю выполнялся краткий анализ с определением HCO_3 , Cl , CO_2 раств., Fe и H_2S . Определение растворённой углекислоты производилось объёмным методом титрованием раствора щелочи. В настоящее время мониторинг качества минеральных вод ведётся силами IDS Боржоми GEORGIA. Он заключается в ежедневном лабораторном определении микробиологических показателей, а также ежемесячном определении показателей общего химического состава. Раз в год выполняется анализ полного химического состава минеральных вод и газа.

Исторически мониторинг проводился по эксплуатационным скважинам верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса, выводящих Боржоми с минерализацией 5-7.5 г/л. Но после ввода в эксплуатацию скважин, вскрывающих среднепалеоценово-нижнеэоценовый водоносный комплекс, выводящих Боржоми минерализацией 2-5 г/л, мониторинг качества ведется и в этих эксплуатационных скважинах.

Следует учесть, что за время эксплуатации химические анализы минеральных вод проводились во многих аналитических лабораториях, при этом могли применяться различающиеся методики определения компонентов, что, зачастую, приводило к несопоставимости результатов лабораторных исследований, явно завышенных или заниженных значениях. Такие результаты, явно выпадающие из ряда значений, в процессе анализа выбраковывались.

Характерной особенностью Боржомских минеральных вод является их химический тип, где доминирующая роль принадлежит HCO_3 и Na при относительно устойчивых концентрациях хлоридов, относительно низком содержании Ca и Mg и полном отсутствии сульфатов. Поэтому анализ устойчивости химического состава минеральных вод проведён путем рассмотрения графических данных режимных наблюдений за изменением следующих приоритетных показателей состава минеральных вод: минерализация, концентрация гидрокарбонатов, хлоридов, суммы натрия и калия, растворённой углекислоты. Выбор этих показателей обусловлен тем, что они наиболее информативны при анализе изменений химического состава вод.

Расход спонтанного газа (газовый фактор).

Помимо гидродинамических и газогидрохимических показателей на месторождении в периоды проведения геологоразведочных работ проводилось определение расхода спонтанного газа (газового фактора). Наблюдения на основных эксплуатационных скважинах велись в 1959, 1967, 1982, 2006 гг. Учёт объёма спонтанного газа производился с помощью установки на эксплуатационных скважинах газоотделителей. Расход газа учитывался газовыми счётчиками после газоотделения.

В ходе проведения опытно-эксплуатационного мониторинга в 2016-2020 гг. эксплуатационные и предполагаемые к введению в эксплуатацию скважины верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса были оборудованы газоотделителями (если они отсутствовали) и газовыми счетчиками (рис. 3.2, 3.3). Еженедельные контрольные замеры включали регистрацию объема выделившегося газа и обслуживание газовых счетчиков, что позволяло продлить срок их работы до наступления периода с отрицательной температурой воздуха в течение суток (газовые счетчики

установлены на улице и при отрицательных температурах воздуха выходили из строя).

В связи трудностями круглогодичного учёта расхода спонтанного газа газовыми счётчиками с 2017 года на эксплуатационные скважины месторождения внедряется автоматическая система регистрации объёма газовой эмульсии перед газоотделением, а затем регистрация объёма минеральной воды без газа. Таким образом, два счетчика СКБ (СКБИ) подключаются к системе автоматической регистрации данных. Программируемый блок АСМ-ВЗУ-1 хранит результаты замеров дебита газовой эмульсии и минеральной воды без газа с заданной частотой. Для ведения режимных наблюдений запрограммированная частота замеров - один раз в час.

Подсистема обработки данных и прогнозирования

До первой половины 2000-х годов велись бумажные журналы режимных наблюдений Боржомского месторождения. Ежегодно выпускались информационные отчеты с обобщением данных в виде временных графиков изменения характеристик добываемых минеральных вод. Систематизация данных режимных наблюдений, а также качественный анализ режима эксплуатации месторождения с последующим прогнозом изменения его состояния, выполнялись только при оценочных работах и представлены в гидрогеологических отчетах 1962, 1968, 1982 гг. [91, 89, 94] на бумажных носителях.

Последние 15 лет для систематизации накопленных материалов, их взаимоувязанного анализа широко стали применяться информационные системы (ИС). Применительно к Боржомскому месторождению первый шаг в данном направлении был сделан в 2005 г. французской компанией "Антея" [106], специалисты которой применили программное обеспечение BADGE_GGMW и сформировали базу данных на основе информации из отчета 1982 г. [94] за период 1934-1982 г. и материалов недропользователя за период 1982-2005 г. BADGE_GGMW создана на основе Microsoft ACCESS 2000. Система включает инструменты управления и анализа технических данных и данных мониторинга, позволяет создавать отчеты, выполнять графическое и картографическое представление данных с использованием ГИС. В дальнейшем база пополнялась текущими данными эксплуатации. На основе созданной базы данных при работах по переоценке запасов в 2006 г. был осуществлён анализ режима эксплуатации месторождения с последующим прогнозом изменения его состояния [107].

Необходимо подчеркнуть, что до начала проведения современных исследований прогнозы изменения состояния Боржомского месторождения осуществлялись только при оценке запасов и базировались на различных вариациях гидравлического метода. Для количественной оценки балансовых составляющих приходных и расходных статей баланса углекислых минеральных вод Боржомского месторождения и возможности

выполнения прогнозов на разные величины водоотбора на современном этапе исследований была разработана математическая гидрогеологическая модель месторождения. Краткосрочные и долгосрочные прогнозы изменения состояния месторождения с 2017 года выполняются на базе использования комбинации гидравлического метода и математического моделирования. Сближение баз данных и систем численного моделирования привело к созданию так называемых интегрированных (комплексных) информационных аналитических систем (ИАС). Современный этап разработки информационной системы Боржомского месторождения должен был обеспечить модельно-ориентированную подготовку геолого-гидрогеологической информации на основе картографической и фактографической баз данных.

Для создания фактографической базы данных (БД) и работы с ней использовался программно-алгоритмический комплекс GeoCODE, созданный ЗАО "ГИДЭК", в состав которого входит, помимо собственно БД, управляющая программа, обеспечивающая ввод, редактирование, преобразование, анализ, представление и экспорт информации [57]. Основным типом информационного объекта базы являются пункты наблюдения (ПН), к которым относятся скважины и источники, а также метеостанция г. Боржоми. Паспортная информация о пункте наблюдения подразделяется на следующие виды: постоянная (тип объекта, местоположение и координаты, данные бурения), условно-постоянная (абсолютная отметка, приуроченность к водоносному горизонту), переменная (назначение, техническое состояние, оборудование, конструкция). К паспортной информации относятся также сведения о разрезе (литологическом составе пород), проведенных геофизических исследованиях, результатах опробований выпусками и откачками пункта наблюдений и др. Подготовленная фактографическая БД включает материалы по более чем 100 скважинам (эксплуатационным, поисково-разведочным, структурным, наблюдательным).

К каждому из пунктов наблюдений производится привязка результатов режимных наблюдений. Вводимая динамическая информация включает в себя уровни подземных вод, температуру, водоотбор, газовый фактор, результаты полных и кратких химических анализов проб воды и спонтанного газа. Для метеостанции в базу данных вводятся суммарные значения величины осадков за месяц. По имеющимся срочным значениям (на заданную дату) гидродинамических показателей были рассчитаны среднемесячные, а по среднемесячным – среднегодовые значения.

В 2015-2017 г. был осуществлен перевод в электронный формат табличных данных, приведенных в отчетах разных лет. Была выполнена проверка значений, полученных компанией "Антея" за 1934-2006 гг. Это позволило существенно дополнить и уточнить

информацию о гидродинамических и газогидрохимических показателях подземных вод. На современном этапе эксплуатации в соответствии с программой комплексного мониторинга ввод информации в базу данных осуществляется еженедельно, по мере получения исходных данных.

Основными направлениями использования фактографической БД, реализуемыми средствами комплекса GeoCODE, являются проведение операций и преобразование данных, создание выходных форм, экспорт данных в форматы численных моделей и геоинформационных систем. Полученные выходные формы - каталоги, таблицы, графики режимных наблюдений. В качестве показателей режима минеральных вод для построения графиков были приняты: отбор воды из скважин, уровень (напор), температура, минерализация, содержание CO_2 (растворенного), газовый фактор, концентрация гидрокарбонатов, хлоридов, суммы натрия и калия.

Накопленная за ретроспективный и текущий период информация, наряду с материалами о геологическом строении территории, являлась основой при разработке природной гидрогеологической модели, подготовки материалов для создания численной геофильтрационной модели и выполнения краткосрочных и долгосрочных прогнозов изменения состояния минеральных вод.

Картографическая база данных. Для создания и ведения картографической базы данных была выбрана геоинформационная система ArcGis 10. В качестве базового формата для создания картографической БД используется формат SHAPE-файлов фирмы ESRI. Формирование картографической БД произведено тремя основными способами: 1) оцифровка авторских оригиналов; 2) оцифровка ретроспективных материалов из отчетов о детальной разведке 1982 г. и 2006 г.; 3) импорт объектов и их характеристик из фактографической БД средствами программно-алгоритмического комплекса GeoCODE. Основой для создания тематических слоев специального содержания является информация по пунктам наблюдения о состоянии подземных вод, характеристиках геологической среды, внесенная в фактографическую БД.

На основе информации, внесенной в картографическую БД, составлены цифровые карты: карта фактических материалов, геологическая и гидрогеологическая карты (масштаба 1:50 000 – для территории района работ и 1:10 000 для территории Боржомского месторождения) с разрезами к ним, схематическая структурная карта по кровле карбонатов боржомульской подсвиты. На основе картографической информации проводилась подготовка модельно ориентированных карт и разрезов для создания геофильтрационной численной модели Боржомского месторождения.

Таким образом, информация, накопленная за весь период эксплуатации Боржомского месторождения, была собрана и систематизирована в фактографической и картографической базах данных. Вывод информации в виде графиков позволил выделить отдельные гидродинамические этапы эксплуатации Боржомского месторождения и произвести их детальный анализ. Разделение анализа на ретроспективный период 1927-2014 гг. и современный период 2015-2019 гг. произведено из-за принципиальных отличий в методике эксплуатации, а также в подходе к ведению мониторинга.

Необходимо отметить, что изменения режима эксплуатации скважин, сведения о которых отрывочны, создают проблемы в ретроспективном анализе происходящих процессов. Известно, что в режиме свободного самоизлива все скважины эксплуатировались до конца 1950-х годов. В дальнейшем в силу различных причин водоотбор отдельных скважин искусственно ограничивался, производился принудительный отбор воды за счет использования газлифта и насосного оборудования. На рис. 3.4 представлен сводный график режима работы скважин и источников Боржомского месторождения, оборудованных на водоносный комплекс верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений, с 1929 по 2019 гг.

3.2. Анализ результатов эксплуатации месторождения с 1927 по 2015 гг [13].

3.2.1. Центральный участок

Скважины, пройденные в процессе первых гидрогеологических разведочных работ (до 1938 г.), территориально разделяются на четыре группы, приуроченные к долине р.Куры (подучасток Папа) и ее притоков: р. Боржомула (подучасток Парк), р. Гуджаретисцкали (подучасток Гуджаретис), р. Ликани (подучасток Боржоми-Ликани). В дальнейшем к ним добавился пятый подучасток Боржоми-Север (рис. 3.1), а подучасток Папа был разделён на две части – на правом берегу р. Куры – Папа-1, на левом берегу – Папа-2.

Гидродинамический режим

Рассматривая гидродинамический режим Центрального участка (рис. 3.5), можно выделить шесть основных периодов (этапов), различающихся характером эксплуатации подземных вод и ее интенсивностью. Границы между ними не всегда ярко выражены, однако они достаточно уверенно коррелируют с основными этапами проведения геологоразведочных работ, которые сопровождались значительными объемами бурения скважин и изменением схемы эксплуатации. Пять периодов (этапов) эксплуатации являются ретроспективными и описаны в настоящем разделе, шестой современный период рассмотрен отдельно в разделе 3.3.

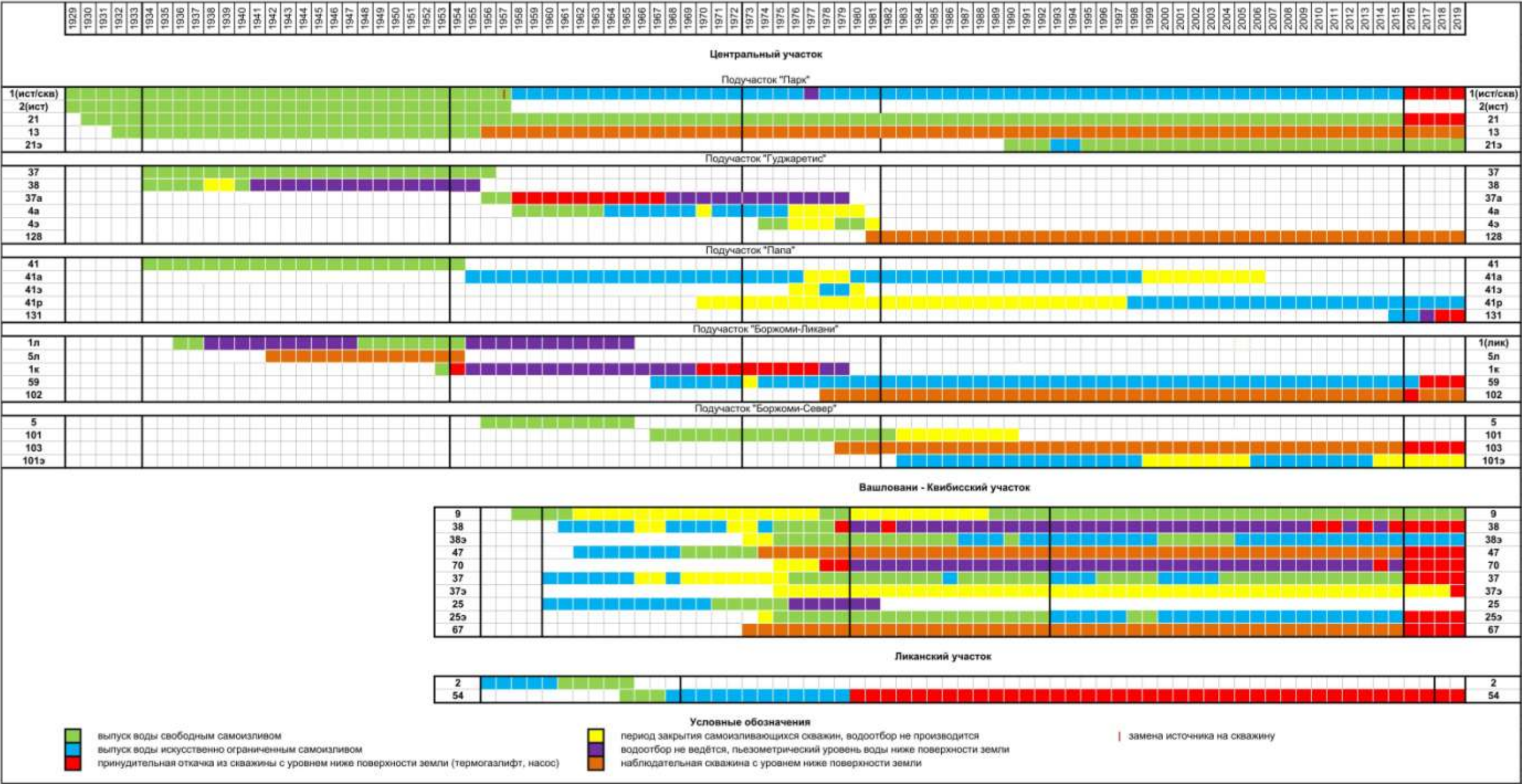


Рис. 3.4. График режима работы скважин и источников Боржомского месторождения с 1929 по 2019 гг. (верхнемеловой-нижнепалеоценовый водоносный комплекс)

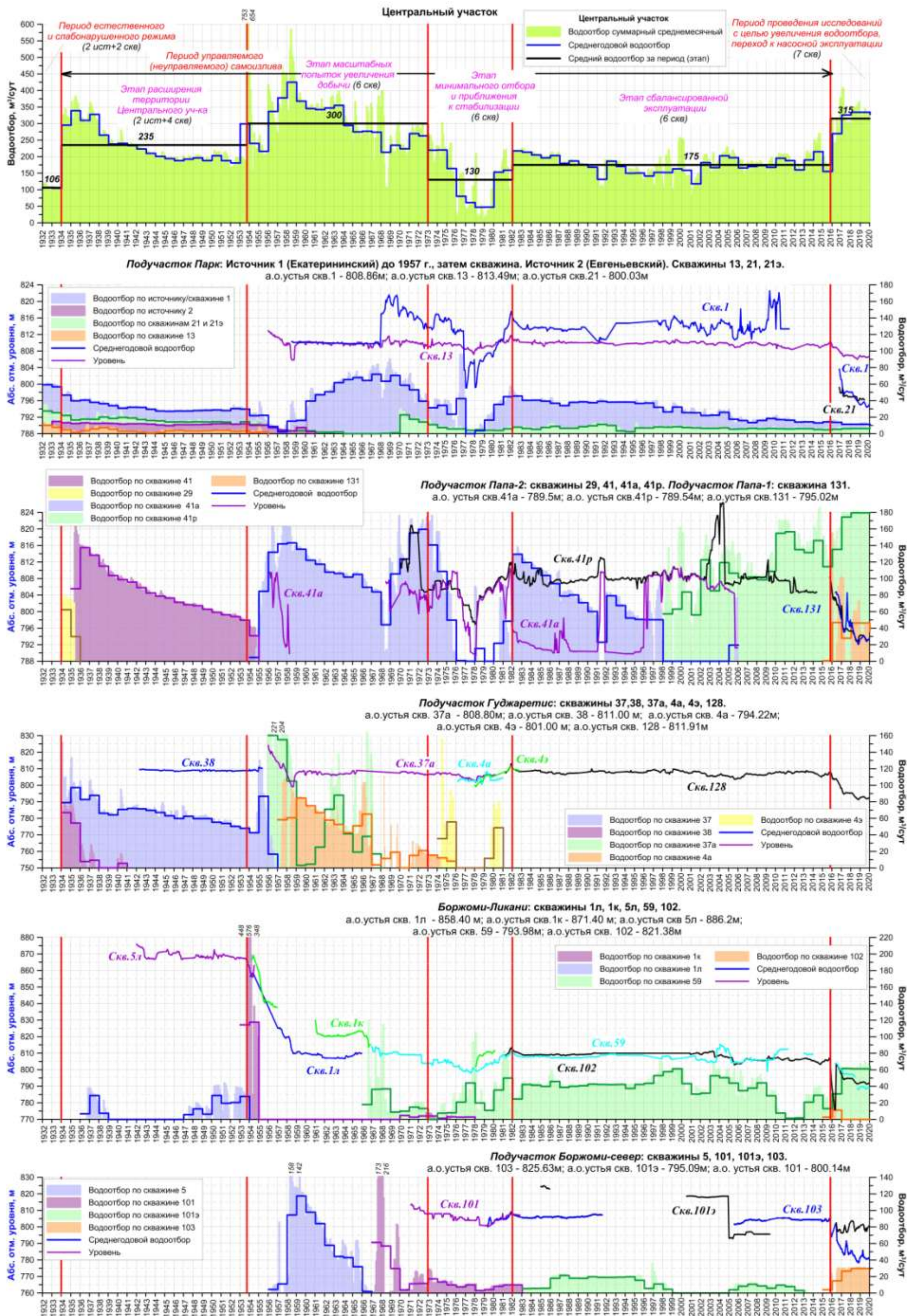


Рис. 3.5. Гидродинамический режим Центрального участка с 1932 по 2019 гг.

Период естественного и слабонарушенного режима (до 1934 г.)

В естественных условиях на Боржомском месторождении существовало два типа разгрузки углекислых минеральных вод: каптированными источниками и в речную сеть. Согласно Овчинникову А.М. [99], суммарный дебит источников составлял 90 м³/сут (источник 1 - 70 м³/сут, источник 2 – 20 м³/сут), а в долине р. Куры и ее притоков Боржомула и Гуджаретис наблюдались фиксируемые визуально очаги с расходом 500 м³/сут. Сведения, каким образом исследователь, определил эту величину в нашем распоряжении отсутствуют.

Бурение более 10 скважин в долинах р. Боржомула (подучасток Парк) и р. Гуджаретис (подучасток Гуджаретис) в период с 1929 по 1932 гг. привело к незначительному нарушению режима естественной разгрузки. Все скважины, за исключением двух - 13 и 21 в Парке, впоследствии были ликвидированы. Самоизлив воды, имевший место в процессе бурения скважин в Парке, приводил к нарушению режима источников. В мае 1929 г. самоизлив (20 м³/сут) скважины 12, расположенной на расстоянии 65 м от источника 1, вызвал резкое сокращение его дебита до 39 м³/сут. Следующее сокращение наблюдалось в январе 1930 г. во время бурения скважин 13 и 21. Однако, в эксплуатацию скважины не вводились и прекращение самоизлива быстро вызывало восстановление прежнего дебита источников. При этом самоизлив скважин на подучастке Гуджаретис в объеме 80 м³/сут вообще не отразился на дебите источников.

Введение в эксплуатацию двух самоизливающих скважин 13 и 21, глубиной до 30 м, в начале 1932 г. позволило достигнуть в Парке максимального суммарного расхода воды (схема эксплуатации "скважина-источник") в количестве 120 м³/сут. Однако, к концу 1933 г. дебит источников снизился до 70 м³/сут. Суммарный дебит в Парке составил 90 м³/сут, что соответствовало суммарному дебиту источников в естественных условиях.

Период управляемого (неуправляемого) самоизлива (1934 -2015 гг.)

Для периода управляемого (неуправляемого) самоизлива выделено четыре этапа: расширения территории Центрального участка, масштабных попыток увеличения добычи, минимального отбора и приближения к стабилизации, а также сбалансированной эксплуатации. Ниже отдельно рассмотрен каждый из перечисленных этапов.

Этап расширения территории Центрального участка (1934–1953 гг.)

На завершающей стадии разведочных работ с 1934 по 1937 гг., в эксплуатацию были введены ещё 5 самоизливающих скважин (37, 38, 29, 41, 1л). Однако, в двух скважинах (29 и 38) из пяти в первые два-три года самоизлив прекратился. Таким образом,

на участке сложилась действовавшая в течение 15 лет схема эксплуатации, состоящая из двух источников и четырёх самоизливающих скважин в долинах рек Боржомула (подучасток Парк: скв. 13 и 21), Кура (подучасток Папа-2: скв. 41), Гуджаретис (подучасток Гуджаретис: скв. 37), и периодически изливающейся скважины 1л в долине реки Ликани (подучасток Боржом-Ликани). Эти скважины оставались полностью открытыми и их дебит не ограничивался. В результате ввода в эксплуатацию ряда скважин наблюдался значительный рост общего среднегодового отбора до 340 м³/сут. Добыча воды, по-видимому, происходила за счет уменьшения разгрузки минеральных вод в речную сеть.

В 1938 г. на подучастке Боржом-Ликани в 400 м к западу от скв. 1л было закончено бурение скв. 5л. Скважина вскрыла боржомскую воду, однако, уровень изначально установился ниже поверхности земли, и скважина использовалась в качестве наблюдательной. Отсутствие излива воды из скв. 5л (абс. отметка устья 886 м) и периодический излив из скважины 1л (абс. отметка устья 858 м) связаны с их высоким гипсометрическим расположением - на десятки метров выше, чем остальные. После этого и вплоть до 1953 г. бурение скважин не производилось и велись наблюдения за режимом.

С 1938 года суммарный отбор постепенно снижался и к 1946 году достиг 190 м³/сут (прекращение работы скважин 38 и 1л, значительное уменьшение дебита скважин 37 и 41), сохраняя своё значение на этих отметках вплоть до конца периода. Под влиянием ввода новых скважин продолжалось снижение дебита источников до 40 м³/сут. Видимые зоны субквавной разгрузки минеральных вод в руслах рек Кура, Боржомула и Гуджаретис продолжали фиксироваться.

Овчинников А.М. [99] отмечал, что напор, первоначально полученный в скважинах, быстро терялся в процессе эксплуатации. С 1942 года наблюдения за уровнями, установившимися ниже поверхности земли, осуществлялись в двух скважинах в долинах рек Гуджаретис и Ликани. Уровень воды в скважине 38 неизменно фиксировался на абсолютной отметке 809 м (глубина до воды 1.5-2.5 м). Глубина до воды в скважине 5л также изменялась незначительно в пределах 10 м, абс. отметка около 870 м.

Этап масштабных попыток увеличения добычи (1954–1972 гг.)

С октября 1953 до 1958 гг. в рамках очередного цикла геологоразведочных работ началась добыча минеральных вод из новых скважин 1к (подучасток Боржом-Ликани, взамен скв. 1л), 41а (подучасток Папа-2, взамен скв. 41, дебит которой неуклонно падал), 37а (подучасток Гуджаретис, взамен скв. 37), 4а (подучасток Гуджаретис), 5 (подучасток Боржом-Север) и 1 (подучасток Парк, взамен источника). Изменения затронули способ

добычи минеральных вод: дебит скважин 41а и 1 регулировался при помощи задвижки, на скважине 1к в 1954 г. впервые осуществлялся принудительный отбор воды. Были достигнуты максимальные расходы Центрального участка за всю историю: среднемесячный $734 \text{ м}^3/\text{сут}$ в ноябре 1953 г. и среднегодовой $427 \text{ м}^3/\text{сут}$ в 1958 г. Это привело к кардинальным изменениям гидродинамического режима. На фоне общей тенденции роста суммарного отбора хорошо видны кратковременные пики, соответствующие изливу из новых скважин, которые сменяются периодами снижения расхода продолжительностью до 6 месяцев и более. Произошло значительное снижение уровней воды, о чем свидетельствует исчезновение источников в Парке, прекращение самоизлива в скв. 1к, 37а, 13. В скв. 1л уровень снизился с 855 м до 810 м. В скв. 41а первоначальный напор в 1954 г., составлявший 6 атм (абс. отметка воды 850 м), к маю 1958 г. упал до 0.

С 1959 до 1972 гг. эксплуатация на участке в основном осуществлялась шестью скважинами: 1 и 21 в Парке, 41а на подучастке Папа-2, 37а (до 1967 г.) и 4а на подучастке Гуджаретис, 59 (с 1968 г.) на подучастке Боржоми-Ликани, 5 (до 1967 г.) и 101 (с 1967 г.) на подучастке Север. Дебит большинства скважин (за исключением скв. 21, 5 и 101) регулировался при помощи задвижек, скважина 37а до момента вывода из эксплуатации работала за счёт газлифта. Наблюдалось ступенчатое снижение суммарного водоотбора с $350 \text{ м}^3/\text{сут}$ до $280 \text{ м}^3/\text{сут}$, а затем $230 \text{ м}^3/\text{сут}$. Продолжительность ступени с постоянным дебитом составляла 4-5 лет. Дебиты скважин на каждой из ступеней были крайне изменчивы. Однако, снижение дебитов в ряде скважин удавалось компенсировать вводом новых скважин, либо увеличением отбора в других скважинах за счёт открытия задвижки. Отметим, что средний дебит в Парке (скв. 1 и 21) с 1964 до 1972 гг. составлял $50-70 \text{ м}^3/\text{сут}$.

В последнее пятилетие в 1968-1972 гг. при среднем суммарном водоотборе $230 \text{ м}^3/\text{сут}$ направленная тенденция к изменению уровней отсутствовала. Практически во всех скважинах участка уровни установились на абсолютных отметках в пределах 800-814 м.

Этап минимального отбора и приближения к стабилизации (1973–1981 гг.)

С 1973 по 1977 гг. происходило устойчивое падение дебитов шести эксплуатирующихся на тот момент скважин (1 и 21 (Парк), 41а (Папа-2), 4а (Гуджаретис), 101 (Север), 59 (Ликани)), вплоть до прекращения самоизлива. В 1974-1975 гг. эксплуатировалась также новая скважина 4э (Гуджаретис). Суммарный среднегодовой водоотбор участка снизился от 220 до $60 \text{ м}^3/\text{сут}$. Уменьшение дебитов сопровождалось снижением уровней подземных вод. Причины снижения дебитов и падения уровней на 10-15 м в тот период до конца выяснить не удалось. Очевидно только, что резкое снижение

дебитов скважин 1 и 41а во второй половине 1975 г. было результатом периодических мощных выводов воды во время бурения скважины 41э (Папа-1).

В целях возобновления самоизлива скважины 1, с марта 1978 г. объемы вывода воды из скважин были резко сокращены до 20-25 м³/сут. При этом во всех скважинах отмечался подъем уровней. К июлю 1978 г. уровень воды в скважине 1 поднялся на 5 м (оставаясь при этом значительно ниже, чем в 1973 г.), и самоизлив возобновился.

С октября 1979 по апрель 1981 гг. начался процесс существенного увеличения расхода участка до 220 м³/сут (в т.ч. 42 м³/сут в Парке) за счёт увеличения дебита скважин 4э, 41а и 59. Однако в этот период восстановление уровней замедлилось, а в ряде скважин прекратилось. В связи с этим в мае - декабре 1981 г. общий расход ограничивался до 150-170 м³/сут, что привело к дальнейшему устойчивому повышению уровня подземных вод во всех скважинах участка до абсолютных отметок 812-818 м и увеличению расхода в Парке до 60-65 м³/сут.

Этап сбалансированной эксплуатации (1982–2015 гг.)

С 1982 по 2015 гг. эксплуатация осуществлялась шестью скважинами. В ограниченном режиме самоизлива работали скважины 1, 59, 41а (заменена на 41р в 1997 г.), 101э, в свободном – скважина 21 (с середины 1990 г. к ней добавилась скважина 21э). В этих скважинах велись наблюдения за давлением, в наблюдательных скважинах 13, 128, 103 и 102 – за уровнем. Суммарный среднегодовой водоотбор по участку изменялся от 120 до 215 м³/сут, в среднем составляя 175 м³/сут. Необходимо отметить, что за 35 лет водоотбор скважин в Парке постепенно сократился с 50 до 20 м³/сут. С 2000-х годов до 80% суммарного отбора добывалось скважинами 41р и 59, роль скважины 41р существенно преобладала. Эксплуатация участка велась крайне нестабильно с резкими среднемесячными увеличениями и уменьшениями дебита, однако, при этом среднегодовой суммарный водоотбор существенно не изменялся. Уровни в наблюдательных скважинах залегают на абсолютных отметках 804-812 м. Направленной тенденции изменения уровней за весь период не выявлено.

Газогидрохимический режим

На подучастке Парк наблюдения за химическим составом велись по источникам 1 (Екатерининский) и 2 (Евгеньевский), скважинам 1 (бывший источник 1), 13, 21, 21э (рис. 3.6). По температуре скважины 21 и 21э выводят холодные минеральные воды, Екатерининский источник, а позднее скважина 1, Евгеньевский источник, скважина 13 – тёплые воды. Вода источников и скважин в 1932-2015 гг. имела стабильный гидрокарбонатный натриевый состав с минерализацией 5.5-6.5 г/л, при этом

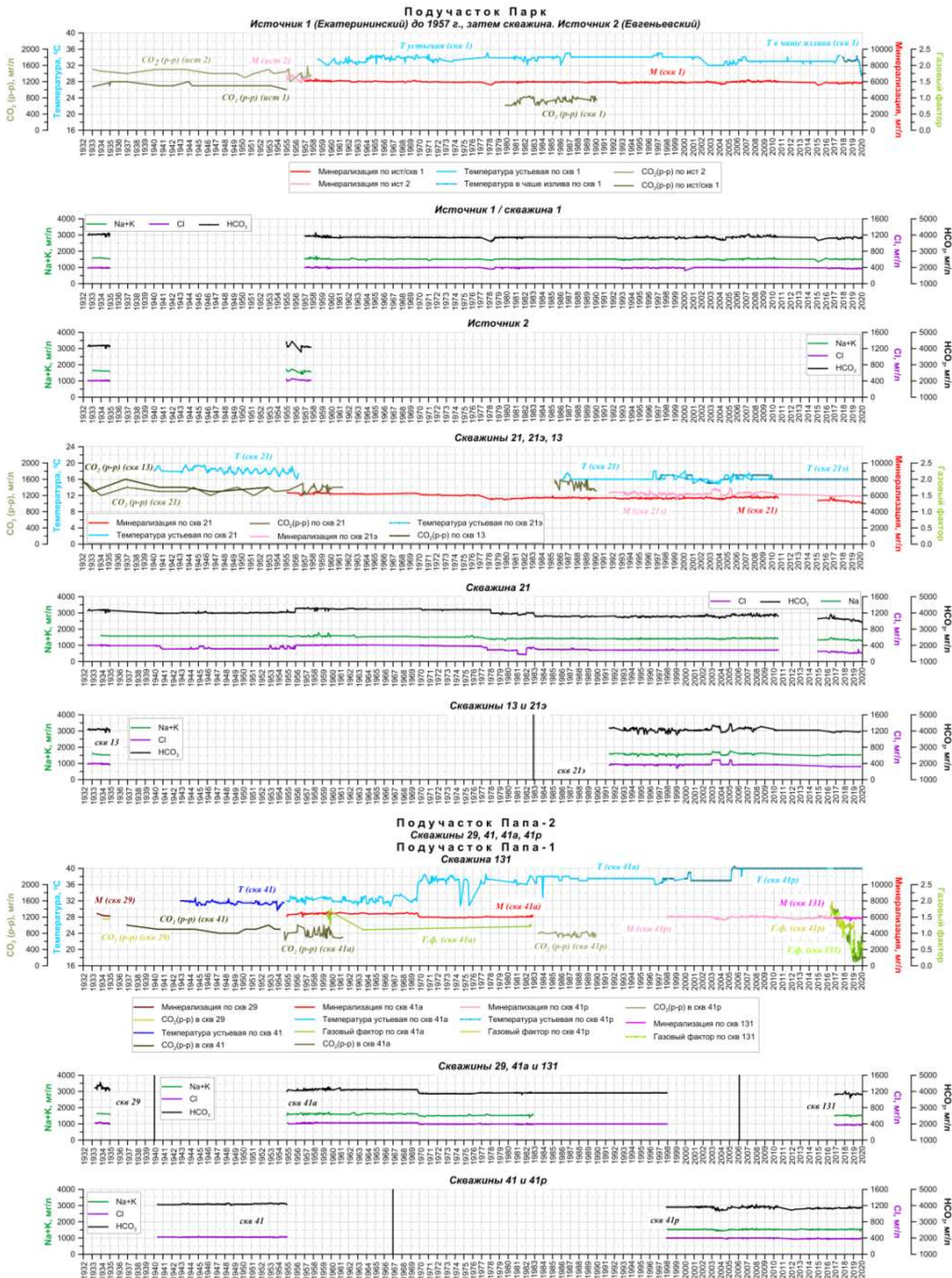


Рис. 3.6. Газогидрохимический и температурный режим Центрального участка (подучастки Парк и Папа) в 1932-2019 гг.

концентрации основных компонентов варьирует в интервалах 3.9-4.3 г/л для HCO_3 , 1.3-1.65 г/л для суммы Na и K и 0.27-0.4 г/л для Cl. Растворенная уголекислота содержится в минеральных водах в количестве 0.7-1.6 г/л.

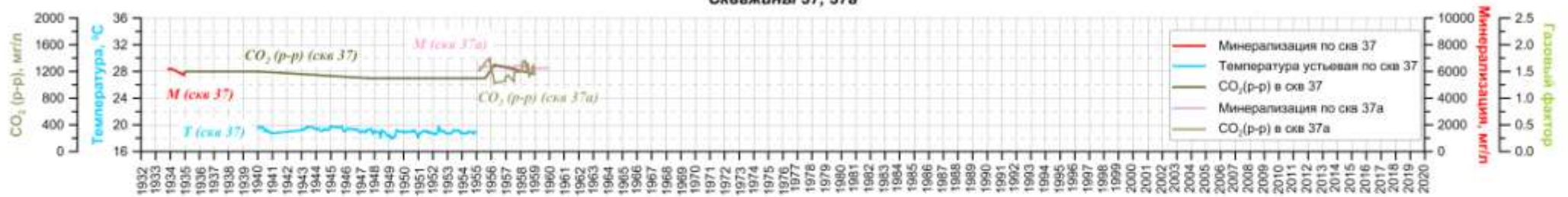
Данные о составе минеральных вод на подучастке Папа получены при работе скважин: 29 - 1933-1934 гг., 41 - 1937-1954 гг., 41а - 1955-1998 гг., 41р - 1998-2015 гг. (рис. 3.6). Химический состав характеризовался минерализацией 5.7-6.5 г/л, концентрацией натрия и калия 1.5-1.7 г/л, гидрокарбонатов 3.7-4.6 г/л, хлоридов 0.4-0.45 г/л. Количество растворённой уголекислоты составляет 0.7-1.1 г/л. Скважины до 1970 г. выводили тёплые воды, затем их температура увеличилась на 4°C (термальные воды), причины этого явления не установлены.

На подучастке Боржоми-Ликани наблюдения велись по скважинам 1л (1936-1954 г.г.), 59 (1966-2015 гг.) (рис. 3.7). Скважинами выводятся тёплые воды. За анализируемый период качество минеральных вод оставалось стабильным с величинами минерализации 6.7-7.1 г/л, концентрациями суммы натрия и калия 1.6-1.8 г/л, гидрокарбонатов 4.2-4.4 г/л, хлоридов 0.45-0.5 г/л. Количество растворённой уголекислоты - 0.8-1.3 г/л.

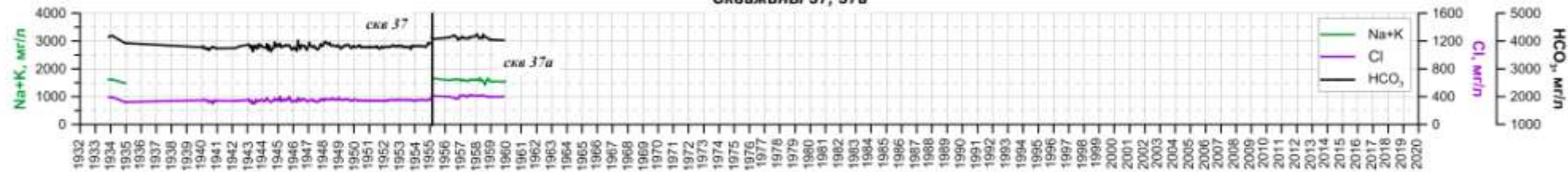
На подучастке Гуджаретис режимные гидрохимические наблюдения велись по скважинам 37 (1934-1954 г.), 37а (1955-1959 г.), 38 (1933-1934 г.), 4а (1957-1964 г.) (рис. 3.7). Скважинами 37 и 38 выводились холодные минеральные воды, скважинами 37а и 4а – тёплые. В соответствии с данными 1933-1934 г. (скв. 37, 38), химический состав воды содержал 1.55-1.6 г/л натрия и калия, 4.1-4.2 г/л гидрокарбонатов, 0.35-0.7 г/л хлоридов при минерализации 6.0-6.2 г/л. С 1940 г. по 1955 г. наблюдается стабильный состав воды, содержащей 3.6-4.0 г/л гидрокарбонатов и 0.3-0.4 г/л хлоридов (скв. 37). В 1957 г. к наблюдению за составом вод подключилась скважина 4а с величинами минерализации 6.8-7.6 г/л, концентрациями натрия и калия 1.7-2.0 г/л, гидрокарбонатов 4.3-4.7 г/л, хлоридов 0.35-0.45 г/л. Содержание растворённой уголекислоты характеризуется по скважинам 37 и 37а и составляет 1.0-1.4 г/л.

Наблюдения за составом минеральных вод на подучастке Боржоми-Север начались в 1956 г. и проводились по скважинам 5, 101, 101э (рис. 3.7). Скважинами 101 и 101э выводятся тёплые минеральные воды, исключением составляют первые несколько лет эксплуатации скважины 101 (до 1971 г.), когда водоотбор значительно превышал величину в $30 \text{ м}^3/\text{сут}$ и устьевая температура составляла 36°C . На начало наблюдений (скв. 5) состав воды характеризовался минерализацией 7.0-7.3 г/л, концентрацией натрия и калия 1.8-1.9 г/л, гидрокарбонатов 4.6-4.8 г/л, хлоридов 0.4-0.5 г/л. В скважине 101 прослеживаются выраженные колебания состава минеральных вод, в том числе сезонные, минимальные величины показателей отмечены в 1976 г. при минерализации 4.8 г/л.

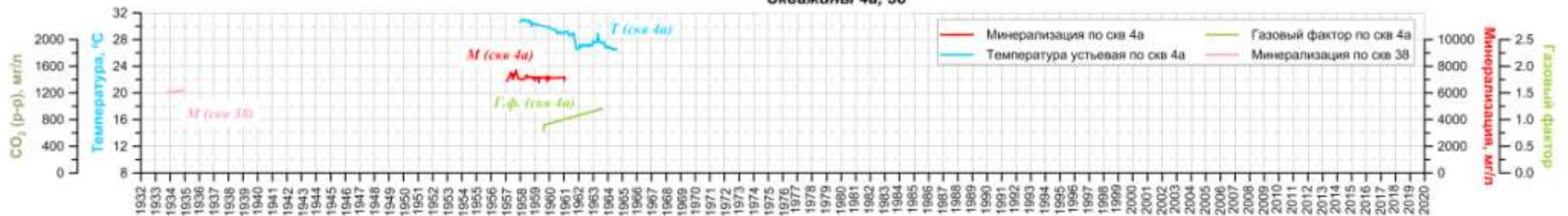
Подучасток Гуджаретис Скважины 37, 37а



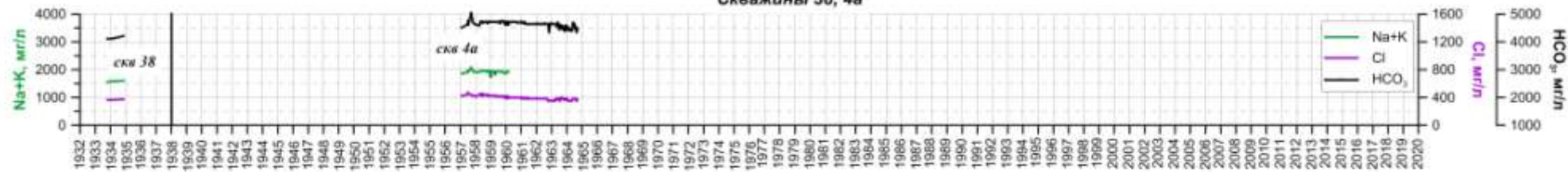
Скважины 37, 37а



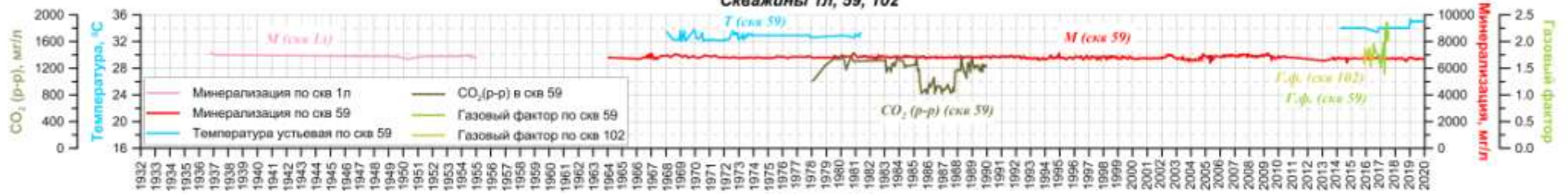
Скважины 4а, 38



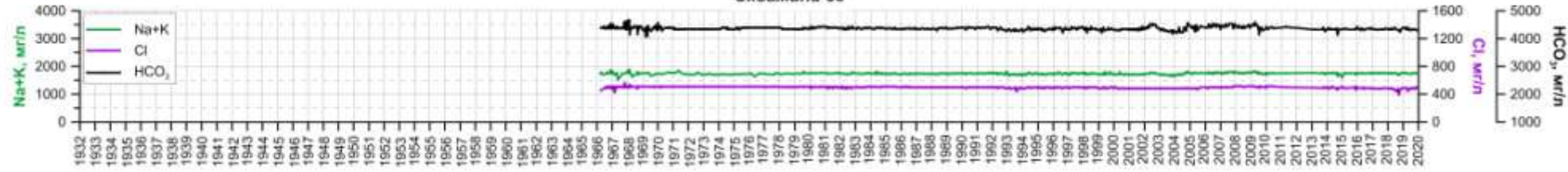
Скважины 38, 4а



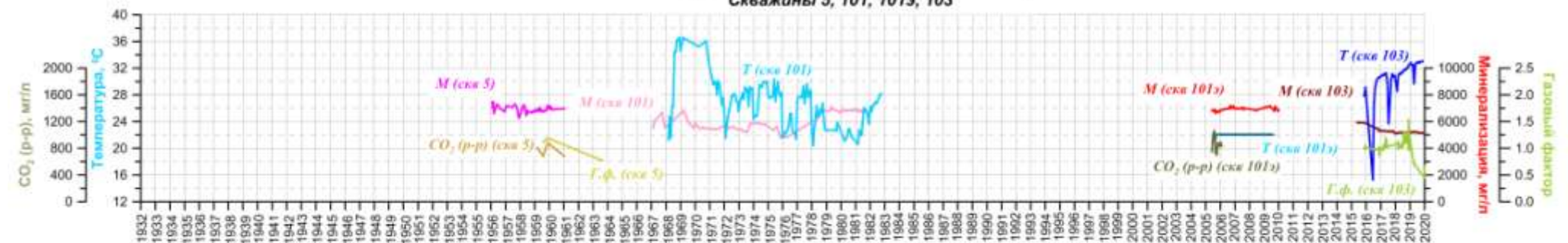
Подучасток Боржоми-Ликани Скважины 1л, 59, 102



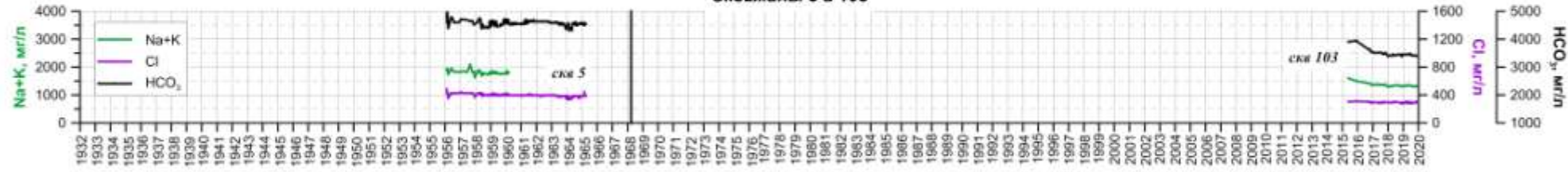
Скважина 59



Подучасток Боржоми-север Скважины 5, 101, 101з, 103



Скважины 5 и 103



Скважины 101 и 101з

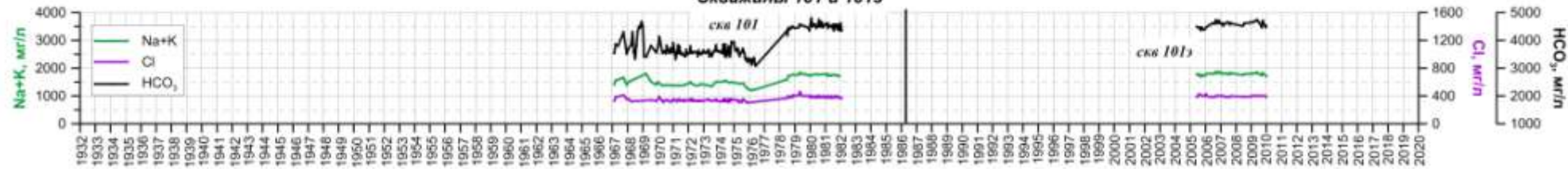


Рис. 3.7. Газогидрохимический и температурный режим Центрального участка (подучастки Боржоми-Ликани, Гуджаретис, Боржоми-Север) в 1932-2019 гг.

Периоду опытных работ 1978-1982 г. соответствует восстановление минерализации до уровня 6.8 г/л. С 2005 по 2010 гг. велись режимные гидрохимические наблюдения по скважине 101э. Наблюдался достаточно стабильный состав с минерализацией 6.8-7.1 г/л.

Величина газового фактора на Центральном участке по данным исследований 1959-1963 г. и 1982 г. составляет 0.8-1.2.

3.2.2. Вашловани-Квибисский участок

Участок выделен на рубеже 1950-60-х годов. Все 10 скважин участка (за исключением дублеров) расположены на значительных расстояниях друг от друга (рис. 3.1). Во всех, кроме скважины № 67, уровень воды после бурения устанавливался выше поверхности земли.

Гидродинамический режим

Рассматривая гидродинамический режим Вашловани-Квибисского участка (рис. 3.8), можно выделить 5 основных периодов (этапов) эксплуатации, различающихся характером эксплуатации подземных вод и ее интенсивностью. Четыре периода (этапа) эксплуатации являются ретроспективными и описаны в настоящем разделе, шестой современный период рассмотрен отдельно в разделе 3.3.

Период естественного режима (до 1960 г.)

Бурение первой скважины 9 было закончено в 1958 г. Скважина расположена на левом берегу р. Куры, у юго-западной границы участка. Характерно, что первоначально она была включена в состав Центрального участка. Скважина 9 имела незначительный дебит, первоначально он составлял 30 м³/сут, затем снизился до 15 м³/сут. В связи с этим гидродинамический режим Вашловани-Квибисского участка до 1960 г. можно считать близким к естественному.

Период управляемого (неуправляемого) самоизлива (1960 -2015)

Для периода управляемого (неуправляемого) самоизлива выделено три этапа: освоения участка и интенсивной эксплуатации, постепенного умеренного сокращения водоотбора и сбалансированной эксплуатации. Ниже отдельно рассмотрен каждый из перечисленных этапов.

Этап освоения участка и интенсивной эксплуатации (1960–1979 гг.)

В связи с бурением скважин и их постепенным вводом в эксплуатацию, этап характеризуется значительным снижением среднегодового водоотбора, как в целом по участку (от 1530 до 385 м³/сут, при среднем отборе 740 м³/сут за этап), так и из отдельных скважин. Скважины бурились в два этапа в 1960-1963 гг. - 25, 37, 38, 47 и в 1973-1975 гг.

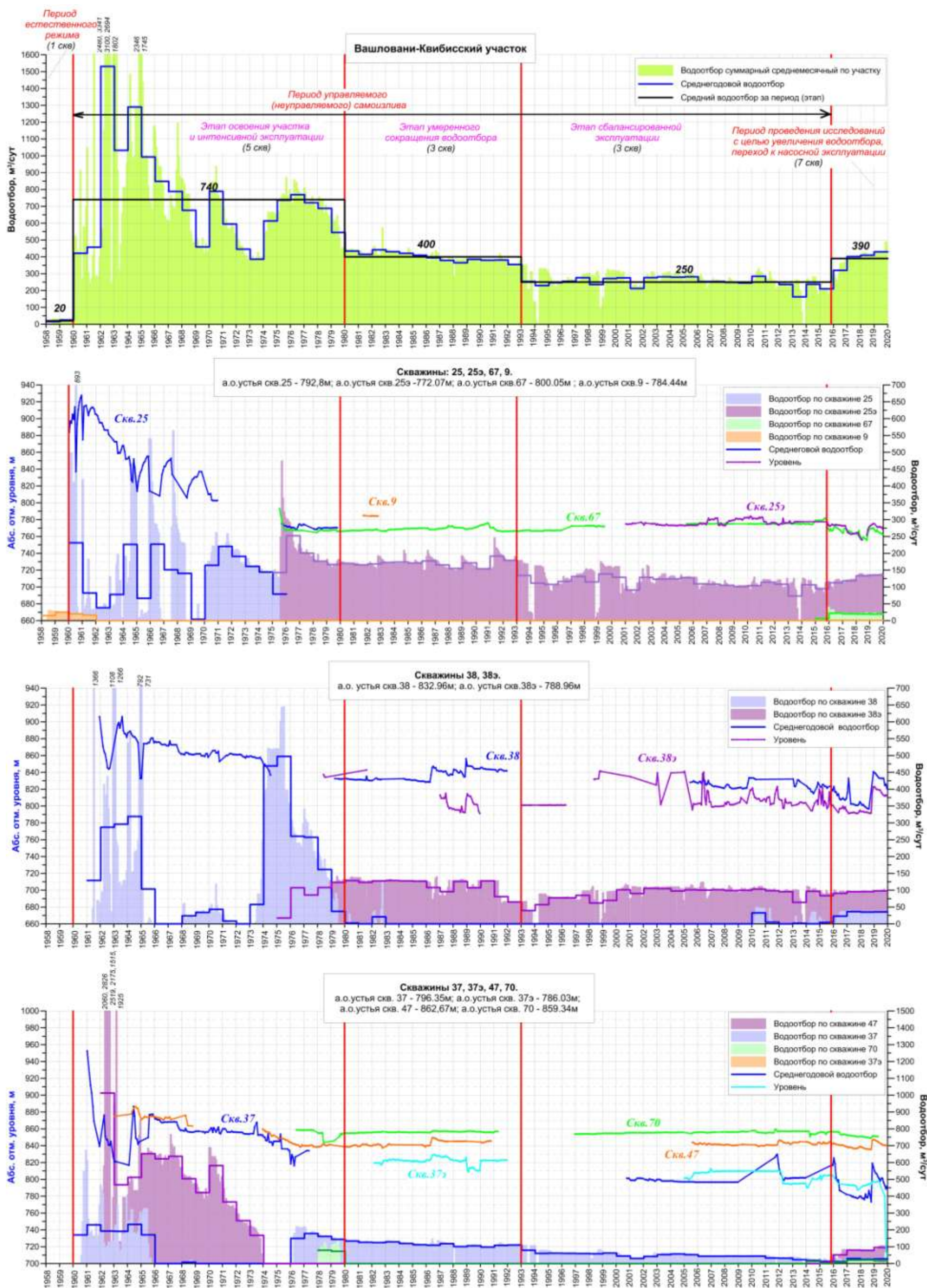


Рис. 3.8. Гидродинамический режим Вашловани-Квибисского участка с 1958 по 2019 гг.

- 25э (дублёр 25), 38э, 70. После бурения первых пяти скважин в 1963 г. пьезометрический уровень находился на отметках 907-951 м (напор 44-155 м), что на 100-130 м выше, чем на Центральном участке. С 1964 по 1968 гг. производились опытные выпуски в условиях регулирования дебитов (кроме скв. 9). На общем фоне снижения суммарного среднегодового водоотбора по участку от 1530 до 460 м³/сут, отмечалось значительное падение динамических уровней. В феврале 1967 г. при одновременном закрытии всех скважин напоры составили 25-82 м. Снижение восстановленного уровня по сравнению с первоначальным составило 73-85 м в долинах и всего около 20 м на склонах и водоразделах. Это можно связать с интенсивной сработкой купола газовой смеси в долинах рек, где абсолютные отметки были наиболее высокими, а стали наиболее низкими.

В период 1973-1975 г. на участке было пробурено ещё три скважины. Было получено кратковременное увеличение суммарного среднегодового водоотбора до 770 м³/сут. Но уже в 1976 г. отбор стал постепенно падать, достигнув в 1979 г. величины 550 м³/сут. В ходе буровых и опытных работ было установлено, что все скважины подвержены взаимовлиянию, интенсивность которого между разными скважинами различна. Пуск скважины 25э привел к прекращению самоизлива скважины 25, падению уровней в скважинах 37, 47. Затем, после ввода на полную мощность скважины 38э, произошло снижение дебитов скважин 37, 38, 25э в условиях свободного самоизлива и падение уровней в скважинах 25 и 67. В скважине 70 самоизлив прекратился и с октября 1977 по ноябрь 1979 г. добыча осуществлялась принудительно, путем откачки насосом со средней производительностью 80 м³/сут.

Снижение напоров, уже не столь значительное, как на начальном этапе, продолжалось до конца 1970-х годов. Уровни с этого времени установились на отметках 770-860 м и в дальнейшем изменялись незначительно.

Этап постепенного умеренного сокращения водоотбора (1980–1992 гг.)

Этап характеризуется медленным, но систематическим уменьшением дебитов и попытками выйти на устойчивый режим с достижением баланса водоотбора и питания. При этом гидродинамическое равновесие на участке установлено не было.

Для добычи подземных вод использовались три скважины 38э, 37 и 25э в режиме свободного самоизлива и ограниченного самоизлива (с 1987 г. скважина 38э). Помимо этого, непродолжительные периоды в течение 1980 г. и 1982 г. в режиме принудительной откачки эксплуатировалась скважина 38. Суммарный среднегодовой водоотбор уменьшился с 435 м³/сут до 355 м³/сут. При этом на протяжении 5 лет с 1987 г. по 1991 г.

он практически не изменялся, составляя около 380 м³/сут.

Влияние на режим Вашловани-Квибисского участка оказали два землетрясения, произошедшие в 1982 г. силой 3-5 магнитуд. После первого из них (24–25 февраля), суммарный дебит увеличился с 415 до 460 м³/сут, и в скважине 38 восстановился самоизлив в объеме 25 м³/сут. В апреле 1982 г. уровень воды в скважине 38 вновь опустился ниже земли. В результате второго землетрясения (21–22 сентября) возобновился самоизлив скважины 38, значительно выросли дебиты скважин 25э, 37 и 38э. В скважинах 70 и 37э уровни поднялись на 0.9-4.8 м.

Этап сбалансированной эксплуатации (1993–2015 гг.)

Период характеризуется незначительными колебаниями величины среднегодового водоотбора от 160 до 285 м³/сут при среднем устойчивом значении 250 м³/сут. Исключения обусловлены непродолжительными (2-4 месяца) ограничениями дебитов скважин, вплоть до их закрытия, имевшими место в 1993-94 г., 1998-99 г. и 2013 г. Водоотбор обеспечивался в основном тремя скважинами (38э, 37 и 25э), которые функционировали условиях искусственно ограниченного самоизлива. Доля последней составляет 40-50%. На скважинах 9 и 37э сохранился незначительный свободный самоизлив. В скважинах 38, 47, 67 и 70 пьезометрический уровень отрицательный.

Имеющиеся данные по уровням подземных вод свидетельствуют об относительно стационарном режиме на отметках 770-860 м.

Газогидрохимический режим

Наблюдения за составом и качеством минеральных вод ведутся с 1958 г. (рис. 3.9). На территории участка можно выделить два уровня минерализации воды – 5.5-6.0 г/л (скв. 9, 38э) и 7 г/л (скв. 25, 25э, 37, 37э, 38, 47, 70).

Скважиной 9 в 1958-1960 г. выводилась вода с минерализацией 5.6-5.7 г/л, концентрацией натрия 1.55-1.65 г/л, гидрокарбонатов 3.85-3.95 г/л и хлоридов 0.2-0.25 г/л; при этом наблюдалось незначительное снижение величин основных компонентов состава. Состав воды этой скважины, а также скважины 38э, выводящей однотипную воду, оставался практически неизменным до 2000 г., имея незначительный отрицательный тренд. В 2000-2002 г. в скв. 9 наблюдается рост минерализации с 5.5 до 5.8 г/л, сопровождаемый ростом концентрации гидрокарбонатов с 3.7 до 3.9 г/л. В то же время, в скв. 38э начинаются значительные колебания состава вод периодичностью 1.5-2.5 года в интервале минерализаций 5.3-5.8 г/л, сопровождаемые синхронным изменением концентрации натрия и гидрокарбонатов.

Скважинами 25, 37, 38 с 1960-1961 гг. выводилась вода с минерализацией 6.8-7.2

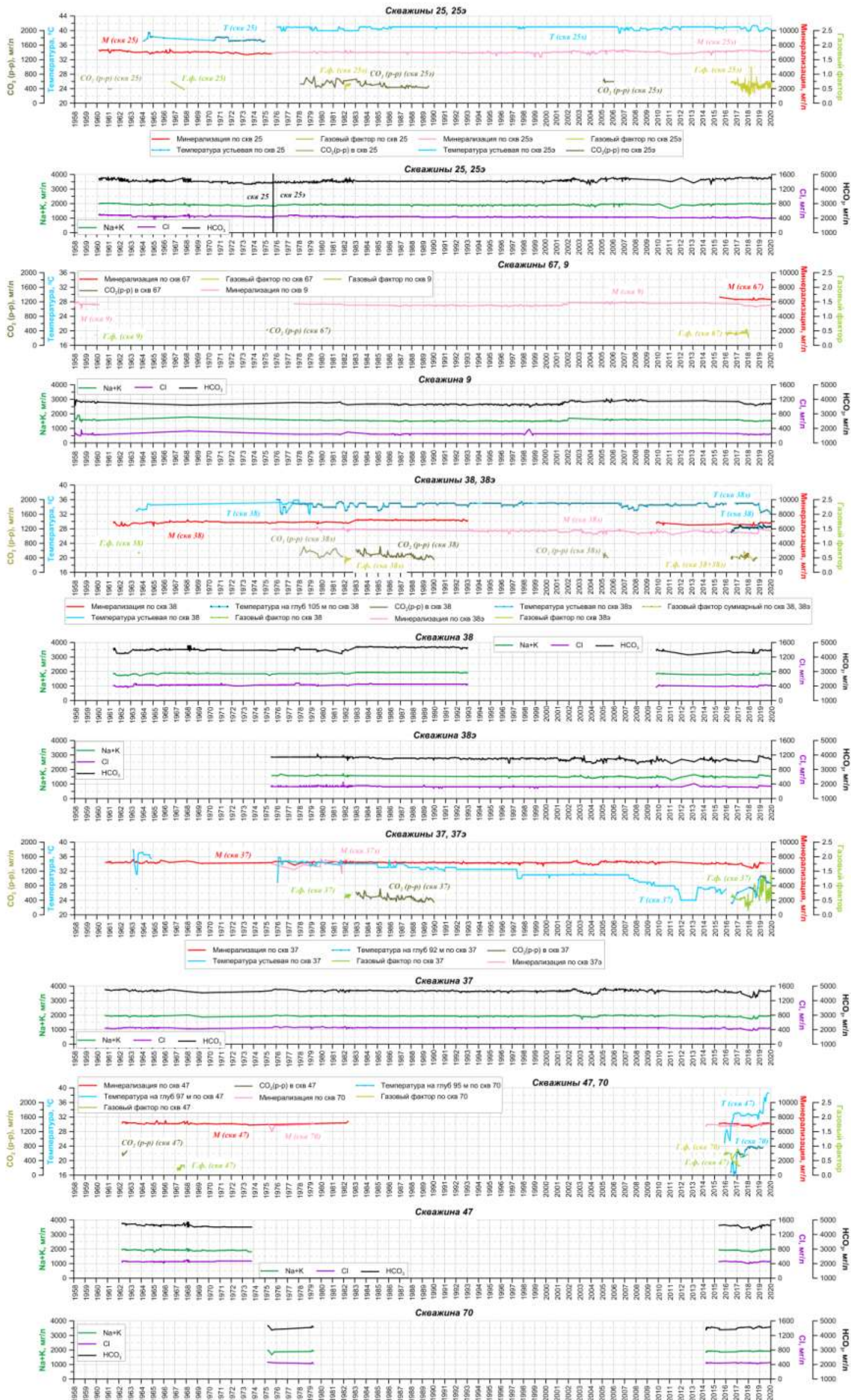


Рис. 3.9. Газогидрохимический и температурный режим Вашловани-Квибисского участка в 1958-2019 гг.

г/л, концентрацией натрия 1.8-2.0 г/л, гидрокарбонатов 4.5-4.7 г/л и хлоридов 0.45 г/л. Этот состав с незначительными колебаниями сохранялся до 2002 г., когда по ряду скважин (25э, 37) наблюдалось скачкообразное снижение, а затем восстановление минерализации. С 2004 г. состав воды остается практически неизменным, при этом увеличивается интервал колебаний основных показателей, связанный с большим количеством лабораторий, используемых для его определения.

Таким образом, химический состав минеральных вод, выводимых скважинами Вашловани-Квибисского участка, не зависит от величины отбора и положения уровней, оставаясь практически постоянным весь период наблюдений. Величина газового фактора на участке составляет 0.3-0.7. Содержание растворённой углекислоты - 0.4-0.8 г/л.

3.2.3. Ликанский участок

В пределах Ликанского участка, изучение которого началось в середине 1950-х годов, за всю историю эксплуатировались две скважины (рис. 3.1): до 1965 г. – скважина 2, после – её дублёр скважина 54. Предпринимавшиеся в 1950-60-х годах попытки расширения участка за счет бурения нескольких скважин оказались безрезультатны, боржомскую воду получить не удалось.

Гидродинамический режим

По характеру гидродинамического режима (рис. 3.10) эксплуатация участка четко разделяется на два периода: управляемого (неуправляемого самоизлива) и проведения исследований с целью увеличения водоотбора (переход к насосной эксплуатации). Первый период является ретроспективным и в свою очередь подразделяется на два этапа, которые рассмотрены ниже. Второй период соответствует современной эксплуатации и рассмотрен в подразделе 3.3.

Период управляемого (неуправляемого) самоизлива (1956-2017)

Этап освоения участка и неравномерного водоотбора (1956–1967 г.)

Бурение скважины 2, глубиной 1161 м, завершилось в марте 1956 г. По данным Чихелидзе С.С. [68] максимальное избыточное давление составляло 10.6 атм (абс. отметка 1020 м), дебит на самоизливе 7.6 л/с. Эксплуатация, начавшаяся в марте 1958 г., характеризовалась пульсационным режимом с периодическим прекращением самоизлива и падением уровня ниже поверхности земли. За 2 года дебит снизился с 190 м³/сут до 110 м³/сут, а давление упало с 7 до 1.4 атм. В дальнейшем дебит (по среднемесячным данным) изменялся в пределах 85-250 м³/сут при среднем значении 120 м³/сут.

В апреле 1965 г., на расстоянии 40 м от скважины 2 была пробурена более глубокая (1400 м) скважина 54. Её первоначальный дебит составлял 8 л/сек. В результате вывода

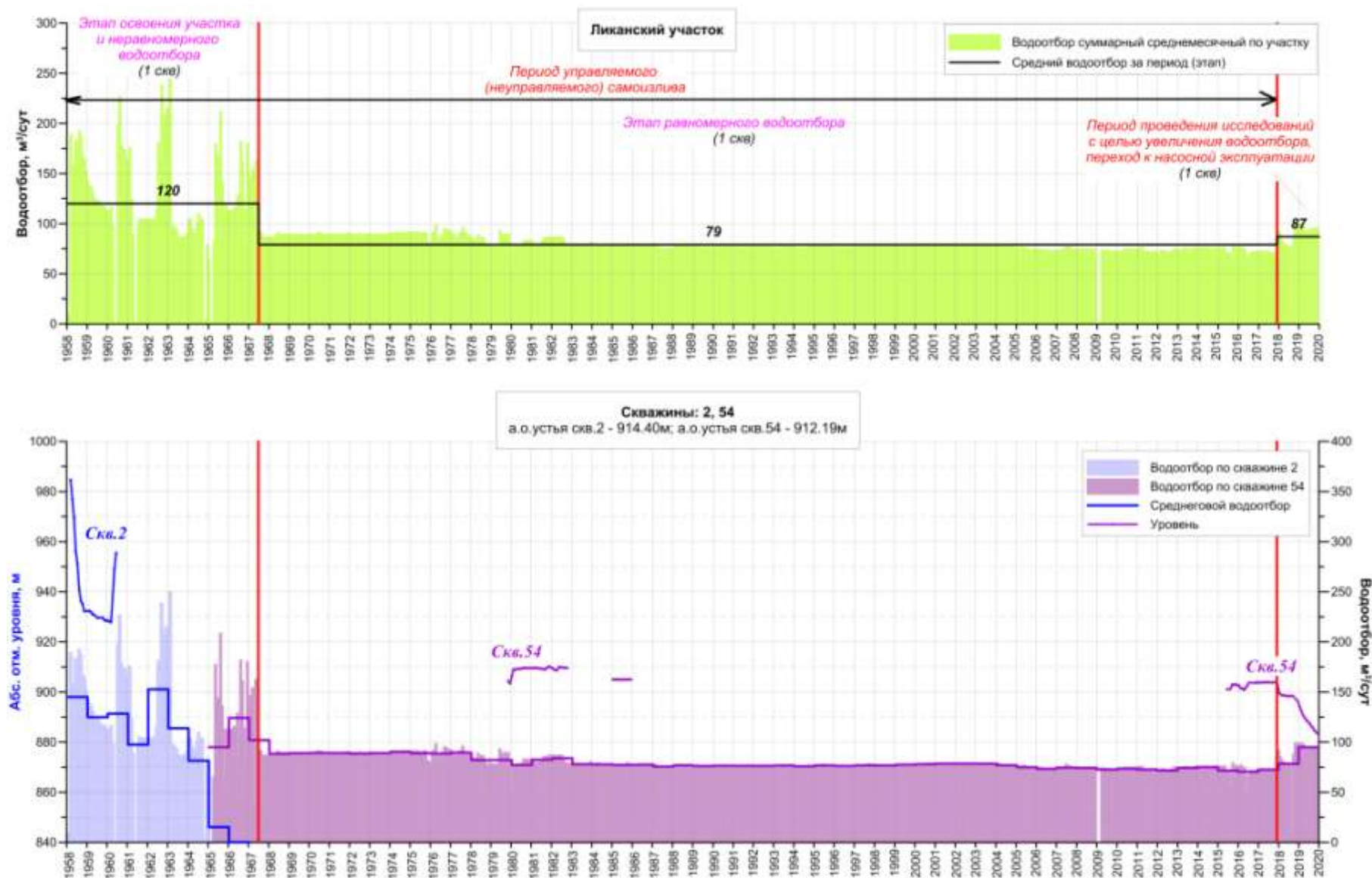


Рис. 3.10. Гидродинамический режим Ликанского участка с 1958 по 2019 гг.

воды в процессе бурения в скважине 2 отмечалось резкое снижение дебитов и периодическое прекращение самоизлива. В апреле 1966 г. самоизлив полностью прекратился, и в июне она была ликвидирована.

Эксплуатация скважины 54 также характеризовалась пульсационным режимом с периодическим прекращением самоизлива. В 1965-67 г. в условиях свободного самоизлива дебит (по среднемесячным данным) изменялся в пределах 35-210 м³/сут, в среднем около 130 м³/сут.

Этап равномерного водоотбора (1967–2017 г.)

В июне 1967 г. на устье скважины был установлен патрубок, ограничивающий дебит. После этого самоизлив был постоянным, за исключением периодов проведения ремонтных работ. Существенный интерес представляют данные, полученные в ходе ремонтных работ в 1979-80 г., которые проводились (в течение 3.5 месяцев) в целях получения стабильного самоизлива. В результате закрытия скважины уровень опустился на глубину 5 м от поверхности. По завершении технических работ и кратковременной откачки самоизлив возобновился. Дебит составил 320 м³/сут, но через несколько дней уровень опустился до 16 м. Установка ограничивающего патрубка не привела к восстановлению самоизлива. В январе 1980 г. в скважину на глубину 105 м спустили дополнительную телескопическую колонну (сифоид). В сифоиде самоизлив был восстановлен путем откачки. Первоначальный дебит составлял 89 м³/сут. После установления сифоида в скважине режим самоизлива не прерывался.

За почти пятидесятилетний период эксплуатации в режиме ограниченного самоизлива расход оставался стабильным, хотя можно видеть наличие некоторой тенденции к его ступенчатому уменьшению с 89 м³/сут до 72 м³/сут. Уровень воды в 2017 г. залегал на а.о. 904 м.

Газогидрохимический режим

На участке Ликани (рис. 3.11) эксплуатировались всего две скважины, с 1958 г. до 1965 г. - скважина 2, после её сменила скважина 54, эксплуатируемая по настоящее время. Химический состав воды из скважины 2 в начале эксплуатации характеризуется относительно постоянной минерализацией 5.5 г/л, концентрацией гидрокарбонатов с 3.6-3.7 г/л, хлоридов 0.25 г/л. Этот состав сохранялся практически неизменным до 1965 г, т.е. до выведения скважины из эксплуатации.

Вода из скважины 54 в начале эксплуатации характеризовалась тем же уровнем минерализации и концентраций основных макрокомпонентов, что и в скважине 2 - минерализация составила 5.5-5.6 г/л, концентрация натрия 1.25 г/л, гидрокарбонатов 3.8-3.9 г/л. На этом уровне, с незначительными колебаниями, качество минеральной воды

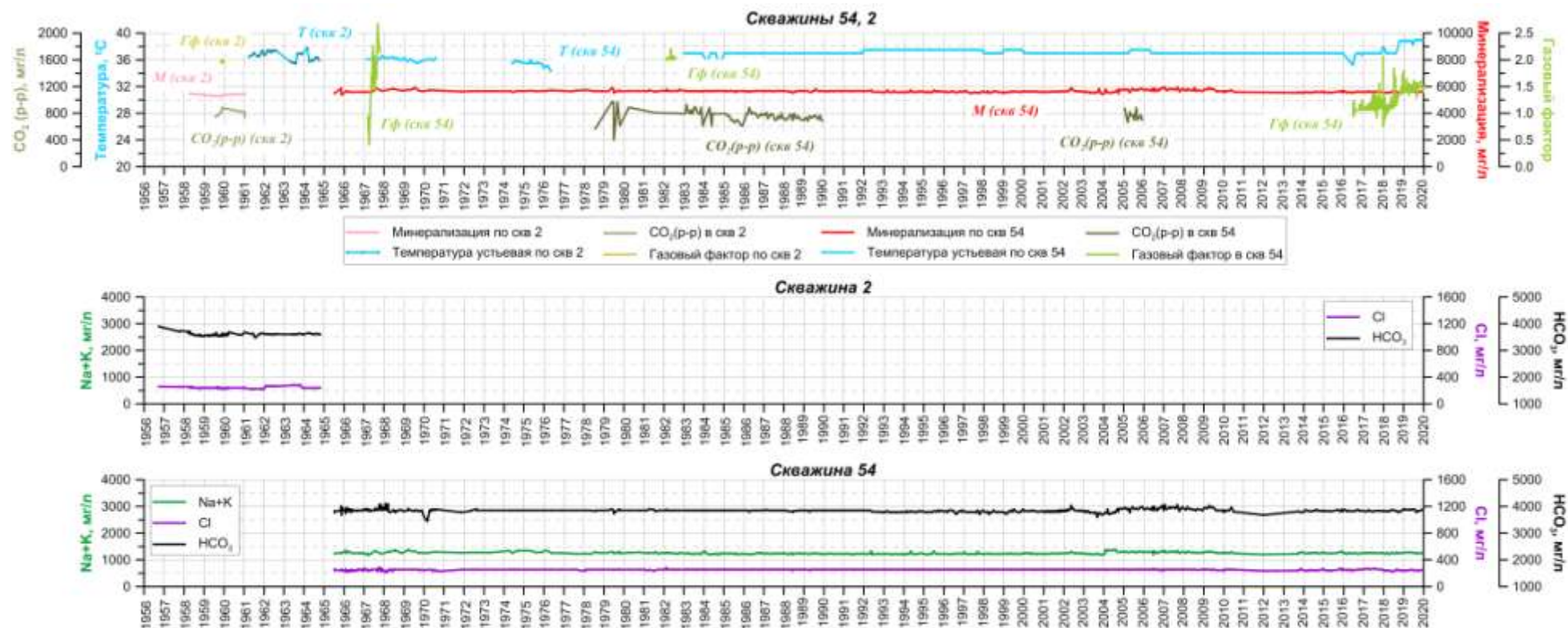


Рис. 3.11. Газогидрохимический режим Ликанского участка с 1958 по 2019 гг.

остается до настоящего времени. Величина газового фактора на участке Ликани составляет 1.5-2.5. Содержание растворённой углекислоты - 0.6-1.0 г/л.

Основные выводы по ретроспективному периоду эксплуатации (1927-2015 гг.)

На протяжении почти всей истории эксплуатации Боржомского месторождения (до 2013 г.) в качестве единственного продуктивного водоносного комплекса использовались верхнемеловые-нижнепалеоценовые отложения. Известные с начала XIX века источники в долине р. Боржомула (Боржомский парк минеральных вод (подучасток Парк)) не могли удовлетворить возрастающие потребности в минеральных водах. В 1930х годах на основании результатов геологоразведочных работ к ним добавились несколько групп скважин, приуроченных к участкам разгрузки в долинах р. Куры (подучасток Папа) и ее притоков р. Гуджаретис-цкали (подучасток Гуджаретис) и р. Ликани (подучасток Боржом-Ликани). В 1956 г. в состав Центрального участка был включен пятый, Северный подучасток.

Анализ многолетнего опыта эксплуатации Боржомского месторождения показывает, что исторически сложившееся условие сохранения самоизлива на скважинах (в первую очередь, в Парке) являлось основным критерием, определяющим возможную величину водоотбора. В связи с этим попытки увеличения суммарного расхода самоизлива заключались в расширении площади водозабора за счет бурения дополнительных скважин на новых участках (подучастках). Но при кратковременном повышении расхода самоизлива, он достаточно быстро снижался вследствие взаимодействия эксплуатационных скважин в пределах каждого участка. Однако, ещё в 1963 г. в соответствии с результатами разведки Боржомского месторождения углекислых вод было показано, что водоотбор может быть увеличен "при расширении эксплуатационных площадей и применении принудительного способа эксплуатации с понижениями динамических уровней воды в скважинах до уровня грунтовых и речных вод, а на участках где последние отсутствуют – до более низких отметок" [91].

Ретроспективная информация по напорам и уровням, за исключением отдельных периодов, в которые выполнялись геологоразведочные работы и оценка запасов, является приближенной. Основные выводы могут быть сделаны на основе анализа динамики расходов, как суммарного по участкам, так и по отдельным скважинам. При этом следует иметь ввиду, что наличие интенсивного неконтролируемого самоизлива при бурении и утечек через колонны вследствие ухудшения технического состояния ряда скважин в объеме водоотбора не учитывалось и какая-либо информация о его величине отсутствует. Изменения режима эксплуатации скважин, сведения о которых отрывочны, также создают

проблемы в анализе происходящих процессов. Известно, что в режиме свободного самоизлива все скважины эксплуатировались до конца 1950-х годов (за исключением кратковременного отбора из скв. 1к в 1954 г.). В дальнейшем в силу различных причин водоотбор отдельных скважин искусственно ограничивался. При этом часто газлифт рассматривался как свободный самоизлив при отсутствии данных о фактическом понижении уровня в пласте ниже поверхности земли. Тем не менее, имеющиеся данные позволяют оценить основные техногенные режимообразующие факторы (бурение скважин, свободный и регулируемый самоизлив, принудительный отбор, изменение технического состояния скважин) на основе динамики расходов и уровней подземных вод.

Анализ изменения водоотбора за период эксплуатации Центрального участка показывает, что его резкое увеличение в отдельные периоды в 1930-х и 1950-х годах было обусловлено бурением новых скважин. Это связано с тем, что максимальные дебиты скважин наблюдаются непосредственно в процессе их бурения и освоения, после чего расход снижается, причем основная часть этого снижения происходит в первые месяцы или один-два года эксплуатации. После завершения периодов бурения наблюдался продолжительный процесс выхода на квазистабильный режим, который осложнялся изменениями схемы отбора и регулированием дебитов отдельных скважин.

Среднегодовые значения суммарного водоотбора на Центральном участке изменяются в широком диапазоне. Очевидным является наличие нескольких периодов относительной стабилизации суммарного расхода при различных схемах эксплуатации – от $175 \text{ м}^3/\text{сут}$ (1982-2015 гг.) до $350 \text{ м}^3/\text{сут}$ (1959-1963 гг.). Эти данные позволяют предположить, что максимальный расход самоизлива составляет около $200 \text{ м}^3/\text{сут}$, а естественные ресурсы минеральных вод позволяют обеспечить водоотбор до 300-350 $\text{м}^3/\text{сут}$.

Первоначальные высокие напоры в самоизливающих скважинах, аналогично дебитам, испытывали существенное снижение после бурения и ввода в эксплуатацию. Причиной этого является быстрый вывод накопившейся газоводяной смеси. Снижение напора на участке в первые годы после бурения составляло от 5 до 15 метров, а в некоторых скважинах 25-60 м. По завершении основного объема буровых работ и сокращения водоотбора до $200 \text{ м}^3/\text{сут}$ с целью сохранения самоизлива с 1970х годов до начала современного этапа эксплуатации уровни не изменялись значительно (а.о. 800-810 м).

В результате бурения новых скважин и соответствующего увеличения суммарного отбора, в ранее пробуренных самоизливающих скважинах происходит одновременное снижение напора или уровня воды и расхода. В скважинах с принудительным отбором

воды снижение уровня воды является результатом увеличения расхода, как суммарного, так и данной конкретной скважины. Несмотря на снижение уровней (по сравнению с начальными отметками) очаги естественной разгрузки в долине р. Куры сохранились, что было установлено при проведении исследований на рубеже 1970-80-х годов, в начале 2000-х и в ходе обследований 2015-2020 гг. Это свидетельствует об имеющихся ресурсах повышения водоотбора.

Пробуренные скважины на Вашловани-Квибисском участке показали, что распространение боржомских минеральных вод выходит за пределы Боржомской антиклинали (приурочены к погребенной Квибисской и Ломисмтинской антиклинальным складкам). При этом высокодебитные скважины приурочены не только к долинам рек Куры и Квибиси, но и расположены за их пределами.

Первоначальные напоры и дебиты воды были значительно (на 100-130 м) выше, чем на Центральном. В течение первых лет напоры в скважинах, расположенных на высоких элементах рельефа, снизились на 20-25 м, а в долинах р. Куры и р. Квибиси - на 75-85 м. Таким образом, очевидна существенная роль дегазации инъекционных куполов в снижении напоров. В дальнейшем снижение было не столь значительным и с 1980-х годов уровень изменяется незначительно. Суммарный отбор в 1980-е годы стабилизировался около 400 м³/сут, в последующие годы снизился до 250 м³/сут.

На Ликанском участке на протяжении всей его истории, с 1958 г., эксплуатируется одна скважина. Начиная с 1967 г., когда скважина была переведена в режим ограниченного самоизлива (с 1980 г. – с использованием сифоида), ее расход в 80 м³/сут незначительно снижался не более чем на 10% от начальной величины.

Анализ материалов эксплуатации и опытно-эксплуатационных выпусков подтверждает ранее сделанные выводы [19] об отсутствии взаимодействия между участками Боржомского месторождения. Изменения дебита и положения уровней происходили независимо и определялись суммарным расходом скважин на каждом из участков месторождения. Об автономности эксплуатируемых участков свидетельствуют также отсутствие одновременных проявлений реакции на землетрясения, различия в содержании CO₂, щелочноземельных металлов, а также газов.

За период наблюдений, начиная с 1867 г., за качеством минеральных вод верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса на Центральном участке, их химический состав характеризуется стабильностью. Во всех скважинах, независимо от их местоположения и характера, боржомская минеральная вода сохраняет свой идентичный химический тип и близкую пропорцию главных элементов. В результате изучения химического состава воды основных скважин Центрального, Ликанского и Вашловани-

Квибисского участков не была выявлена какая-либо тенденция, согласно которой изменялась бы общая минерализация или какие-то другие параметры в соответствии с определенной закономерностью, т.е. состав основных ионов в течение периодов наблюдений колебался в рамках природных изменений.

Относительно резкие, практически одномоментные, изменения обусловлены сменой аналитических лабораторий, в которых выполнялись анализы. Так, при рассмотрении в ГКЗ отчета 1982 г. [94] отмечалось, что величина минерализации по анализам лабораторий ВСЕГИНГЕО и Грузинского института курортологии и физиотерапии различаются до 0.5 г/л. Подобное отмечается и при смене лаборатории в 2013 г. Имевшие место значительные изменения минерализации (и состава воды) в некоторых скважинах могут быть объяснены только изменением их технического состояния, проявляющегося в виде нарушения сплошности обсадных колонн вследствие процесса коррозии. Наиболее резко это произошло в скважинах 4э и 101. Данное явление было ошибочно интерпретировано гидрогеологами при оценке запасов 1982 г. [94] и фирмой Антея в 2006 г. [107], как подтягивание пресных вод из-за пределов гидроинжекционного купола, приведшее к разубоживанию минеральных вод, выводимых этими скважинами.

3.3. Анализ результатов эксплуатации месторождения с 2015 по 2019 гг.

Анализ ретроспективных материалов эксплуатации при различных схемах расположения скважин, их количестве и разной величине водоотбора, в сочетании с результатами проведенных в разное время геологоразведочных работ, выявил следующие возможности прироста водоотбора Боржомского месторождения:

- перевод самоизливающих скважин на насосную эксплуатацию;
- перевод имеющихся наблюдательных скважин в эксплуатационные;
- бурение дополнительных разведочно-эксплуатационных скважин.

Данные предложения были реализованы в процессе опытно-промышленной эксплуатации, которая осуществляется с ноября 2015 г. В первый год производился ряд технологических и гидрогеологических работ с целью подбора оптимальных нагрузок на каждую скважину на всех трёх участках. В ноябре 2016 года удалось стабилизировать суммарный водоотбор, который до конца работы оставался практически стабильным, либо изменялся по заданной программе. В связи с тем, что все работы проводились в условиях работы действующего предприятия по розливу минеральных вод, то необходимое количество воды подавалось на заводы, а оставшая вода - на сброс.

Выделение отдельных гидродинамических этапов при анализе режима

эксплуатации основывалось как на величине суммарного водоотбора по участку, так и на реакции уровней эксплуатационных и наблюдательных скважин, также учитывались изменения в схеме эксплуатации.

3.3.1. Центральный участок

Гидродинамический режим

С ноября 2015 по декабрь 2019 гг. в период проведения исследований с целью увеличения водоотбора эксплуатация на Центральном участке осуществлялась семью скважинами (рис. 3.12) [59]. В ограниченном режиме самоизлива работала скважина 41р, шесть скважин в процессе работ были переведены на насосную эксплуатацию (1, 21, 21э, 59, 131, 103).

Отметим, что скважины 102, 128, 103 с уровнем ниже поверхности земли до начала современного этапа эксплуатации более 40 лет использовались в качестве наблюдательных. В процессе проведения опытных откачек скважина 103 показала стабильную работу с дебитом $30 \text{ м}^3/\text{сут}$ при понижении 22 м, минерализации 5.7 г/л и газовом факторе 1, и была введена в опытно-промышленную эксплуатацию. В то же время, откачки показали нецелесообразность ввода в эксплуатацию скважин 102 и 128, по ним продолжились режимные наблюдения за уровнями. Наблюдательной также осталась скважина 13 в Парке. Геофизические работы выявили техническую неисправность скважины 101э, добыча минеральных вод в ней была прекращена.

В связи с тем, что с 2000-х годов до 60-70% суммарного водоотбора по участку добывалось скважиной 41р на подучастке Папа-2, в конце 2015 года было начато бурение её дублера – скважины 131. Впервые на Боржомском месторождении был учтён самоизлив при бурении и реакция на него остальных скважин участка.

Гидродинамический период разделён на четыре этапа: неравномерного режима водоотбора (I), форсированного режима водоотбора (II), стабилизации режима (III) и прироста водоотбора относительно этапа III (IV). Каждый из перечисленных этапов подробно рассмотрен далее по тексту.

Этап неравномерного режима водоотбора (ноябрь 2015 - октябрь 2016 гг.)

Гидродинамический этап I (01.11.2015-23.10.2016) характеризуется неравномерным суммарным водоотбором в связи с вводом в эксплуатацию наблюдательной скважины 103, бурением новой скважины 131 и её вводом, а также подбором оптимальных нагрузок по остальным скважинам участка. Среднесуточные колебания дебита внутри периода составляли от 1510 до $41 \text{ м}^3/\text{сут}$. Среднее значение суммарного водоотбора за период составляет $226 \text{ м}^3/\text{сут}$, что превышает средний отбор в январе-октябре 2015 г. на $77 \text{ м}^3/\text{сут}$.

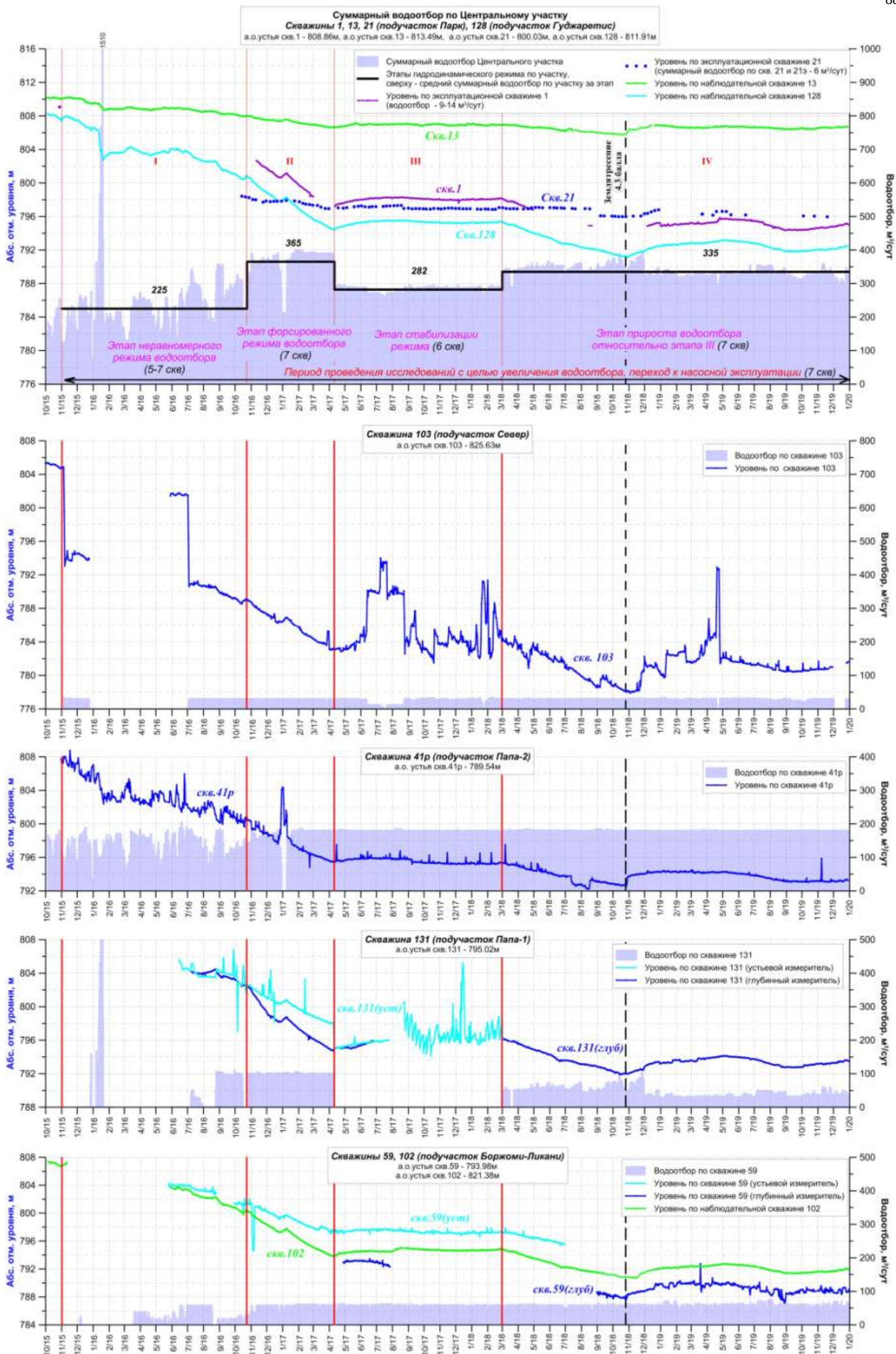


Рис. 3.12. Гидродинамический режим Центрального участка с 2015 по 2019 гг.

Необходимо отметить, что первый самоизлив при бурении скважины 131 был зарегистрирован в период с 27 по 28 декабря 2015 г. со средней величиной $115 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Однако, выделение основного объёма газоводяной смеси произошло с 7 по 20 января 2016 года со средним дебитом минеральной воды $344 \text{ м}^3/\text{сут.}$, достигая 19 января максимальной величины в $1360 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Снижение уровней по скважинам участка, как реакция на самоизлив, составила: по наблюдательным скважинам 13 и 128 - 0.82 и 3.65 м соответственно, по эксплуатационной скважине 41р – 3.62 м. Данные по уровням остальных скважин в этот период отсутствуют. В июле 2016 года скважина 131 была введена в опытную эксплуатацию, с сентября 2016 до апреля 2017 года её водоотбор составлял $100 \text{ м}^3/\text{сут.}$

В целом за 12 месяцев гидродинамического этапа I в результате прироста суммарного водоотбора уровни эксплуатационных и наблюдательных скважин снизились на 2.1-7.4 м и на конец этапа залегали на абсолютных отметках 789-808 м.

Этап форсированного режима водоотбора (октябрь 2016 - апрель 2017 гг.)

Гидродинамический этап II (24.11.2016-10.04.2017) может быть охарактеризован суммарным средним водоотбором в $365 \text{ м}^3/\text{сут.}$ С января 2017 года удалось достичь стабильного режима работы по всем скважинам участка без включений и выключений в течение суток (с дебитами: скв. 1, 21, 21э в Парке – $20 \text{ м}^3/\text{сут.}$, скв. 41р – $180 \text{ м}^3/\text{сут.}$, скв. 131 – $100 \text{ м}^3/\text{сут.}$, скв. 59 – $60 \text{ м}^3/\text{сут.}$, скв. 103 – $30 \text{ м}^3/\text{сут.}$), что значительно повысило представительность данных и позволило достигнуть суммарной величины в $390 \text{ м}^3/\text{сут.}$

С 30.12.2016 по 08.01.2017 на участке была произведена остановка работы эксплуатационной скважины 41р с целью оценки взаимовлияния со скважиной 131. При опыте по отключению скважины 41р остальные скважины работали с постоянными дебитами. Суммарный средний водоотбор по участку за 10 дней остановки составил $210 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Во всех скважинах (наблюдательных, опытных, эксплуатационных) произошло локальное восстановление уровней на 0.1-0.5 м.

В целом за 4 месяца гидродинамического периода II, в результате увеличения суммарного водоотбора по участку на $139 \text{ м}^3/\text{сут.}$ по сравнению с прошлым этапом, уровни всех наблюдательных и эксплуатационных скважин снизились на 1.3 - 7.7 м и залегали на абсолютных отметках 783-807 м.

Отметим, что автоматическая регистрация уровней по скважине 131 производилась устьевым и глубинным измерителями. Глубинный измеритель был установлен на глубине 107 м (ниже глубины, на которой происходит начало дегазации) и фиксировал пластовый уровень. При работе скважины 131 показания по устьевому измерителю были несколько

выше, чем по глубинному. Данная разница носит некоторый накопительный эффект и на конец периода II составила 2.95 м (рис. 3.12). Тот факт, что после выключения скважины данные датчиков показывают одни и те же значения, исключает факт технической неисправности. Выделения газа во время работы скважины оказывали влияние на данные получаемые устьевым измерителем. Таким образом, истинное значение уровня по самоизливающимся скважинам можно получить только по датчикам, установленным ниже глубины, на которой начинается дегазация. Данные по положению динамического уровня, полученные устьевым измерителем, реально фиксируются на более высоких абсолютных отметках, что может быть объяснено эффектом газлифта. Этот вывод был подтверждён при оборудовании скважины 59 глубинным датчиком (разница составила 4.16 м), а также при переводе самоизливающихся скважин на насосное оборудование.

Этап стабилизации режима (апрель 2017 – февраль 2018 гг.)

Гидродинамический этап III продолжительностью 11 месяцев (11.04.2017 – 28.02.2018) был выделен за счёт стабилизации уровней участка на абсолютных отметках 784-807 м при суммарном среднем водоотборе в 282 м³/сут. Снижение водоотбора было достигнуто из-за прекращения работы скважины 131. В результате уменьшения суммарного водоотбора на 83 м³/сут по наблюдательным и эксплуатационным скважинам на насосном способе эксплуатации в первые несколько месяцев зафиксировано восстановление уровней на 0.12-1 м. По самоизливающим скважинам 41р и 59 восстановления уровня не произошло. Однако, стоит учитывать, что реальные пластовые уровни по этим самоизливающим скважинам несколько ниже и по глубинным датчикам восстановление уровней, возможно, было бы зарегистрировано. По скважине 131 отмечено восстановление на 1.1 м, некоторое превышение в восстановлении над другими скважинами участка связано с выводом скважины из эксплуатации перед началом периода. Колебания уровня по скважине 131 связаны с накоплениями газа в стволе скважины, реальные значения получены после выпуска газа - соответствуют минимумам на графике (рис. 3.12).

По опытной скважине 103 с апреля 2017 года стала фиксироваться некоторая неустойчивость уровня в связи с её неудовлетворительным техническим состоянием.

Этап III использовался в качестве расчётного при переоценке запасов 2018 г.

Этап прироста водоотбора относительно этапа III (март 2018 – декабрь 2019 гг.)

Гидродинамический этап IV продолжительностью 22 месяца (01.03.2018 – 31.12.2019) выделен в связи с вводом в эксплуатацию скважины 131. Скважина 131 эксплуатировалась с дебитом 60 м³/сут до конца ноября 2018 г., затем её дебит был

снижен до 34 м³/сут. Эксплуатационные нагрузки по другим скважинам участка (1, 21, 21э, 41р, 59, 103) не изменялись с ноября 2016 года. Суммарный средний водоотбор по участку за этап составил 335 м³/сут.

В результате ввода скважины 131 к концу октября 2018 года по скважинам Центрального участка отмечено снижение уровней на 1.1-4.1 м. Вероятно, высокая амплитуда снижения уровней связана не только с увеличением суммарного водоотбора, но и с проявлением в октябре месяце эффекта форшока предстоящего землетрясения.

28 октября 2018 г. в Боржоми было зарегистрировано землетрясение магнитудой 4.3 балла, очаг которого находился в с. Рвели. Землетрясение оказало значительное влияние на положение уровней в скважинах Вашловани-Квибисского и Центрального участков, и не отразилось на режиме скважины 54 Ликанского участка. Влияние землетрясений, в том числе землетрясения 2018 г., на гидродинамический режим Боржомского месторождения более подробно рассмотрено в разделе 3.4.

Отметим, что за 2 недели с момента землетрясения (27.10.2018 - 10.11.2018 гг.) уровни по всем наблюдательным и эксплуатационным скважинам Центрального участка восстановились на 0.3-1.3 м. Первые числа мая 2019 г., по-видимому, можно считать пиком проявления землетрясения на Центральном участке. С конца октября 2018 года по начало мая 2019 гг. восстановление уровней по скважинам участка составило 0.6-2.2 м за счёт остаточного влияния землетрясения, а также за счёт уменьшения водоотбора по скважине 131 на 26 м³/сут.

В целом, на гидродинамическом этапе IV отсутствует направленная тенденция к снижению уровней, как на этапах I и II. Уровни по эксплуатационным и наблюдательным скважинам в декабре 2020 года залегают на абсолютных отметках 781-807 м. Анализ взаимосвязи суммарного водоотбора по участку и динамики уровней в 2018 - 2019 гг. был осложнён реакцией скважин на землетрясение. Минимальные уровни были зафиксированы в конце октября 2018 года перед землетрясением на абсолютных отметках 778-806 м. Подбор оптимальных дебитов по эксплуатационным скважинам Центрального участка продолжается в 2020 году.

На Центральном участке, в рассматриваемый период, помимо добычи Боржомской воды с минерализацией 5-7.5 г/л из водоносного комплекса верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений, велась добыча Боржоми с минерализацией 2-5 г/л из скважин, оборудованных на водоносный комплекс Боржомского флиша (рис. 3.13).

Опытная эксплуатация с ноября 2015 по декабрь 2019 гг. осуществлялась скважинами 125 (подучасток Папа-2), 123, 124, 124а (подучасток Папа-1), 129 (подучасток Гуджаретис) с суммарным среднемесячным отбором от 0 до 144 м³/сут. С декабря 2017

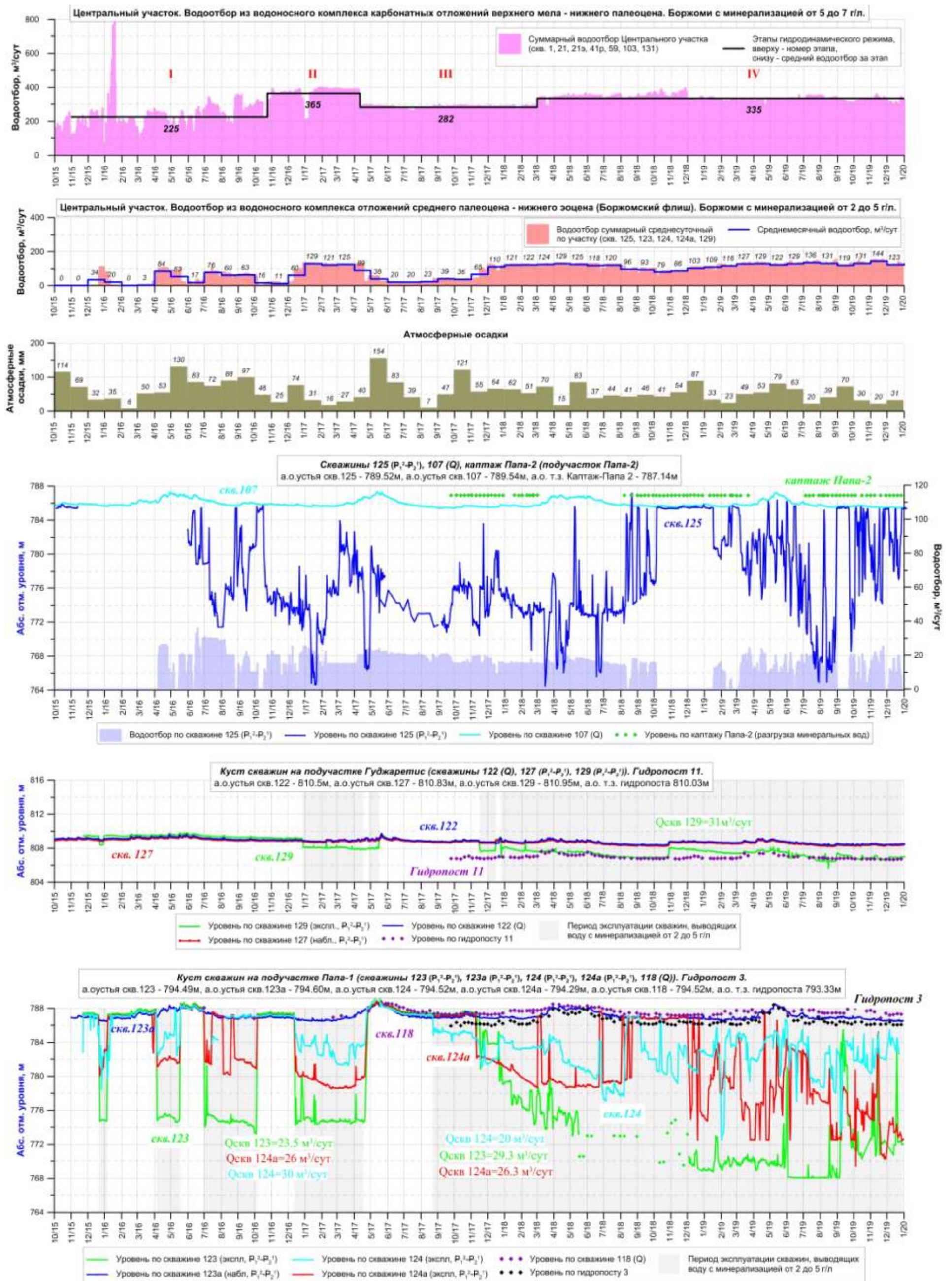


Рис. 3.13. Гидродинамический режим по скважинам отложений Боржомского флиша, четвертичного горизонта, режим поверхностных вод с 2015 по 2019 гг.

производимый водоотбор близок к величине утверждённых запасов в $124.6 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Статический уровень водоносного комплекса Боржомского флиша на подучастке Папа-2 залегает на абсолютной отметке 786 м, динамический уровень снижается до 764 м; статический уровень на подучастке Папа-1 - на отметках 787-789 м, динамический уровень снижается до 768 м; статический уровень на подучастке Гуджаретис - на отметках 809-810 м, динамический уровень снижается до 807 м.

Необходимо отметить, что наблюдения в 2016-2019 годах на подучастках Папа-1, Папа-2 и "Гуджаретис" велись во всех скважинах ярусных кустов, оборудованных на четвертичный горизонт, комплекс Боржомского флиша, комплекс верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений, а с сентября 2017 года в том числе и за поверхностными водами. Сопоставление уровней приведено на рис. 3.14.

Одновременно максимальные величины водоотбора из водоносного комплекса Боржомского флиша и верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса зафиксированы в январе-марте 2017 года (до $130 \text{ м}^3/\text{сут}$ и $365 \text{ м}^3/\text{сут}$ на этапе форсированного водоотбора соответственно). Уровни вод Боржоми с минерализацией от 5 до 7.5 г/л в указанный период значительно выше (более чем на 10 м) на подучастках Папа-1 и Папа-2, чем уровни вод Боржоми с минерализацией от 2 до 5 г/л . На подучастке Гуджаретис прослеживается обратная закономерность, уровень водоносного комплекса верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений ниже, чем в комплексе Боржомского флиша. Отметим, что на этом подучастке эксплуатация комплекса нижнемеловых-верхнепалеоценовых отложений в 2015-2018 годах не велась. Причина подобного положения уровней связана с суммарным водоотбором на Центральном участке и отрывом уровня в скважине 128 от русла реки. Действительно, абсолютные отметки уровней в наблюдательных скважинах 128 и 102 близки, в то время как в скважинах 127 и 123а (комплекс отложений Боржомского флиша), а также 118 и 122 (четвертичный горизонт) различаются почти на 21 м.

Таким образом, при включении в работу скважин 125, 123, 124, 124а и 129 с суммарным расходом, соответствующим утверждённым запасам в $124.6 \text{ м}^3/\text{сут}$, реакция скважин, оборудованных на водоносный комплекс верхнемеловых-нижнепалеоценовых карбонатных отложений, не отмечалась. Аналогично наблюдательные скважины, оборудованные на водоносный комплекс Боржомского флиша, не реагировали на изменения водоотбора из водоносного комплекса верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений. Таким образом, взаимовлияние водоотбора вод Боржомского типа с минерализацией от 5 до 7.5 г/л и вод с минерализацией от 2 до 5 г/л не прослеживается и в процессе мониторинга отсутствовала.

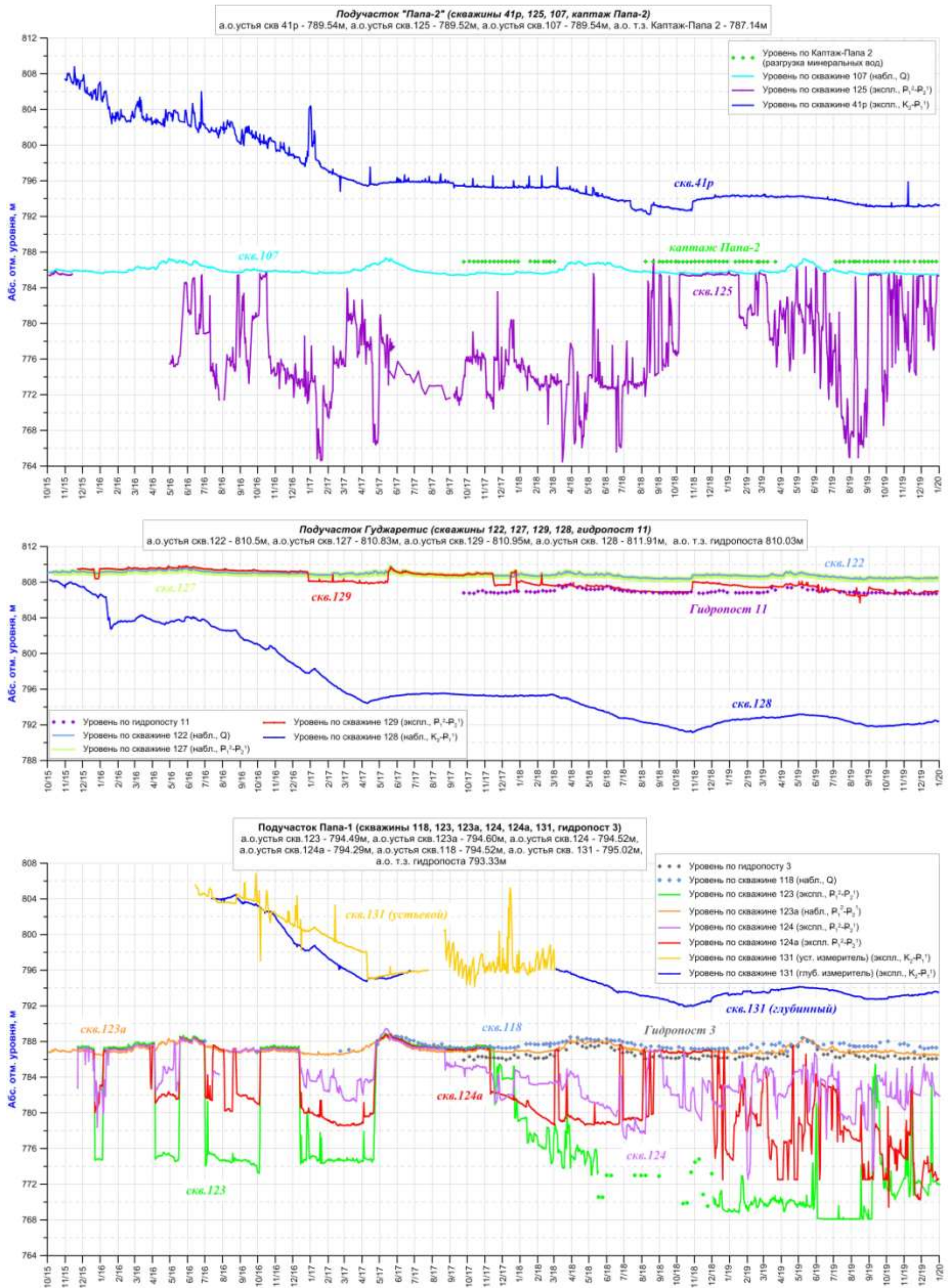


Рис. 3.14. Сопоставление уровней четвертичного горизонта, комплекса Боржомского флиша, комплекса верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений, поверхностных вод на подучастках Папа-1, Папа-2, Гуджаретис Центрального участка в 2015-2019 гг.

Наблюдательные скважины 107 (подучасток Папа-2) и 122 (подучасток Гуджаретис), 118 (подучасток Папа-1) оборудованы на четвертичный водоносный горизонт. Абсолютная отметка уровня по скважине 107 изменялась от 785 до 787 м, по скважине 122 – от 808 до 810 м, по скважине 118 – от 787 до 789 м. По всем скважинам горизонта прослеживается прямая зависимость – максимальные уровенные значения соответствуют максимальным уровням в реках.

С сентября 2017 года велись наблюдения за поверхностными водами по гидропостам 5 (р. Боржомула), 11 (р. Гуджаретис), 3 (р. Кура). Зафиксированы следующие абсолютные отметки уровней за весь период наблюдений: гидропост 5 – 797-798 м, гидропост 11 – 807-808 м, гидропост 3 – 786-788 м. Колебания уровня определяются периодом водности рек, который на режиме водоносного комплекса верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений не отражается.

Помимо прочего, в 2015 году была установлена разгрузка минеральных вод в пойме р. Куры. В сентябре 2017 года родник был каптирован для наблюдений. Абсолютная отметка уровня каптажа Папа-2 с сентября 2017 по декабрь 2019 гг. составила 787 м при расходе $8.6 \text{ м}^3/\text{сут}$. С марта по июль ежегодно каптаж затапливается и вести режимные наблюдения не представляется возможным. Наличие разгрузки минеральных вод в пойме и в русло реки Куры при суммарном отборе из комплекса верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений в $335 \text{ м}^3/\text{сут}$ свидетельствует о возможности превышения ресурсов комплекса над величиной достигнутого отбора.

Газогидрохимический режим

Характеристика качества минеральных вод из водоносного комплекса верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений на современном этапе эксплуатации производится, как и на ретроспективном этапе, на основании анализа изменения содержания основных компонентов, формирующих Боржомскую воду: суммы катионов натрия и калия, анионов хлора и гидрокарбоната, а также минерализации и газового фактора (рис. 3.15, 3.16). В 2015-2019 гг. скважинами Центрального участка 1, 21, 21э, 41р, 131, 59 и 103 (табл. 3.2) выводились воды с минерализацией от 5.0 до 6.8 г/л, с концентрацией катионов натрия и калия от 1.27 до 1.77 г/л, аниона гидрокарбоната от 3.39 до 4.39 г/л и аниона хлора от 0.19 до 0.51 г/л. Температура минеральных вод изменяется от 16 до 40 °С. Состав растворенных и спонтанных газов на 86-94% представлен углекислым газом, метаном 3-7%, азотом 2-9%. Растворенная углекислота содержится в минеральных водах в количестве 850-1400 мг/л.

Величины газового фактора по скважинам Центрального участка (табл. 3.3) в период с 2015 по 2019 годы фиксируются в интервале 0.25-1.8, характеризуюсь стабиль-

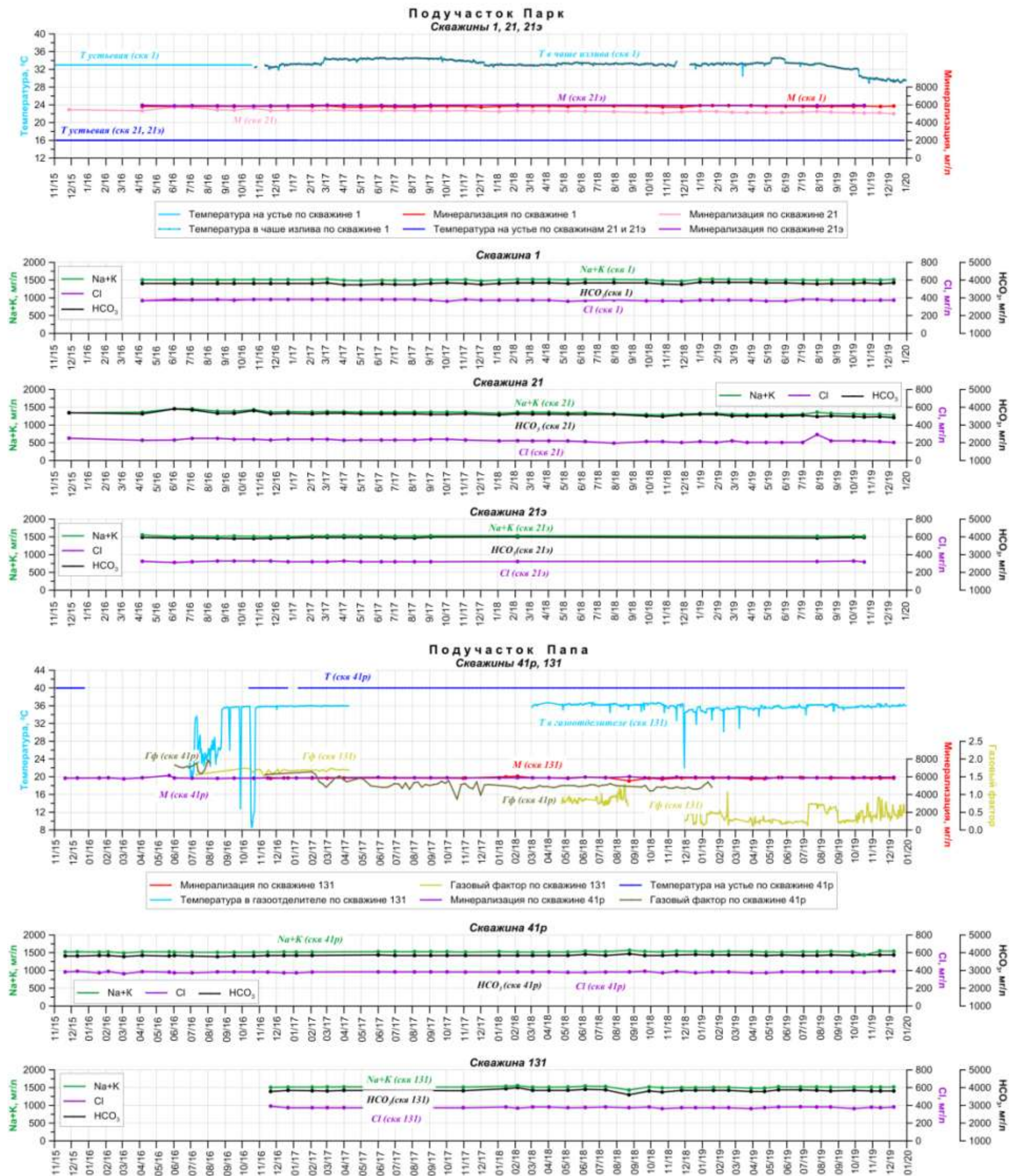




Рис. 3.16. Газогидрохимический режим Центрального участка (подучастки Боржоми-Ликани и Север) с 2015 по 2019 гг.

Таблица 3.2

Обобщённые данные о составе минеральных вод по верхнемеловому-нижнепалеоценовому водоносному комплексу на Центральном участке на современном этапе эксплуатации (2015-2019 гг.)

	№ скв	1	21	21э	41р	131	59	103
Минерализация, мг/л	max	5917	5721	5997	6146	6068	6805	5903
	min	5728	5010	5877	5769	5536	6527	5102
	среднее	5832	5296	5929	5894	5858	6714	5239
	Δ	190	711	119	377	532	278	801
Na+K, мг/л	max	1528	1458	1553	1568	1555	1770	1503
	min	1468	1275	1509	1433	1433	1691	1296
	среднее	1505	1347	1522	1523	1512	1749	1347
	Δ	60	183	45	135	122	79	207
HCO₃, мг/л	max	3880	3904	3995	3935	3995	4392	3939
	min	3736	3416	3904	3782	3599	4240	3386
	среднее	3815	3598	3947	3847	3832	4335	3479
	Δ	144	488	91	153	396	152	553
Cl, мг/л	max	382	293	328	391	391	506	311
	min	360	195	311	364	363	391	275
	среднее	375	226	322	381	376	480	292
	Δ	22	98	17	27	28	115	36

Таблица 3.3

Газовый фактор эксплуатационных и опытных скважин верхнемелового - нижнепалеоценового водоносного комплекса Центрального участка в 2015-2019 гг.

№ скв	Газовый фактор (среднее)	Водоотбор, м³/сут
41р	1.8	Q=150
	1.25	Q=180
131	1.67	Q=100
	0.9	Q=60
	0.25	Q=35
102	1.73	Q=26
59	2	Q=60
103	1.1	Q=30

ностью и зависят от собственного водоотбора скважины.

Таким образом, рассматриваемые минеральные воды относятся к холодным и термальным, углекислым, среднеминерализованным, гидрокарбонатным, натриевым водам. В ходе опытно-промышленной эксплуатации качество минеральных вод характеризуется стабильностью, колебания основных параметров газохимического состава носят скорее технический и аналитический, а не геохимический характер. Отметим, что направленной тенденции изменения качества вод из водоносного комплекса верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений Центрального участка не наблюдалось

даже в период форсированного режима водоотбора с суммарным средним дебитом 365 м³/сут с ноября по апрель 2017 года. Стабильность не была нарушена в результате землетрясения в конце октября 2018 года.

На подучастках Папа и Гуджаретис Центрального участка Боржомского месторождения часть скважин (123, 124, 124а, 125 и 129) выводит маломинерализованную гидрокарбонатную натриевую воду из среднепалеоценового-нижнеэоценового водоносного комплекса с минерализацией менее 5 г/л. Она является смесью классических минерализованных боржомских вод с минерализацией 5-7.5 г/л с пресными водами аллювиальных отложений. Характеристика качества слабоминерализованных минеральных вод дана за временной период эксплуатации 2015-2019 г.г (рис. 3.17, табл. 3.4).

Таблица 3.4

Обобщённые данные о составе минеральных вод по водоносному комплексу Боржомского флиша на Центральном участке в 2015-2019 гг.

	№ скв	123	124	124а	125	129
Минерализация, мг/л	max	3779	4577	2813	2133	3886
	min	3002	2504	1765	1691	1019
	среднее	3424	3194	2089	2017	1354
	Δ	777	2073	1048	443	2867
Na+K, мг/л	max	942	1119	648	496	964
	min	759	602	402	385	246
	среднее	851	765	477	463	354
	Δ	183	517	246	111	719
HCO₃, мг/л	max	2501	3020	1861	1435	2593
	min	1983	1647	1159	1129	689
	среднее	2283	2111	1376	1359	924
	Δ	518	1373	702	306	1904
Cl, мг/л	max	204	264	124	94	211
	min	151	107	64	71	25
	среднее	177	155	82	83	38
	Δ	53	158	60	23	186

Концентрации основных макроанионов и макрокатионов изменялись в пределах от 0.69 до 3.02 г/л для гидрокарбонатов, от 0.02 до 0.26 г/л для хлоридов и от 0.25 до 1.12 г/л для суммы натрия и калия. В анализируемом ряде проб за последние четыре года минимум показателя минерализации составил 1.02 г/л, максимум - 4.58 г/л. Широкий диапазон между минимальными и максимальными зафиксированными значениями приоритетных показателей по каждой скважине позволяет сделать вывод о неустойчивом режиме химического состава минеральных вод водоносного комплекса Боржомского флиша на начальном этапе их эксплуатации. После ввода в эксплуатацию скважин 124,

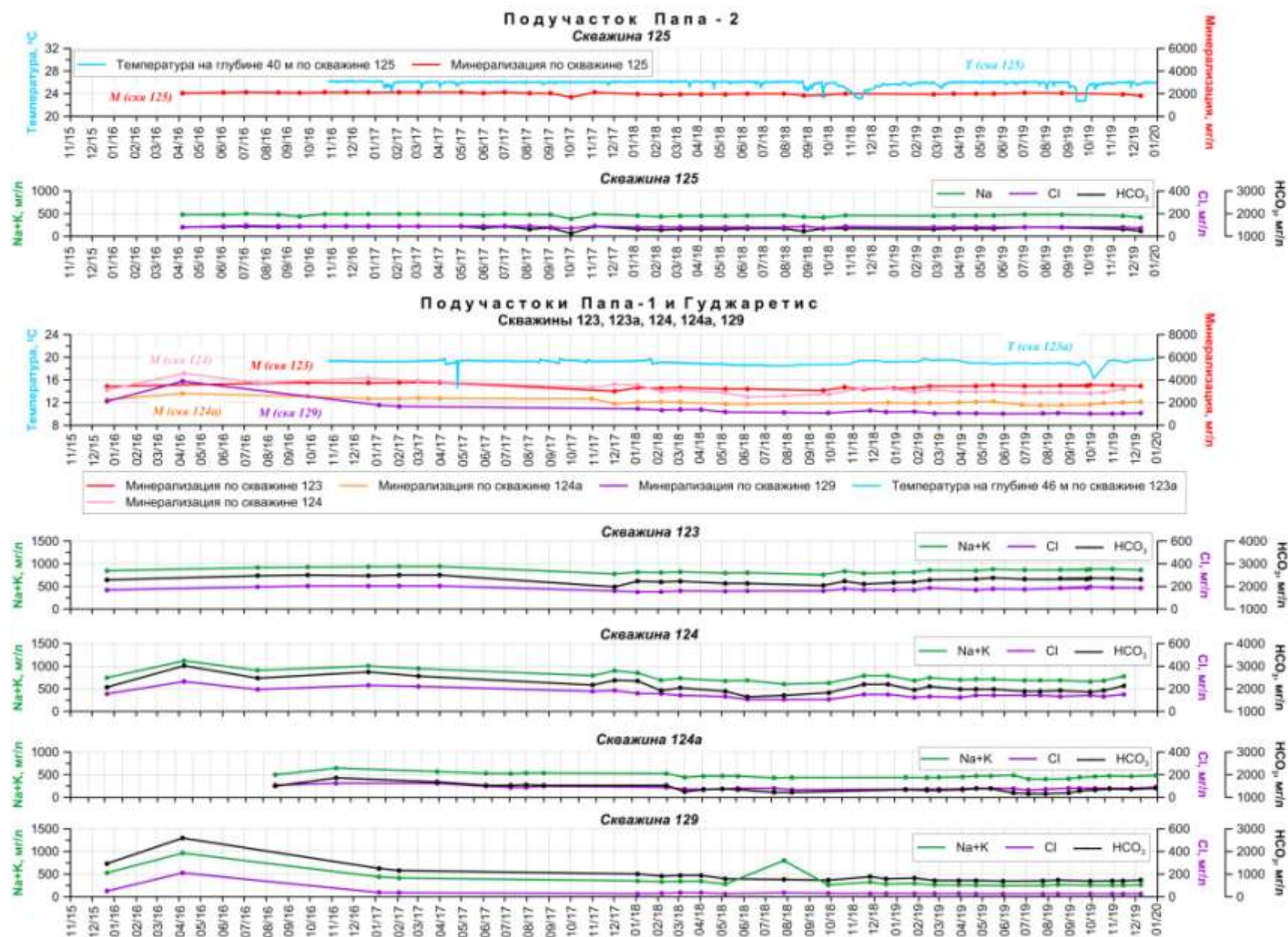


Рис. 3.17. Гидрохимический режим маломинерализованных вод Боржомского типа в 2015-2019 гг.

124а и 129 в течение года наблюдалось опреснение воды, что может быть связано с подтоком вод аллювия. При дальнейшей эксплуатации в 2018-2019 гг. тенденция к опреснению отсутствовала. Температура минеральных вод изменялась от 18-26 °С. Состав растворенных и спонтанных газов на 90-95% представлен углекислым газом. Рассматриваемые минеральные воды относятся к холодным и теплым, углекислым, слабоминерализованным, гидрокарбонатным, натриевым водам.

3.3.2. Ваиловани-Квибисский участок

Гидродинамический режим

С 2015 по 2019 гг. эксплуатация участка осуществлялась семью скважинами (рис. 3.18). В ограниченном режиме самоизлива работала скважина 38э, шесть скважин продолжили работу насосным оборудованием или были на неё переведены в процессе работ по мере снижения уровней или дебитов самоизлива (25э, 67, 38, 37, 70, 47).

До 2015 года скважины 47 и 67 с уровнями ниже поверхности земли были наблюдательными. При проведении опытных откачек было показана их устойчивая работа (скважина 47 – дебит 80 м³/сут при понижении 6 м, минерализация 6 г/л, газовый фактор 0.6, скважина 67 – дебит 20 м³/сут при понижении 22 м, минерализация 6.2 г/л, газовый фактор 0.4) и принято решение о вводе в эксплуатацию.

Ввод скважин в эксплуатацию и подбор оптимальных нагрузок по скважинам участка осуществлялся постепенно. В конце 2018 года значительное влияние на эксплуатацию участка оказало землетрясение. В связи с этим гидродинамический период проведения исследований с целью увеличения водоотбора разделён на четыре этапа: два этапа неравномерного режима водоотбора (ступень 1 – I, ступень 2 – II), приближения к стабилизации режима (III) и проявления влияния землетрясения (IV). Каждый из перечисленных этапов подробно рассмотрен далее по тексту.

Этапы неравномерного режима водоотбора (ступень 1: ноябрь 2015 - июнь 2016 гг., ступень 2: июль – декабрь 2016 гг.)

Гидродинамические этапы I (01.11.2015-27.06.2016) и II (28.06.2016 – 06.12.2016) характеризуются неравномерным режимом водоотбора со средними значениями за этап 277 и 357 м³/сут соответственно.

Выделение этапа I обусловлено введением в опытную эксплуатацию наблюдательных скважин 47 и 67 с дебитами 50 и 40 м³/сут соответственно. Однако, обеспечить стабильную бесперебойную работу опытных скважин на протяжении всего этапа не удалось по техническим причинам (средний водоотбор по опытным скважинам за этап 65 м³/сут). В неравномерном режиме с переменными среднесуточными дебитами

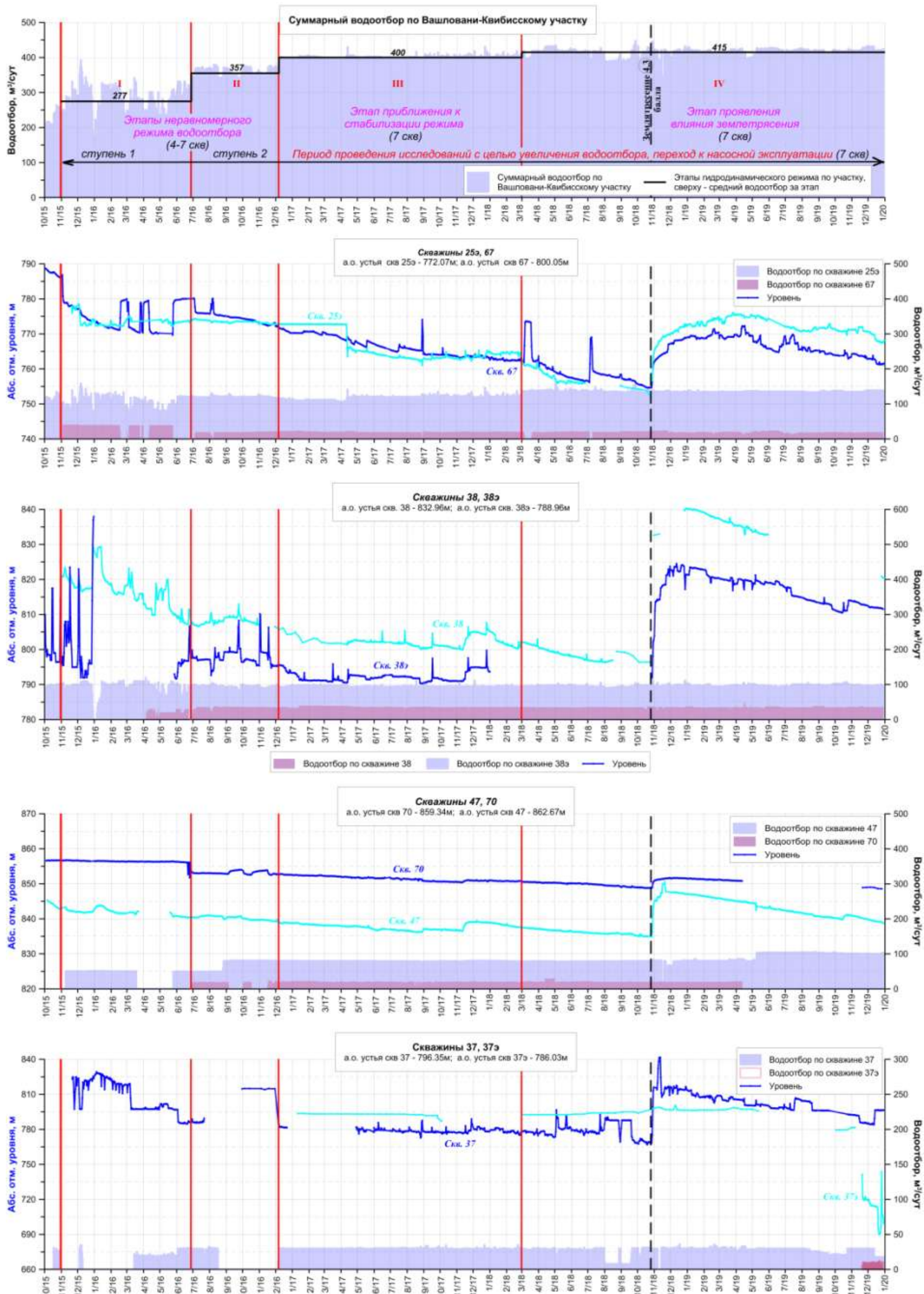


Рис. 3.18. Гидродинамический режим Вашловани-Квибисского участка в 2015-2019 гг.

продолжалась эксплуатация скважин 25э, 38э, 37, в апреле 2016 года в работу была введена скважина 38 (средний водоотбор по эксплуатационным скважинам за этап 212 м³/сут). Необходимо отметить, что на этапе I скважина 37 была переведена с самоизлива на насосную эксплуатацию. При эксплуатации скважины насосом был получен истинный пластовый уровень 786.2 (поправка составила 10.3 м).

Этап выделен в связи с введением в работу скважины 70 с отбором 20 м³/сут. В связи с техническими особенностями, периоды работы скважины 70 сменялись остановками. Однако, эксплуатация на участке стала осуществляться семью скважинами. По опытным скважинам 47 и 67 было произведено перераспределение нагрузок: по скважине 67 отбор с 40 м³/сут снижен до 20 м³/сут, а по скважине 47 дебит увеличен с 50 до 80 м³/сут. К концу этапа удалось достигнуть стабильного режима работы по остальным скважинам участка без суточных изменений отбора (скв. 25э – 120 м³/сут, скв. 38э – 95 м³/сут, скв. 38 – 35 м³/сут, скв. 37 – 30 м³/сут). Данные эксплуатационные нагрузки в последующем изменялись незначительно.

В целом, с ноября 2015 по декабрь 2016 гг. суммарный водоотбор по участку был увеличен на 160 м³/сут. Снижение уровней по скважинам участка, как реакция на существенный прирост водоотбора, зафиксировано только по скважинам на насосном способе эксплуатации и равно 3.4-14.7 м. На конец гидродинамического этапа II уровни залежали на а.о. 772-853 м.

Этап приближения к стабилизации режима (декабрь 2016 – февраль 2018 гг.)

Гидродинамический этап III (с 07.12.2016 по 28.02.2018) в течение 15 месяцев характеризуется стабильным суммарным водоотбором по участку в 400 м³/сут. При этом снижение уровней составило 2-9.2 м (а.о. 763-851 м). Стабилизация уровней по состоянию на февраль 2018 года не отмечалась (исключение скв. 25э), однако, скорость снижения уровней в последние месяцы была значительно ниже, чем в начале гидродинамического этапа.

Необходимо отметить, что скважина 25э в апреле 2017 года в связи с падением отбора с 120 до 110 м³/сут была переведена с газлифта на насосную эксплуатацию. При смене режима эксплуатации было получено истинное значение уровня, поправка составила 6.55 м.

В середине ноября 2017 года по всем скважинам участка отмечается подъём уровней на 0.5-4 м, связанный по-видимому с сейсмической активностью. По скважинам Центрального и Ликанского участков подобное явление не зафиксировано. За последующие 3 месяца наблюдается снижение уровней к исходным значениям ноября.

Этап III использовался в качестве расчётного при оценке запасов 2018 г.

Этап проявления влияния землетрясения (март 2018 – декабрь 2019 гг.)

На гидродинамический режим этапа IV (01.03.2018-31.12.2019) оказало значительное влияние землетрясение от 28 октября 2018 года магнитудой 4.3 балла с эпицентром в с. Рвели (более подробно в разделе 3.4). Прирост водоотбора относительно предыдущего этапа получен за счёт увеличения дебита скважины 25э со 120 до 135 м³/сут, таким образом, средний суммарный водоотбор за этап составил 415 м³/сут. Снижение уровней в течение 8 месяцев (с марта по октябрь 2018 г.) на 1.9-11.4 м связано не только с увеличением суммарного отбора, но и с проявлением эффекта форшока землетрясения. Все скважины участка в первые сутки отреагировали на землетрясение восстановлением уровней на 3-47.8 м. После разновременного достижения своего пикового значения уровни медленно снижаются. По состоянию на конец декабря 2019 г. снижение уровней относительно своих пиковых значений составляет 7.4-20.8 м, однако, они не достигли своих минимальных значений, регистрировавшихся перед землетрясением.

Необходимо отметить, что в 2019 году на участке велись технологические работы на скважинах 37э и 70. В связи с этим, скважина 70 в апреле 2019 г была выведена из эксплуатации, её нагрузка в 20 м³/сут была временно перераспределена на скважину 47, отбор которой составил 100 м³/сут. Работы по скважине 70 продолжались до конца гидродинамического этапа. В то время как, переоборудование скважины 37э было завершено в ноябре 2019 г. Скважина была переведена из наблюдательной в опытную и стала работать на сброс с дебитом 13 м³/сут.

Газогидрохимический режим

Анализ качества минеральных вод водоносного комплекса верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений на Вашловани-Квибисском участке осуществлялся в 2015-2019 гг. по ряду эксплуатационных и опытных скважин - 25э, 38, 38э, 37, 67, 47, 70 (рис. 3.19). Концентрации основных макроанионов и макрокатионов находятся в пределах (табл. 3.5) от 3.51 до 4.82 г/л для гидрокарбонатов, от 0.24 до 0.47 г/л для хлоридов и от 1.45 до 2.03 г/л для суммы натрия и калия. В анализируемом ряде проб за последние четыре года минимум показателя минерализации составил 5.33 г/л, максимум - 7.31 мг/л. Температура минеральных вод изменяется от 23 до 41⁰С. Состав растворенных и спонтанных газов на 46-72% представлен углекислым газом, метаном 22-41%, азотом 2-9%. Величины газового фактора по скважинам участка фиксируются в интервале 0.37-0.8 (табл. 3.6), характеризуясь стабильностью.

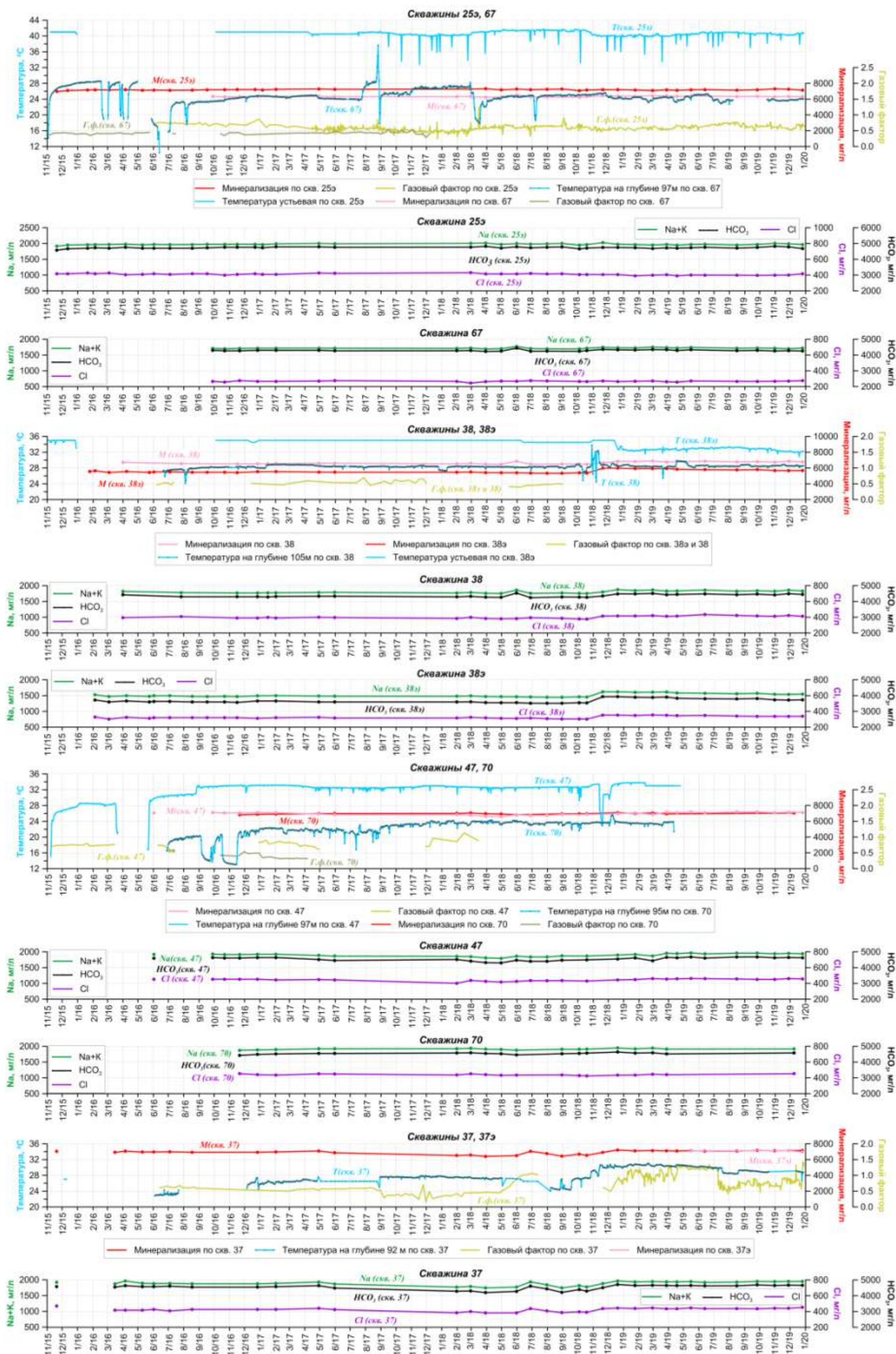


Рис. 3.19. Газогидрохимический режим Вашловани-Квибисского участка в 2015-2019 гг.

Таблица 3.5

Обобщённые данные о составе минеральных вод по верхнемеловому-нижнепалеоценовому водоносному комплексу на Вашловани-Квибисском участке на современном этапе эксплуатации (2015-2019 гг.)

	№ скв	25э	38	38э	37	67	47	70
Минерализация, мг/л	max	7315	6880	5984	7205	6533	7193	7081
	min	6968	6466	5330	6399	6237	6588	6812
	среднее	7194	6636	5561	6897	6332	6963	6965
	Δ	347	414	653	805	296	605	269
Na+K, мг/л	max	2026	1874	1620	1963	1773	1967	1946
	min	1915	1745	1445	1742	1690	1794	1872
	среднее	1979	1798	1507	1876	1716	1897	1912
	Δ	112	130	175	222	83	173	74
HCO ₃ , мг/л	max	4824	4600	3934	4715	4437	4679	4636
	min	4575	4240	3511	4200	4227	4300	4423
	среднее	4739	4366	3661	4519	4287	4540	4544
	Δ	249	360	423	515	210	379	213
Cl, мг/л	max	431	434	355	470	275	462	456
	min	391	355	302	382	244	401	424
	среднее	412	399	324	422	267	444	441
	Δ	40	79	53	88	31	61	32

Таблица 3.6

Газовый фактор эксплуатационных и опытных скважин верхнемелового - нижнепалеоценового водоносного комплекса Вашловани-Квибисского участка в 2015-2019 гг.

№ скв	Газовый фактор (среднее)	Водоотбор, м ³ /сут
25э	0.52	Q=120
	0.62	Q=135-140
67	0.42	Q=20-40
38+38э	0.55	Q=130
47	0.75-0.8	Q=50-80
70	0.37	Q=20
37	0.5-0.6	Q=30

Таким образом, рассматриваемые минеральные воды относятся к термальным, углекислым, среднеминерализованным, гидрокарбонатным, натриевым водам. В ходе опытно-промышленной эксплуатации 2015-2019 гг. качество минеральных вод характеризуется стабильностью. Направленной тенденции изменения качества не наблюдалось даже при землетрясении в конце октября 2018 г.

3.3.3. Ликанский участок

Гидродинамический режим

На современном этапе эксплуатации скважина 54 с целью увеличения водоотбора

была дважды переоборудована. В связи с этим с декабря 2017 по 2019 гг. выделено три этапа работы скважины (рис. 3.20): увеличения водоотбора за счёт смены сифоида, проведения технологических работ и форсированного режима водоотбора за счёт перехода к насосной эксплуатации.

Этап увеличения водоотбора за счёт смены сифоида (декабрь 2017-август 2018 гг.)

Этап I был выделен в связи с проведением опыта по возможности увеличения водоотбора за счёт установки сифоида большего диаметра. Опыт продолжался в течение 8.5 месяцев (20.12.2017 - 04.09.2018 гг.). Переоборудование позволило локально увеличить дебит до 100 м³/сут, однако, к июлю 2018 г. дебит скважины вернулся к первоначальным значениям в 75 м³/сут. Средний водоотбор за этап составил 82 м³/сут. Основное снижение уровня фиксировалось в первые 3 месяца. Уровень стабилизировался на а.о. 898.3 м (снижение уровня на 5.6 м за этап).

Этапы проведения технологических работ и форсированного режима водоотбора за счёт перехода к насосной эксплуатации (сентябрь 2018 - декабрь 2019 гг.)

Этап II был выделен в связи с остановкой скважины для её переоборудования на 30 календарных дней. Статический уровень при этом находился на а.о. 907.9 м.

Этап III характеризуется проведением опыта по возможности увеличения водоотбора за счёт установки насосного оборудования. Опыт продолжается (с 05.10.2018) по настоящее время. В течение 15 месяцев скважина эксплуатируется с постоянным дебитом 96 м³/сут при плавном снижении уровня от статического 907.9 до 883 м. Темп снижения уровня постепенно замедляется, стабилизация по состоянию на 31 декабря 2019 г. не фиксируется. Отметим, что землетрясение 28.10.18 г., оказавшее эффект на Центральный и Вашловани-Квибисский участок, на Ликанском участке не проявилось.

Газогидрохимический режим

Скважиной 54, оборудованной на водоносный комплекс верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений, в 2017-2019 гг. выводились воды (рис. 3.20) с минерализацией от 5.5 до 5.7 г/л, с содержанием катионов натрия и калия от 1.22 до 1.31 г/л, аниона гидрокарбоната от 3.78 до 3.9 г/л и аниона хлора от 0.23 до 0.27 г/л. Температура минеральной воды на устье составляла 37-38 °С. Состав растворенных и спонтанных газов на 83-95% представлен углекислым газом, метаном 1-2%, азотом 2-10%. Величины газового фактора фиксировались в интервале 1-1.5 и зависели от водоотбора скважины. Таким, образом, рассматриваемые минеральные воды относятся к термальным, углекислым, среднеминерализованным, гидрокарбонатным, натриевым водам и характеризуются стабильным качеством при различных эксплуатационных нагрузках.

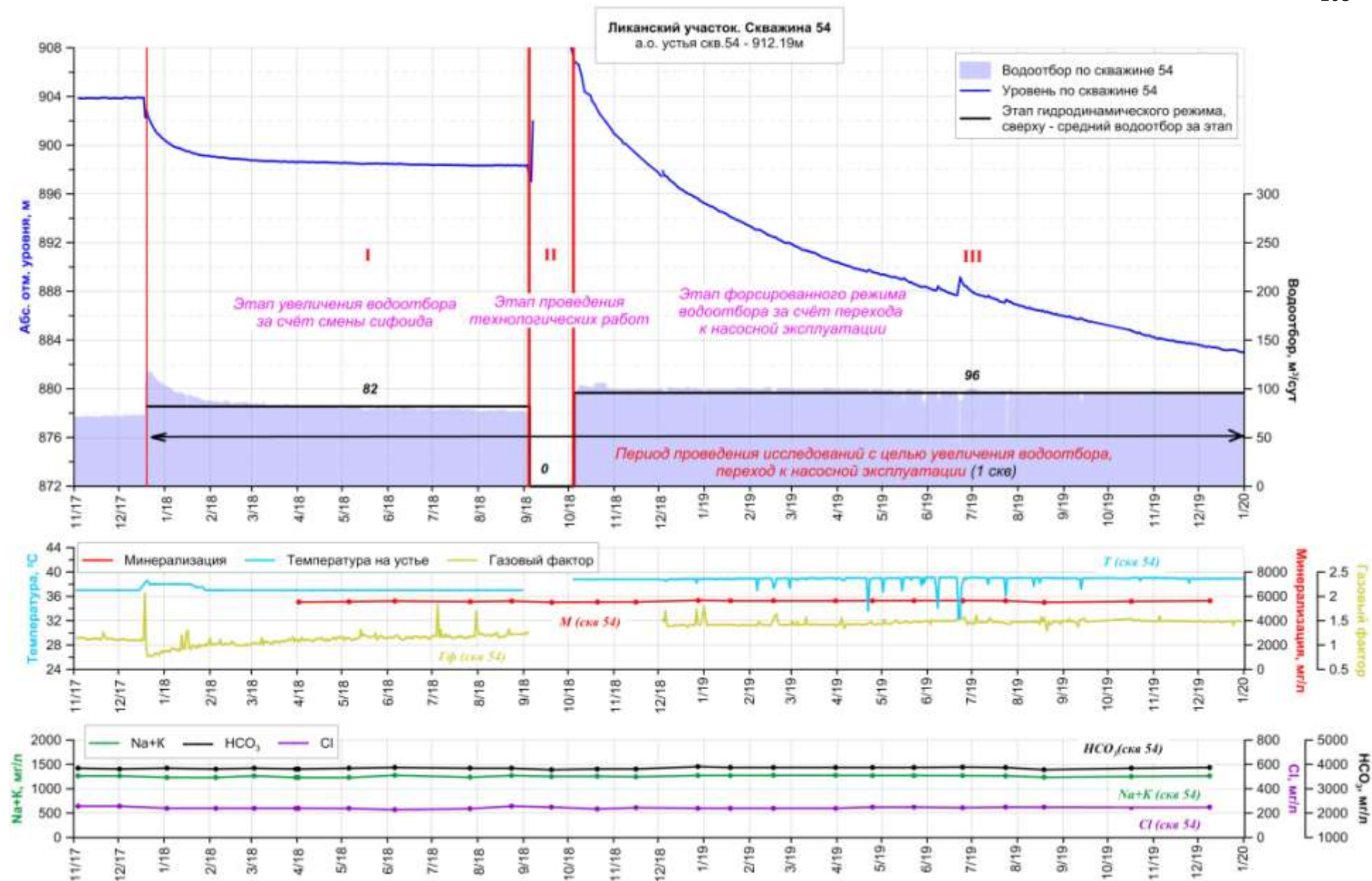


Рис.3.20. Гидродинамический и газогидрохимический режим Ликанского участка в 2018-2019 гг.

3.4. Влияние землетрясений на режим минеральных вод

В связи с тем, что Боржомский район характеризуется высокой сейсмичностью, то анализ режима эксплуатации месторождения необходимо вести с учётом влияния землетрясений на величину расходов и напоров минеральных вод. Влияние землетрясений на гидродинамический и геохимический режим месторождения было подробно рассмотрено в работах [94, 107]. Авторами отмечалось, что в период 1972-2002 гг. (30 лет) в радиусе 120 км от Боржомского месторождения было зафиксировано до 100 землетрясений силой не менее 3 баллов. Эпицентры более чем половины этих землетрясений были расположены в районе озера Паравани, на расстоянии 10-120 км к юго-западу от Боржомского месторождения; эпицентры остальных землетрясений значительной силы (до 6 баллов) в основном располагались в рамках Аджаро-Триалетской складчатой системы. Влияние землетрясений на колебания дебитов и уровней скважин месторождения выражается тем более резко, чем ближе расположен очаг эпицентра землетрясения к исследуемому объекту. Реакция уровней и дебитов скважин носит временный характер и со временем восстанавливается до обычных значений. За анализируемый 30-летний период влияние землетрясений наиболее часто проявлялось на Вашловани-Квибисском участке. Участок приурочен к погребённым антиклинальным складкам, которые являются наиболее закрытыми тектоническими структурами, а значит упругие состояния водоносного горизонта минеральных вод передаются по площади и глубине значительно быстрее, чем в раскрытой приподнятой антиклинальной складке Центрального участка.

В связи с тем, что до 2015 г. скважины месторождения эксплуатировались в режиме самоизлива, то анализ влияния землетрясений на режим минеральных вод в отчете [107] проводился на основе сопоставления землетрясений с естественным изменением дебитов самоизлива эксплуатационных скважин. Как видно из таблицы 3.7, наиболее значительное влияние на состояние режима Вашловани-Квибисского участка оказали землетрясения в декабре 1988 г., мае 1996 г., июне и августе 2002 г. На землетрясения в большей степени реагировала скважина 25э (изменение дебита самоизлива достигало $41 \text{ м}^3/\text{сут}$), сравнительно редко и меньше - скважина 38э и незначительно скважина 37. Влияние землетрясений на газогидрохимический режим месторождения не выявлен.

Анализ влияния землетрясений на современный режим Боржомского месторождения проводился для землетрясений, зафиксированных на территории Грузии с 2015 по 2019 гг., с магнитудой свыше 4 балла. На основе корреляции землетрясений и режимных данных можно отметить два сейсмических события, которые оказали влияние

на динамику уровней в рассматриваемый период.

Таблица 3.7

Влияние землетрясений на дебиты эксплуатационных скважин Вашловани-Квибисского участка в 1988-2002 гг. [107]

Дата (месяц/год)	Период	Дебит самоизливающейся скважины, м ³ /сут			Магнитуда землетрясения в баллах
		Скв. № 25э	Скв. № 37	Скв. № 38э	
12/1988	Форшок	151.8	97.6	128.3	5.0
	Пик	192.4	105.7	94.5	
	Афтершок	189.3	98.4	70	
10/1992	Форшок	174.3	108.9	64.8	3.5
	Пик	178.5	110.5	64.9	
	Афтершок	189.7	116.8	65.0	
05/1996	Форшок	108.1	58.2	78.3	3.0
	Пик	108.2	58.2	78.2	
	Афтершок	131.0	64.3	79.6	
02/1997	Форшок	108.1	60.2	70.2	3.0
	Пик	117.1	58.3	70.0	
	Афтершок	125.8	56.5	70.4	
11/1997	Форшок	138.8	61.9	96.7	3.5
	Пик	138.4	61.6	97.0	
	Афтершок	142.4	61.4	97.0	
07/1998	Форшок	152.3	56.1	43.6	4
	Пик	150.4	54.2	97.6	
	Афтершок	148.0	67.5	97.8	
01/1999	Форшок	22.2	71.7	12.9	4
	Пик	-	64.2	92.5	
	Афтершок	58.8	64.5	31.3	
11/1999	Форшок	161.6	61.3	95.9	3
	Пик	160.6	60.9	96.3	
	Афтершок	156.0	61.2	96.6	
05/2000	Форшок	160.3	48.0	98.3	4
	Пик	160.3	47.3	89.4	
	Афтершок	159.6	28.2	106.4	
06/2002	Форшок	136.3	39.6	99.7	3
	Пик	113.7	40.1	107.4	
	Афтершок	122.3	40.1	107.2	
08/2002	Форшок	122.3	40.1	107.2	3
	Пик	163.6	40.1	106.7	
	Афтершок	160.5	40.1	107.5	

В середине ноября 2017 года по всем скважинам Вашловани-Квибисского участка отмечается подъём уровней на 0.5-4 м, связанный по-видимому с сейсмической активностью. По скважинам Центрального и Ликанского участков подобное явление не зафиксировано. За последующие 3 месяца наблюдается снижение уровней к исходным значениям ноября.

Землетрясение 28.10.2018 г. магнитудой 4.3 балла с эпицентром в с. Рвели оказало серьёзное влияние на режим Центрального (рис. 3.12) и Вашловани-Квибисского (табл. 3.8, рис. 3.18, 3.21), и не проявилось на Ликанском участке (рис. 3.20).

В связи с подбором оптимальной нагрузки по скважине 131 выявить исключительно влияние землетрясения на динамику уровней на Центральном участке затруднительно. С марта по конец октября 2018 г. по всем скважинам Центрального участка зафиксировано снижение уровней на 1.1 – 4.1 м в результате увеличения отбора по скважине 131 на 55 м³/сут, а также, по-видимому, с проявлением эффекта форшока землетрясения в октябре 2018 г. Все скважины участка, оборудованные на верхнемеловой-нижнепалеоценовый водоносный комплекс, отреагировали на землетрясение восстановлением уровней. За первые две недели уровни восстановились на 0.3-1.3 м. Своего пикового значения уровни достигли 3 мая 2019 года, восстановившись на 0.6-2.2 м за 6 месяцев после землетрясения. Однако, на полученные величины дополнительно оказало влияние снятие нагрузки по скважине 131 1 декабря 2018 г. на 21 м³/сут. В скважинах Центрального участка, оборудованных на четвертичный водоносный горизонт, а также комплекс Боржомского флиша, реакция на землетрясение зафиксирована не была.

На Вашловани-Квибисском участке реакция на землетрясение проявилось более значительно, чем на Центральном участке в связи с тем, что этот участок располагался ближе к эпицентру землетрясения. За октябрь 2018 г. уровни снизились на 0.2-2.2 м в связи с форшоком землетрясения. В первые две недели после землетрясения восстановление уровней составило 2.5-47.8 м. Пиковые значения уровней по Вашловани-Квибисскому участку проявились асинхронно, в отличие от Центрального участка, что может свидетельствовать о наличии нескольких систем трещиноватости на участке. Так наиболее рано пик землетрясения был зафиксирован в скважинах 47, 70, 37 - в конце ноября - начале декабря 2018 г. Затем в конце декабря 2018 г. пик был отмечен в скважинах 38 и 38э. Наиболее поздно максимальные значения уровней были зафиксированы на скважинах 25э и 67 (конец марта - начало апреля 2019 г.). С момента землетрясения до достижения своего пикового значения скважины участка восстановились на 3-47.8 м. Затем стало фиксироваться медленное снижение уровней. По состоянию на 1 января 2020 г. уровни скважин снизились на 7.4-20.8 м по отношению к своим пиковым значениям. Изменение положения уровней под влиянием землетрясения с 27 октября 2018 по 1 января 2020 гг. по Вашловани-Квибисскому участку представлено на рис. 3.23. Таким образом, уровни Вашловани-Квибисского участка по состоянию на 1 января 2020 года залегают на 3.8-23.9 м выше, чем уровни перед началом землетрясения. Влияние землетрясения на газогидрохимический режим месторождения отсутствовало.

Таблица 3.8

Влияние землетрясения от 28 октября 2018 г. на режим Вашловани-Квибисского участка

№ скв	1 октября 2018 г.		27 октября 2018 г.			29 октября 2018 г.			10 ноября 2018 г.			Пиковое значение уровня				1 января 2020 г.			
	Н а.о., м	Q, м ³ /сут	Н а.о., м	Q, м ³ /сут	ΔН 27.10.18-1.10.18 (26 дней)	Н а.о., м	Q, м ³ /сут	ΔН 27.10.18 - 29.10.18 (2дн)	Н а.о., м	Q, м ³ /сут	ΔН 27.10.18 - 10.11.18 (14 дней)	дата	Н а.о., м	Q, м ³ /сут	ΔН 27.10.18 - пик	Н а.о., м	Δ дней	Q, м ³ /сут	ΔН пик-1.01.20
25э	754.20	133.3	752.03	117.2	-2.17	761.14	139.2	9.11	767.77	136	15.74	28.03.19 (152 дн)	775.93	135	23.90	768.57	279	139	-7.36
67	755.75	21.9	754.64	22.1	-1.11	760.27	23	5.63	763.55	23.3	8.91	02.04.19 (157 дн)	769.84	19.6	15.20	761.25	274	19.2	-8.59
38	796.34	35	796.39	36.3	0.05	832.62	36.5	36.23	832.95	35.4	36.56	23.12.18 (57 дн)	841.13	34.5	44.74	820.29	374	35.9	-20.84
38э	-	71.1	790.80	95	-	798.18	112.1	7.38	814.21	95.6	23.41	24.12.18 (58 дн)	824.08	96.4	33.28	811.41	373	99.4	-12.67
47	835.05	67.9	834.86	81.6	-0.19	841.40	84.1	6.54	847.32	82	12.46	21.11.18 (25 дн)	847.78	80.1	12.92	838.65	406	103.4	-9.13
70	848.96	20	848.76	20	-0.20	850.15	20	1.39	851.26	21	2.50	29.11.18 (33 дн)	851.71	20	2.95	-	398	63	-
37	768.18	30.6	768.16	30	-0.02	799.49	30	31.33	816.00	0	47.84	01.12.18 (35дн)	815.97	19.7	47.81	796.43	396	18	-19.54
37э	786.03	-							800.53*	-	-					691.96	-	13.1	-
Q по участку		379.8		402.2			444.9			393.4				-				491	

* - значение уровня от 10.12.2018

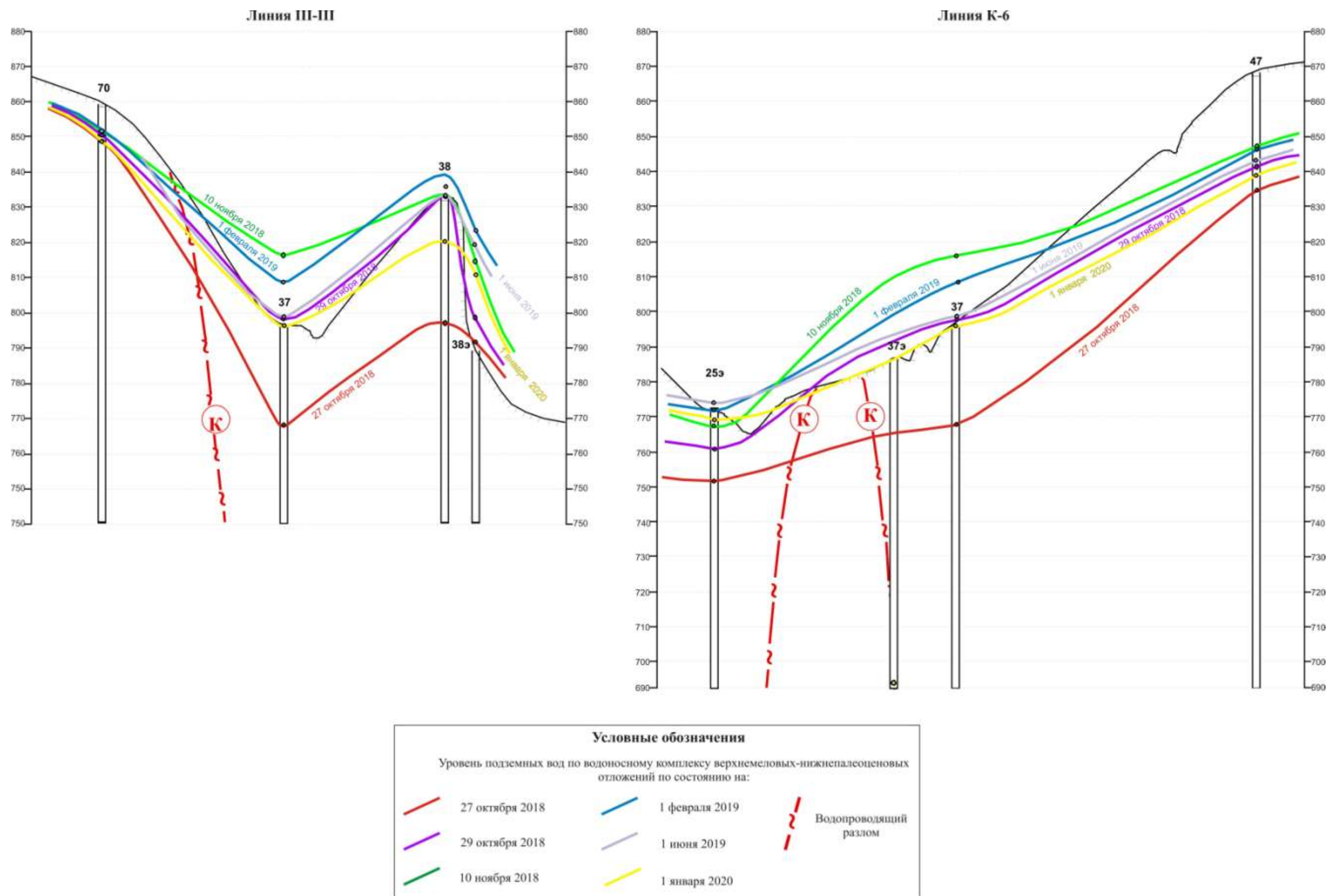


Рис. 3.21. Влияние землетрясения в октябре 2018 г. на динамику уровней Вашловани-Квибисского участка

Проведённый анализ эксплуатации Боржомского месторождения позволил выявить основные режимообразующие факторы. Наиболее значимым природным фактором является тектоническая активность (землетрясения). Землетрясения оказывали влияние на гидродинамический режим при стабильности геохимического режима. Влияние климатических факторов просматривается лишь в длинном геологическом времени, так как область питания расположена на значительном удалении от месторождения. Техногенные режимообразующие факторы – водоотбор и самоизлив в процессе бурения. Полученная информация позволила выявить возможность увеличения водоотбора на каждом из участков за счёт снижения уровней ниже поверхности земли в пределах обеспечения водоотбора естественными ресурсами и при гарантии сохранении качества воды в пределах установленных кондиций.

В ходе опытно-промышленной эксплуатации 2015-2019 гг. была показана возможность суммарного водоотбора из верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса Боржомского месторождения в количестве $825 \text{ м}^3/\text{сут}$, в том числе по участкам Центральный - $335 \text{ м}^3/\text{сут}$, Вашловани-Квибисский - $415 \text{ м}^3/\text{сут}$, Ликанский - $75 \text{ м}^3/\text{сут}$. В настоящее время продолжается подбор нагрузок по эксплуатационным и опытным скважинам месторождения с целью определения оптимальной схемы эксплуатации. Важно отметить, что несмотря на интенсивную эксплуатацию месторождения, разгрузка минеральных вод в речную сеть продолжается и в настоящее время, сохранились газовые и температурные аномалии различного характера. Это свидетельствует об отсутствии истощения запасов месторождения.

Наблюдения на современном этапе эксплуатации подтвердили устойчивость качества углекислых минеральных вод верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса. Такая стабильность, не нарушаемая даже в результате землетрясения, свидетельствует о наличии крупного резервуара боржомской воды непосредственно в боржомском пласте, где происходит формирование её химического состава.

Детальный анализ данных многолетнего мониторинга, а также проведённые специальные гидрогеологические исследования позволили получить необходимую информацию для разработки математической геофильтрационной модели и выполнения оценки запасов совмещёнными гидравлическим методом и математическим моделированием.

4. ПРОГНОЗНАЯ ФУНКЦИЯ МОНИТОРИНГА БОРЖОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ

Прогнозирование изменения состояния месторождения углекислых минеральных вод является одной из важнейших функций комплексного мониторинга. Ранее отмечалось, что до начала проведения современных исследований прогнозы изменения состояния Боржомского месторождения осуществлялись только при оценке запасов и базировались на различных вариациях гидравлического метода. Прогнозы соответствовали величинам водоотбора, достигнутым в процессе опытных выпусков или при длительной эксплуатации.

Для повышения достоверности прогнозов на крупных месторождениях углекислых минеральных вод, в том числе положенных в основу оценки (переоценки) запасов, в последнее десятилетие *Боревским Б.В. и Еришовым Г.Е.* [11, 9] было обосновано совместное использование гидравлического и гидродинамического метода, реализуемого на базе численного моделирования. Каждый метод имеет определенные преимущества и недостатки. Поэтому их совместное применение увеличивает надежность выполненных расчетов.

Несомненными достоинствами гидравлического метода является прямое доказательство получения расчетного расхода минеральной воды при его фактически подтвержденной величине, схеме эксплуатации (в т.ч. конструкции каптажей и скважин), устойчивом газохимическом составе. К недостаткам гидравлического метода относятся следующие позиции:

- необходимость выполнения прогнозных оценок только применительно к достигнутым показателям величины расхода при данной схеме водоотбора и конструкции каптажей;
- невозможность оценки приходных и расходных статей баланса водоотбора;
- невозможность оценки взаимодействия между отдельными оцениваемыми участками на базе опытно-промышленной эксплуатации при отсутствии прямого факта их взаимовлияния.

Метод численного моделирования лишен перечисленных недостатков. Его несомненным преимуществом является возможность гибкого использования различных вариантов эксплуатации, оценки приходных и расходных статей баланса как достигнутого, так и прогнозного водоотбора. Кроме того численное моделирование позволяет выполнить факторно-диапазонный анализ влияния различных комбинаций численных значений параметров и типа внутренних и внешних граничных условий (в т.ч.

дает возможность оценивать диапазон поступления газоводяного магматического флюида) на результаты воспроизведения режима опытно-промышленной и ретроспективной эксплуатации в разные временные периоды. Таким образом, метод численного моделирования обладает широкими функциональными и аналитическими возможностями проверки влияния разных гипотез формирования минеральных вод на величину их подсчитанных запасов. Поэтому следует еще раз подчеркнуть, что численное моделирование, даже если не опираться на его результаты как основание для принятия расчетной величины запасов, является важным инструментом анализа различных вариантов. Главным и бесспорным недостатком численного моделирования объектов IV группы сложности, к которой относится Боржомское месторождение, является невозможность создания модели, в полной мере отражающей все особенности геолого-гидрогеологических и структурно-тектонических условий моделируемого объекта, а также процессов формирования газохимического состава минеральных вод, т.е. модели полностью адекватной природно-техногенной ситуации. В то же время, базируясь на подборе хода и результатов опытно-промышленной эксплуатации (основной материал для оценки гидравлическим методом), следует признать, что достижение удовлетворительного совпадения натурных и модельных данных свидетельствует о непротиворечии модельных построений реакции природно-техногенных условий на гидродинамическое возмущение в пределах достигнутой фактической величины водоотбора при эксплуатации.

Кроме того, надо отметить, что если установившийся режим при опытно-промышленной эксплуатации не достигнут и расчеты гидравлическим методом выполняются путем экстраполяции на расчетный период достигнутых закономерностей изменения понижения напора, дебита или отношения S/Q , то при этом принимаются предпосылки сохранения соотношения постоянных и переменных составляющих водоотбора. Под этими составляющими в данном конкретном случае понимаются емкость, латеральный расход потока и приток газоводяного флюида из фундамента. Фактически при снижении расхода этого не происходит, т.к. доля емкости снижается. Поэтому надо четко понимать, что гидравлический метод в условиях неустановившегося режима дает предельно жесткие результаты.

Таким образом, оба метода имеют ряд недостатков и ограничений, которые могут быть сведены к минимуму при их одновременном применении. Гидравлический метод даёт оценку стабильности или изменчивости фактических показателей – уровней, дебита, содержания газа и качества минеральных вод в конкретной точке при достигнутом дебите для имеющейся конструкции и технического состояния скважины. Математическое

моделирование позволяет оценивать и прогнозировать масштабы влияния эксплуатации скважины на изменение гидрогеологических условий на территории месторождения и на другие скважины и возможное изменение баланса формирования минеральных вод. Применение метода математического моделирования позволяет выполнять прогнозные расчеты в увязке с рассмотрением различных гипотез формирования минеральных вод.

Одним из наиболее актуальных и сложных вопросов прогнозирования является обоснование сохранения газохимического состава минеральных вод на прогнозный период, что напрямую связано с условиями его формирования. На протяжении многих десятилетий при различной величине водоотбора газохимический состав боржомских минеральных вод на разных участках месторождения оставался практически неизменным. Тем не менее, различными авторами допускалась возможность изменения газохимического состава, в т.ч. за счет подтягивания некондиционных вод. При принятой *Абрамовым В.Ю. и Боровским Б.В.* гипотезе формирования боржомских минеральных вод (раздел 1.2.2) непосредственно в оцениваемом боржомском пласте можно принять предпосылку о сохранении их газохимического состава на прогнозный период.

Это подтверждается сопоставлением суммарной величины водоотбора за период с 1934 г., подтвержденной имеющимся фактическим материалом, составляющей 17.6 млн.м³ и прогнозным водоотбором за 25 лет – соответствующим достигнутому при опытно-промышленной эксплуатации – 7.3 млн.м³. Если к суммарному водоотбору за ретроспективный период добавить не учтенный самоизлив при бурении скважин, то соотношение объема ретроспективного и прогнозного водоотбора существенно возрастет.

В дополнение к сложившейся ранее практике в состав комплексного мониторинга Боржомского месторождения было включено прогнозирование, регулярная корректировка регламента эксплуатации и переоценка запасов. Прогнозирование осуществляется при комплексном использовании гидравлического метода по непосредственным результатам наблюдений при опытно-промышленной эксплуатации в 2015-2019 г.г., их экстраполяции на прогнозный период и метода математического моделирования. Результаты прогнозных расчетов приведены ниже.

4.1. Прогнозирование прямым гидравлическим методом

Основные принципы прогнозирования пространственно-временных изменений состояния Боржомского месторождения прямым гидравлическим методом (непосредственно по фактическим данным) заключаются в следующем:

1. Прогнозирование выполняется отдельно для каждого из участков Боржомского месторождения: Центрального, Ликанского, Вашловани-Квибисского.

2. Прогнозирование состояния Центрального участка выполняется только на примере скважин, выводящих воды верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса, с минерализацией 5.0-7.5 г/л.

3. Прогнозирование гидравлическим методом выполняется по данным мониторинга при опытно-промышленной эксплуатации в 2016-2019 г.г. При достижении стационарного или близкого к стационарному режиму осуществлялась констатация достигнутых величин расходов и уровней скважин, при нестационарном режиме - экстраполяция закономерностей изменения уровней на прогнозный период при постоянном расходе скважин.

4. Землетрясение от 28.10.2018 г. серьёзно повлияло на динамику уровней Центрального и Вашловани-Квибисского участков. Выполнение прогноза по уровням в момент влияния на них землетрясения затруднено. В связи с этим, прогноз гидравлическим методом по всем участкам месторождения осуществляется по состоянию на 01.03.2018 г. Данные прогнозные расчёты легли в основу переоценки запасов 2018 г.

4.1.1. Центральный участок

На Центральном участке прогноз на 25 лет выполнен для эксплуатационных скважин: 1, 21, 21э (подучасток Парк), 41р, 131 (Папа), 59 (Боржоми-Ликани), 103 (Боржоми-Север).

Согласно результатам анализа гидродинамического режима, период с 11.2015 по 12.2019 года разделен на 4 этапа (раздел 3.3.1).

Этап III (11.04.2017 - 01.03.2018 г.) с суммарным средним водоотбором по участку в 282 м³/сут принимается в качестве расчетного (рис. 3.12), ввиду стабилизации уровней по всем скважинам участка, за исключением скважины 103 (отбор в 30 м³/сут не был постоянным по техническим причинам, поэтому принято среднее значение водоотбора за период). При этом скважина 131 не эксплуатировалась.

Средние абс. отметки уровней подземных вод в скважинах, соответствующие стационарному режиму и водоотбору в размере 282 м³/сут, приведены в табл. 4.1.

4.1.2. Ликанский участок

На участке эксплуатируется единственная скважина 54. Дебит скважины и уровень воды в ней были стабильны на протяжении длительного периода времени. Период непрерывного стабильного режима начался после завершения ремонтных работ в июле 2016 г (рис. 3.10). С этого времени устойчивыми являлись как дебит скважины, так и уровень подземных вод. Средний расход с 10.07.2016 г. по 18.12.2017 г. составил 71.3 м³/сут при абсолютной отметке уровня 903.8 м.

Таблица 4.1

*Абсолютные отметки уровней при прогнозе на 25 лет по скважинам
Центрального участка прямым гидравлическим методом*

№ скв	Н а.о., м	Q, м ³ /сут
1	798.1	12
13	806.94	-
128	791.95	-
21	797.0	5
21э	-	1
41р	795.6	180
131	796.0	0
59	797.4	60
102	794.61	-
103	784.0	24
Итого		282

4.1.3. Вашловани-Квибисский участок

Прогнозные расчеты выполнены для эксплуатационных скважин Вашловани-Квибисского участка: 25э, 37, 38, 38э, 47, 70, 67. В связи с влиянием землетрясения в конце 2018-2019 гг. на динамику уровней участка, для выполнения прогноза выбран временной интервал с декабря 2016 по февраль 2018 г., соответствующий гидродинамическому этапу III. В течение 15 месяцев суммарный водоотбор участка составлял 400 м³/сут, а уровни по всем скважинам были стабильны или близки к стабилизации. В отличие от Центрального участка, интенсивность взаимодействия между скважинами проявляется в различной степени. В связи с этим для каждой скважины в рамках этапа III выбирались собственные интервалы наступления и продолжительности стационарного режима.

По скважине 25э стабилизация уровня подземных вод наблюдалась в течение 6 месяцев в период с сентября 2017 г. по февраль 2018 г (рис. 3.18). Средняя величина водоотбора составила 121.5 м³/сут, абсолютная отметка уровня 763.8 м (табл. 4.2).

По скважинам 38, 38э стационарный (близкий к стационарному) режим зафиксирован с середины января 2017 г. по февраль 2018 гг. Средняя величина водоотбора составила 35.5 м³/сут и 95 м³/сут соответственно. Уровни залегают на абсолютных отметках: по скважине 38 - 802.2 м, по скважине 38э - 792.9 м.

По скважине 37 расход 30 м³/сут был стабильным в течение года, с февраля 2017 г. При этом на фоне устойчивого медленного снижения уровня наблюдались разнонаправленные колебания. Средняя абсолютная отметка уровня составляла 778.7 м.

По скважине 70 при водоотборе 20 м³/сут до конца III этапа наблюдался неустойчивый режим уровня. Скорость снижения уровня постепенно уменьшалась, в январе-феврале 2018 г. снижение составляло не более 15-20 см в месяц. Для прогноза

понижения уровня построен полулогарифмический график прослеживания понижения. За начальную точку принят уровень на 1 ноября 2015 г., составляющий 856.6 м. В соответствии с углом наклона аппроксимирующей прямой расчетное понижение составит 15 м (рис. 4.1), абс. отметка уровня воды – 841.6 м.

По скважине 47 стационарный режим имел место при расходе 50 м³/сут в мае - августе 2016 г. В дальнейшем при расходе 80 м³/сут (с третьей декады августа 2016 г.) наблюдалось устойчивое снижение уровня. Для прогноза понижения уровня построен полулогарифмический график прослеживания понижения. За начальную точку принят уровень на 1 ноября 2015 г., составляющий 843.3 м. В соответствии с углом наклона аппроксимирующей прямой расчетное понижение составит 17.2 м (рис. 4.1), абс. отметка уровня воды – 826.1 м.

По скважине 67 при дебите 20 м³/сут к февралю 2018 г. стабилизация уровня не была достигнута. Для расчетов прогнозного положения уровня подземных вод принят участок с декабря 2017 г. по февраль 2018 г., характеризующийся устойчивым снижением. За начальную точку для расчета понижений принят уровень на 4 ноября 2015 г., составляющий 780.8 м. В соответствии с углом наклона аппроксимирующей прямой расчетное понижение составит 22.2 м (рис. 4.1), абс. отметка уровня воды – 758.6 м.

Таблица 4.2

Абсолютные отметки уровней при прогнозе на 25 лет по скважинам Ваиловани-Квибисского участка прямым гидравлическим методом

№ скв	Н а.о., м	Q, м ³ /сут
25э	763.8	121.5
37	778.7	30
38	802.2	35.5
38э	792.9	95
47	826.1	80
70	841.6	20
67	758.6	20
Итого		402

4.2. Прогнозирование методом численного моделирования

При разработке численной гидродинамической модели Боржомского месторождения расчетная область фильтрации была выбрана с учетом того, чтобы в неё была включена область питания продуктивного водоносного комплекса верхнемеловых-нижнепалеоценовых карбонатных отложений (в северо-западной части) (рис. 4.2). Границы расчетной области выбраны на таком удалении от эксплуатационных участков, чтоб они не оказывали влияния на характер изменения уровней (напоров). Дискретизация

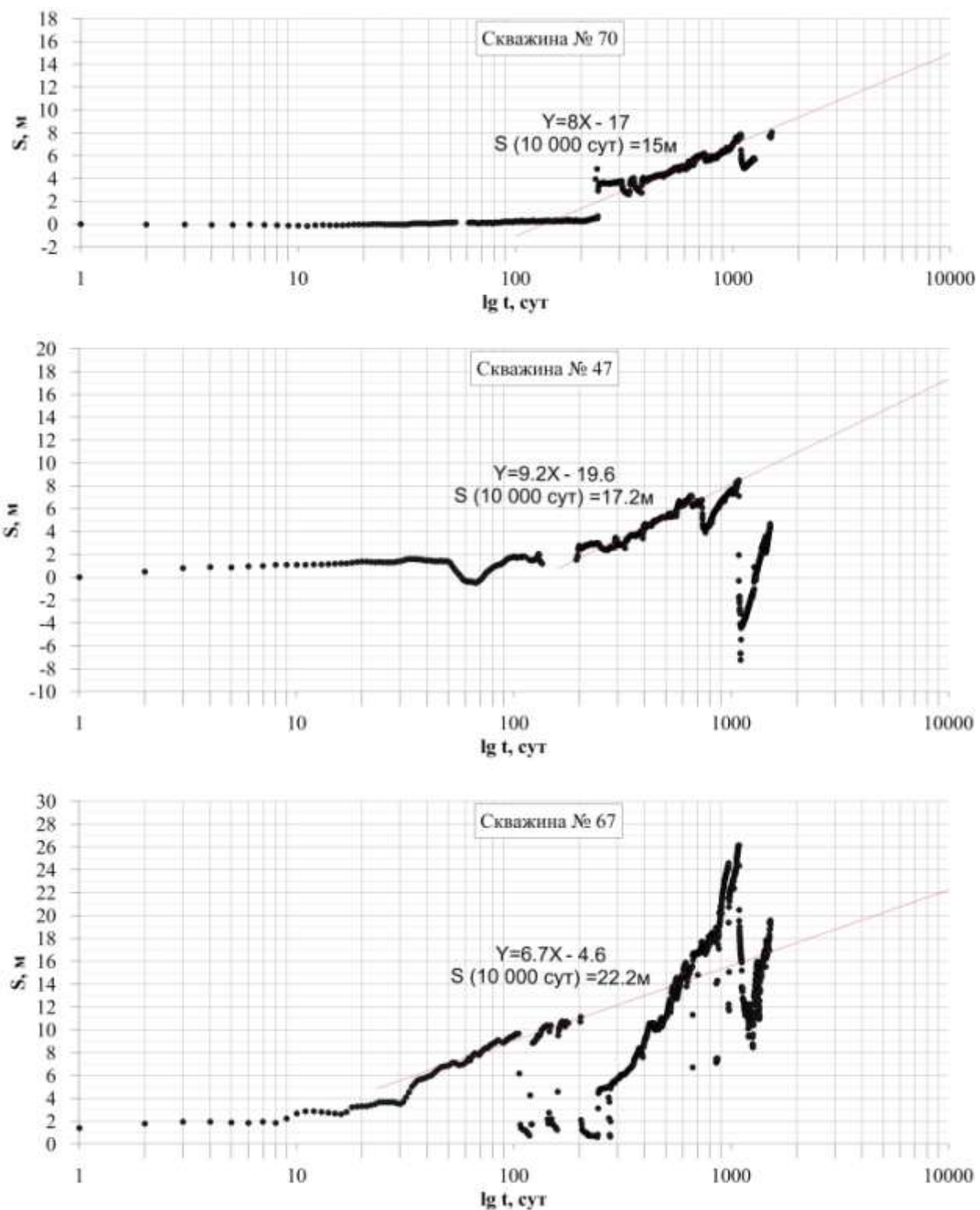


Рис. 4.1. Прогнозные графики временного прослеживания уровня в скважинах 70, 47, 67

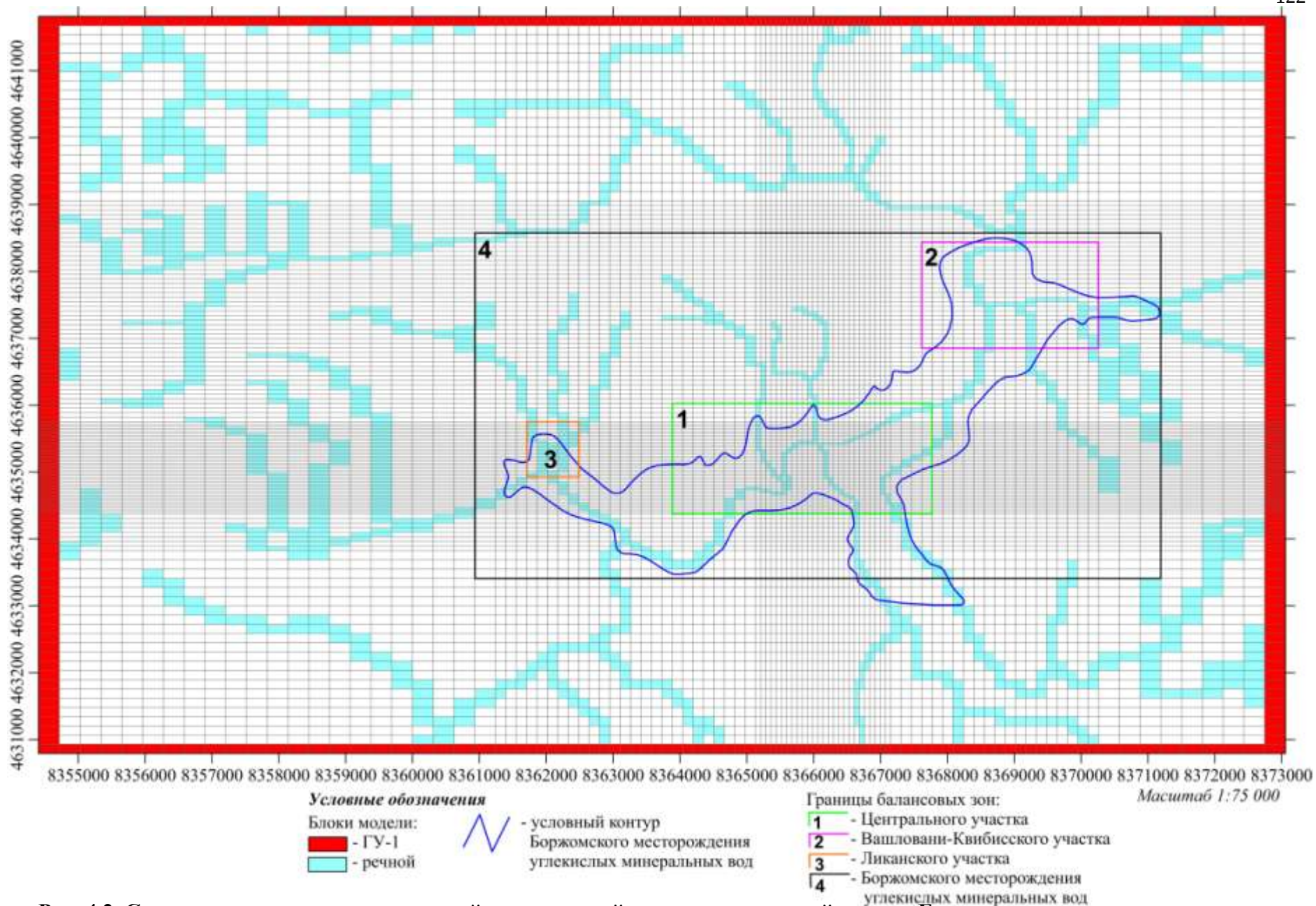


Рис. 4.2. Схема задания граничных условий на численной гидродинамической модели Боржомского месторождения

области фильтрации на блоки была проведена с учетом необходимости моделирования работы водозабора в центральной части территории. Область фильтрации была разбита на блоки ортогональной сеткой 310 м x 133 м, плановая разбивка модели была детализирована непосредственно на территории эксплуатационных участков Центральном и Вашловани-Квибисском, где размер расчетных блоков составил 77 м x 34 м. Региональная модель базировалась на картографической основе масштаба 1:50 000 и 1:10 000 в центральной части.

В расчетной геофильтрационной модели в качестве самостоятельных пластов были выделены (рис. 4.3):

пласт 1 – первый от поверхности расчетный пласт, включающий в себя водоносный горизонт четвертичных образований (аллювиальные отложения и лавовые покровы) и среднеэоценовые вулканогенно-осадочные отложения (такое объединение допускается при решении задач, в которых основные гидродинамические изменения происходят в нижней части разреза);

пласт 2 – спорадически обводнённые отложения среднего палеоцена-нижнего эоцена (Боржомский флиш);

пласты 3 и 4 – основной водоносный комплекс верхнемеловых-нижнепалеоценовых водоносных отложений. Разделение боржомского пласта на два расчётных было произведено по гидрогеологическому принципу наличия более водообильных интервалов, содержащих Боржом с минерализацией 5-7.5 г/л в верхней части разреза единого водоносного комплекса. Средняя мощность расчётного пласта 3 составила 600 м, пласта 4 - 900 м.

На основе анализа данных ранее выполненных [86, 84, 89] и современных опытных работ [81], строение фильтрационной среды четырёхпластовой водоносной системы в исходной региональной модели Боржомского месторождения было охарактеризовано следующими величинами геофильтрационных параметров:

1. Аллювиальные отложения распространённые по главным рекам Кура, Боржомула и Гуджаретис в расчётном пласте 1 исходно были заданы в модели однородными с $k_x=k_y=10$ м/сут, $k_z=0.01$ м/сут. Коэффициент фильтрации лавовых покровов и вулканогенно-осадочных отложений исходно был принят $k_x=k_y=k_z=0.001$ м/сут. Гравитационная водоотдача повсеместно задавалась величиной 10%.

2. Расчётный пласт 2 задавался в целом с весьма низкими параметрами фильтрации в виде пяти основных зон: Ликанского участка, Центрального участка, Вашловани-Квибисского участка, зоны периферийных площадей и переходной зоны от

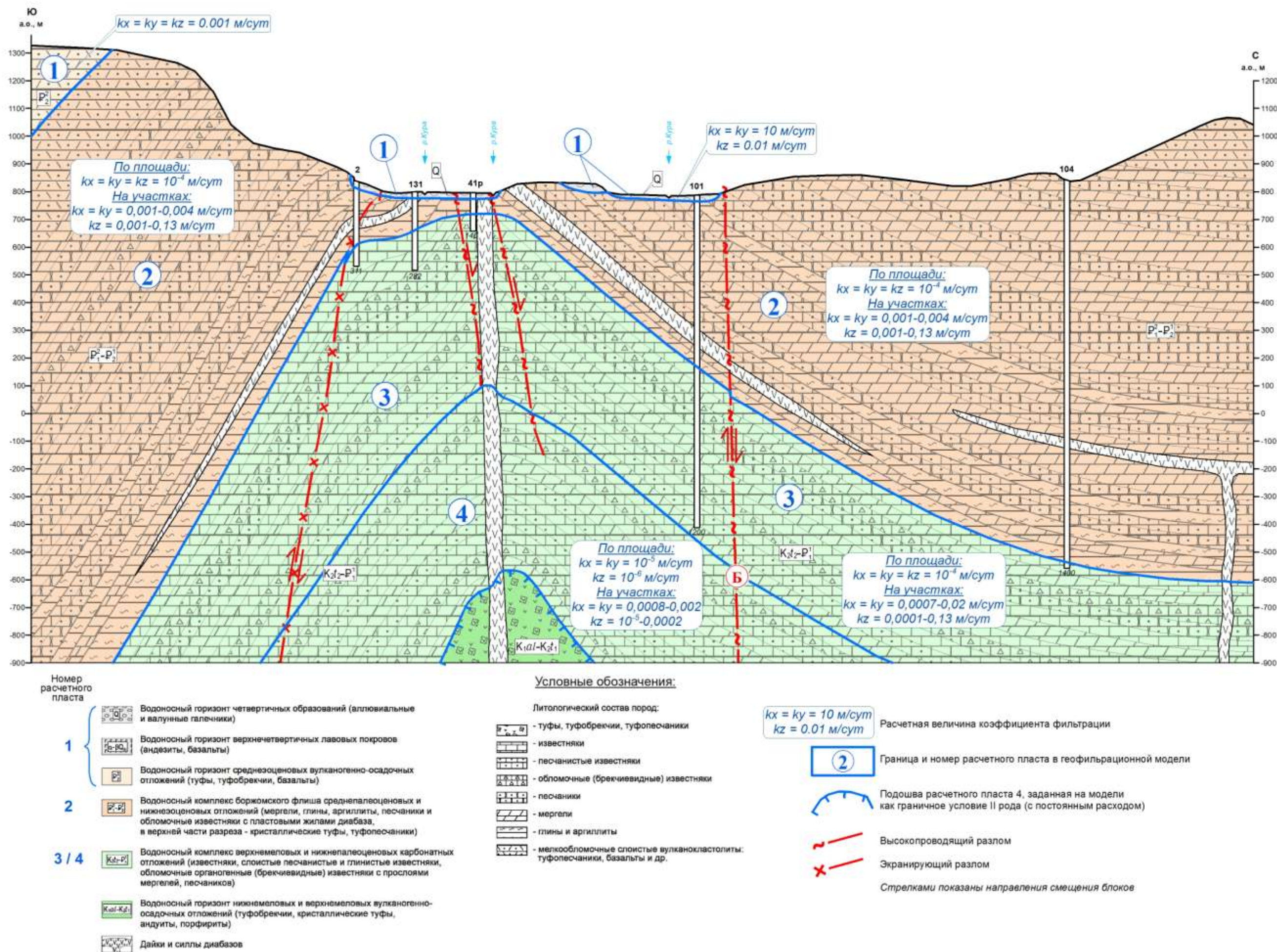


Рис. 4.3. Геофильтрационная схема Боржомского месторождения углекислых минеральных вод

эксплуатационных участков к периферии. Зоны, приуроченные к эксплуатационным участкам, характеризуются более высокими значениями коэффициентов фильтрации $k_x=k_y=0.001-0.004$ м/сут, $k_z=0.001-0.13$ м/сут, в то время как по остальной площади $k_x=k_y=k_z=10^{-4}$ м/сут.

3. Конфигурация выделения зон в расчётных пластах 3 и 4 полностью совпадает с вышеописанными зонами расчётного пласта 2. В расчётном пласте 3 в зонах, приуроченных к эксплуатационным участкам, $k_x=k_y=0.0007-0.02$ м/сут, $k_z=0.001-0.13$ м/сут, на остальной площади $k_x=k_y=k_z=10^{-4}$ м/сут. В связи с фрагментарным наличием информации о фильтрационных параметрах расчётного пласта 4 в каждой из 5 зон коэффициенты фильтрации были заданы на порядок ниже, чем в расчётном пласте 3.

Коэффициент упругой водоотдачи напорных пластов исходно задавался величиной 10^{-6} 1/сут, и в процессе решения обратных задач был снижен до 10^{-7} 1/сут.

4. В связи с тем, что изучаемая геологическая среда осложнена структурными складками, которые сопровождаются формированием геодинамических зон сжатия и растяжения, а также разрывными проводящими и экранирующими сбросовыми нарушениями линейного типа, в расчётных пластах 2, 3 и 4 заданы линейные зоны повышенной проницаемости, соответствующие осям антиклинальных и синклиналий складок, а также тектоническим нарушениям в соответствии со структурной картой. В частности, в фильтрационной схеме отражены следующие тектонические элементы: Боржомская, Квибисская, Ломисмтинская антиклинали в качестве зон с повышенными фильтрационными параметрами, оси Баратхевской и Рвельской синклиналей в качестве зон со сниженными параметрами, Квибисский, Боржомульский и Ликанский разломы, более проницаемые вдоль и менее – в поперечном направлении. Ликанский разлом после решения серии обратных задач был задан полностью слабопроницаемым.

Граничные условия потока подземных вод в пределах Боржомского месторождения схематизировались следующим образом (рис. 4.2):

1. В качестве границ с постоянным расходом (граничное условие II рода) в геофильтрационной схеме были заданы инфильтрационное питание, восходящий глубинный поток газоводяного флюида из нижележащих пластов (магматического очага) - основной фактор формирования Боржомии и водозаборные скважины. Инфильтрационное питание в модели задано зонально. На пойменных участках рек - 1 мм, так как там происходит разгрузка испарением и высачиванием, на склонах долин - 20 мм, а на водораздельных территориях - 90 мм. В процессе решения обратных задач исходно принятая величина инфильтрационного питания на водоразделах была существенно уменьшена, так как приводила либо к существенному завышению положения уровней на

основной части моделируемой территории, либо к завышению величины латеральной разгрузки в долину р. Куры и быстрой стабилизации уровней в скважинах при практически любом отборе.

2. Условия взаимосвязи подземных вод с реками и ручьями схематизировались как граничное условие III рода. В каждый расчетный блок модели задавались значения уровня воды в реке, отметки дна реки и фильтрационного сопротивления ложа водотока.

3. На внешних границах модели во 2, 3 и 4 расчетных пластах было задано граничное условие I рода – «постоянный напор». Величина уровня в начальном варианте была задана в соответствии с данными об измеренных напорах после бурения скважин.

Модель Боржомского месторождения была откалибрована в процессе решения комплекса обратных стационарных и нестационарных задач. Результаты решений стационарных задач на различные периоды времени эксплуатации Боржомского месторождения (1979 г., октябрь 2015 г. - наиболее полно охарактеризованные фактическим материалом) показали, что в данной постановке моделирования однофазного потока достижение на моделях соответствия измеренных и расчетных уровней для различных периодов эксплуатации месторождения при одних и тех же параметрах и граничных условиях моделей не достигается. Это является следствием влияния газового фактора на устьевые напоры, быстрой сработки упругой ёмкости газовых «шапок», формирующихся вокруг скважин, и требует введения соответствующих поправок. За основу для калибровки исходной геофильтрационной модели путём решения обратных задач были приняты данные режима уровней подземных вод за период с ноября 2015 по февраль 2018 г.г., когда большинство скважин месторождения было переведено на насосный режим эксплуатации, а в самоизливающиеся скважины были установлены глубинные датчики уровня, что позволило измерить реальные уровни в пласте.

В результате калибровка модели осуществлялась в следующей последовательности:

- 1) Решение стационарной гидродинамической задачи на октябрь 2015 г.;
- 2) Решение нестационарной задачи на период с ноября 2015 г по февраль 2018 г.;
- 3) Уточнение решения стационарной задачи на октябрь 2015 г после калибровки.

На рис. 4.4 отражена калибровочная кривая сопоставления модельных и фактических уровней по результатам решения стационарной задачи на конец октября 2015 г. На рис. 4.5– 4.6 представлены графики расчетных (линии) и натурных (точки) уровней по скважинам за период опытных работ 2015-2019 г.г. (нестационарная задача). Отметим, что изначально нестационарная задача решалась на основе данных ноябрь 2015 - февраль

2018 г. (850 суток), но позднее модель была пополнена данными до декабря 2019 г (1530 суток).

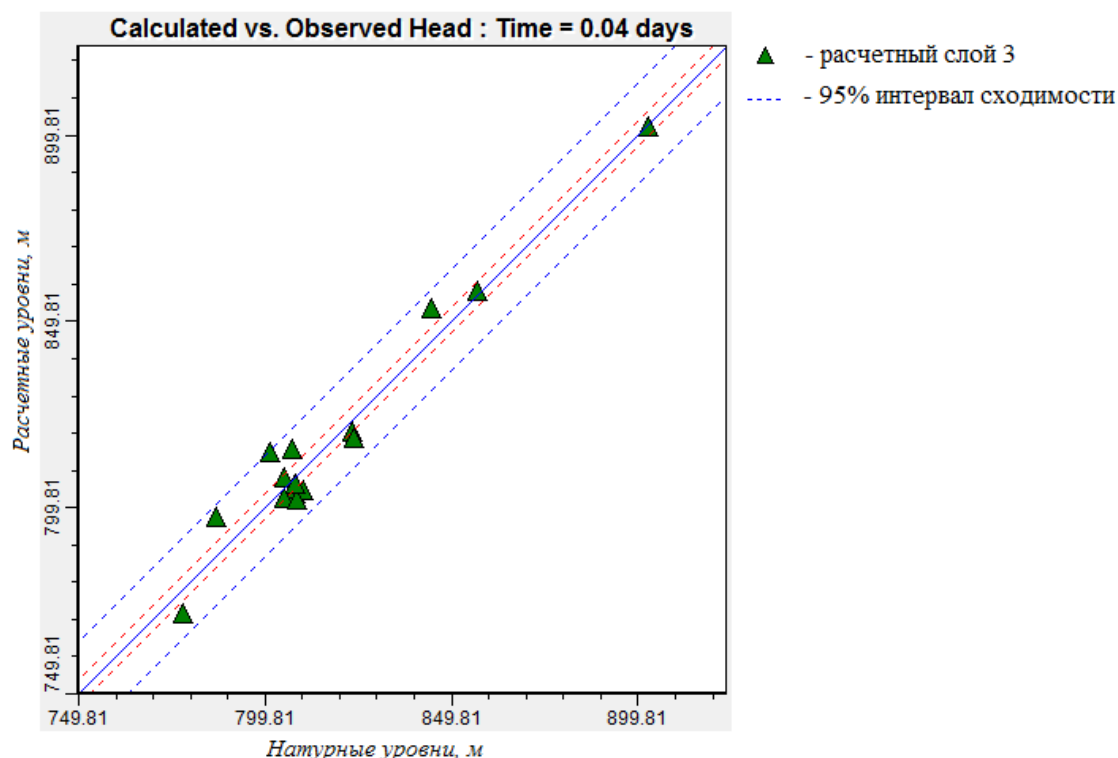


Рис. 4.4. Калибровочный график на период начала опытных работ 2015 г. (стационарная задача)

Как можно увидеть из графиков рис. 4.5– 4.6, в ряде случаев отмечаются более резкие локальные колебания модельных уровней по сравнению с измеренными. Как уже указывалось ранее, величина коэффициента упругой ёмкости в процессе решения обратных задач была снижена с 10^{-6} 1/м до 10^{-7} 1/м. Более высокие величины коэффициента упругой ёмкости водовмещающих отложений по всей модели приводят к резкому выравниванию и выполаживанию темпа снижения уровней по скважинам в целом. Фактически выравнивающее влияние на давления в скважинах по сравнению с пластовыми может оказывать наличие свободного газа в стволе, а также эффекты двойной (тройной и т.д.) пористости в трещиновато-пористой среде. В таких случаях параметр упругой ёмкости в масштабе блоков модели должен представлять переменную во времени величину.

В процессе калибровки модели по сравнению с первоначально принятым распределением параметров осуществлялось постепенное снижение фонового значения коэффициента фильтрации в целом по модели, повышение коэффициента фильтрации по осям антиклинальных складок, увеличение гидравлической связи 2-го слоя в долине реки Куры с поверхностными водами и снижение общей величины инфильтрационного

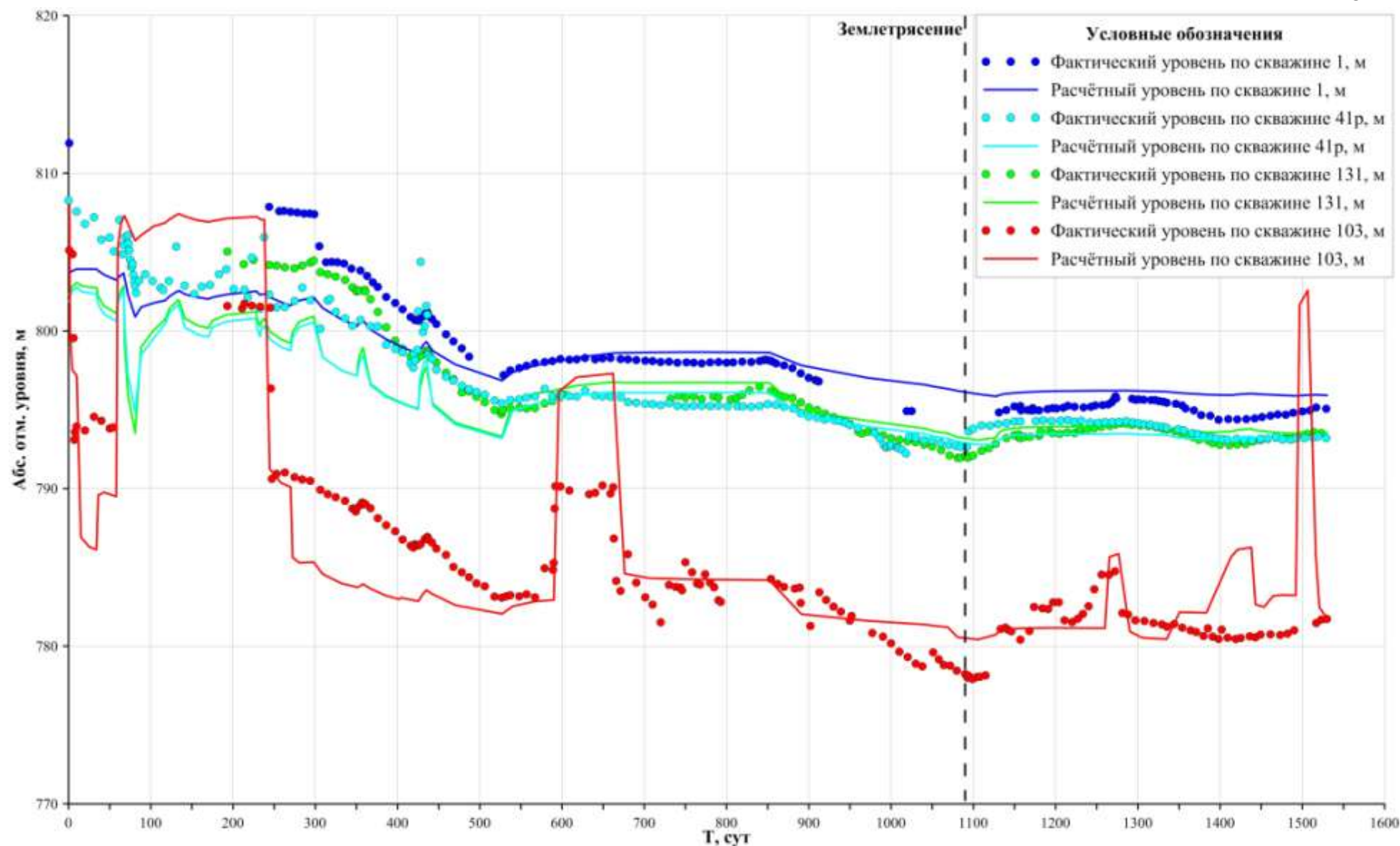


Рис. 4.5. Сопоставление натуральных и расчетных уровней верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса по скважинам 1, 41р, 131 и 103 Центрального участка в 2015-2019 гг.

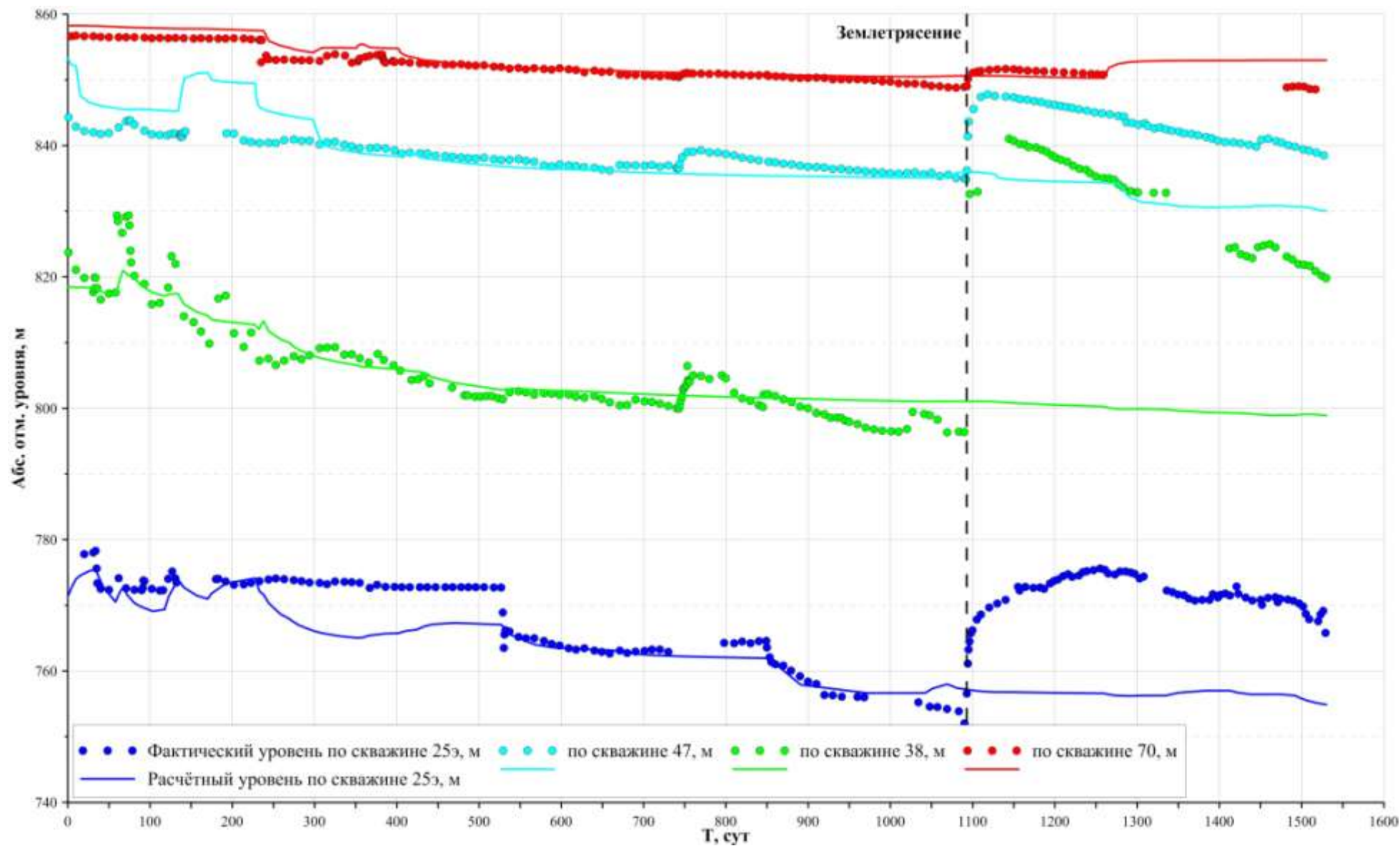


Рис. 4.6. Сопоставление натуральных и расчетных уровней верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса по скважинам 25, 47, 38 и 70 Вашловани-Квибисского участка в 2015-2019 гг.

питания. В результате были получены достаточно близкие темпы снижения уровней по скважинам в период опытной эксплуатации участков и близкие уровни их стабилизации к 2018 году, в том числе после периода форсированного режима отбора минеральных вод на Центральном участке. Кроме того, внесённые изменения позволили приблизить расчётные уровни к фактическим по удалённым скважинам (9, 104, 105 и др.), которые в первоначальном варианте были выше измеренных на 50-100 м. Необходимо отметить, что размеры (ширина) выделенных на модели в процессе решения обратных задач зон растяжения (увеличения коэффициентов фильтрации) и сжатия (снижения коэффициентов фильтрации) и их конфигурация в целом фактически могут иметь более сложный вид и состоять в свою очередь из набора зон различной ширины с различными значениями фильтрационных параметров. При решении обратных задач на модели подбиралось суммарное фильтрационное сопротивление такого рода зон на основании точечных данных о наблюдаемых давлениях в скважинах, что, при заданном водоотборе, позволяет с достаточной точностью воспроизводить на модели изменения баланса питания и разгрузки эксплуатируемого водоносного горизонта. Окончательное распределение фильтрационных параметров в 3 (основном) слое модели представлено на рис. 4.7.

Баланс модели по балансовым зонам (конфигурация балансовых зон показана на рис. 4.2) представлен в таб. 4.3 на примере Центрального участка по состоянию на 1 марта 2018 г. (850 сут.) – в период стабилизации уровней с суммарным водоотбором 284.5 м³/сут. Баланс представлен для 3-го (эксплуатируемый интервал) и 4-го (нижняя часть боржомского пласта) пластов модели. Разгрузка вверх из 3-го пласта представляет разгрузку минеральных вод в отложения боржомского флиша, а приток снизу в 3-й пласт из 4-го – суммарный приток из нижней части комплекса верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений в верхний - эксплуатируемый скважинами - интервал. Приток снизу в 4-й пласт представляет заданный по линиям основных разломов вертикальный приток газоводяного флюида из магматического очага. Количественная оценка балансовых составляющих формирования минеральных вод, в особенности газоводяного флюида, стала возможна только в результате создания численной модели.

Необходимо отметить, что разгрузка минеральных вод по результатам математического моделирования, составившая 446 м³/сут (составляющие баланса разгрузка вверх и скважинный водоотбор), близка по своей величине к экспертной оценке Овчинникова А.М (1936) в 500 м³/сут. Заданный по результатам решения обратных задач приток из отложений нижнего мела в боржомский пласт на Центральном участке составил 73 м³/сут или около 25% суммарного отбора в феврале 2018 г, на Вашловани-Квибисском

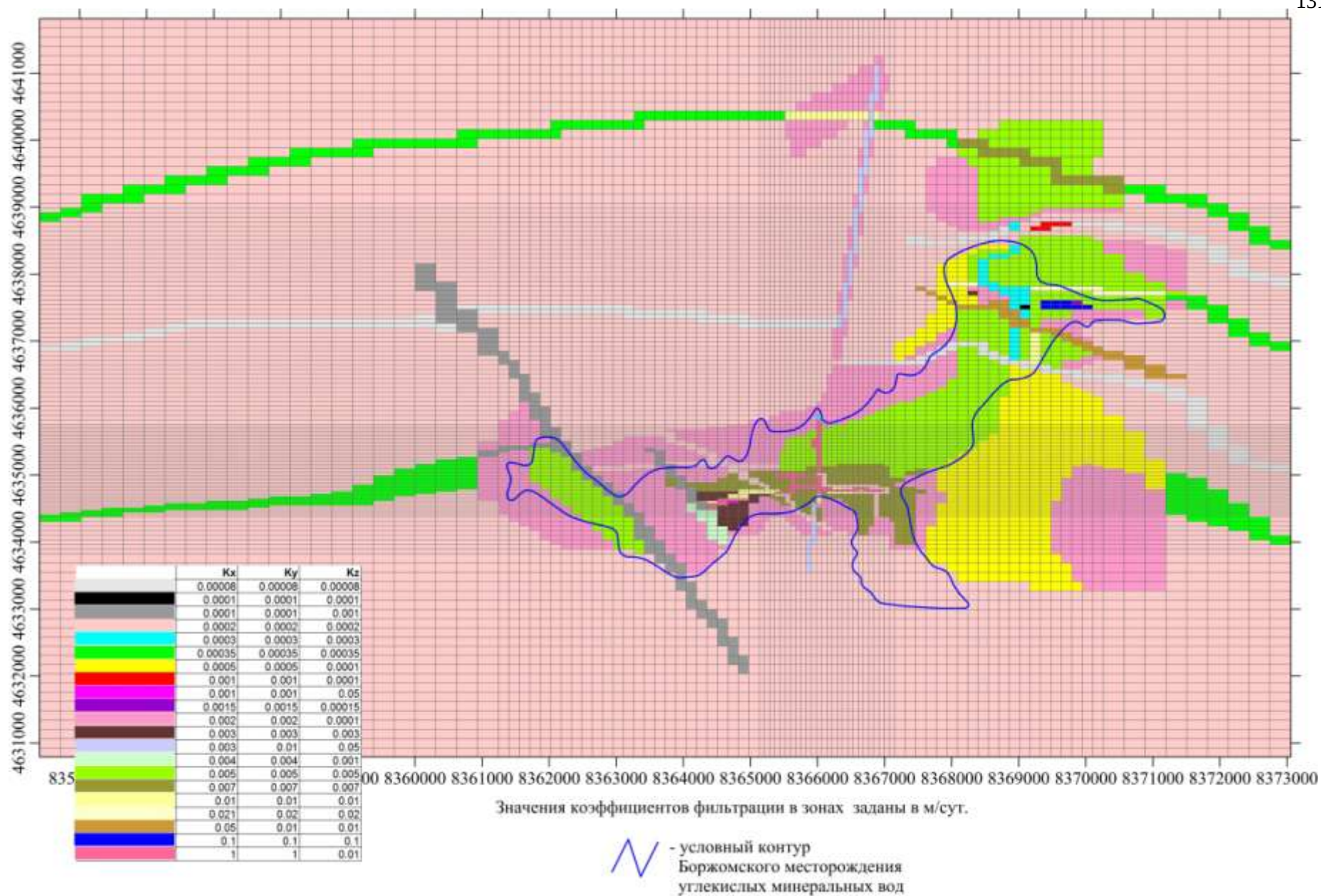


Рис. 4.7. Схема задания коэффициентов фильтрации в третьем слое на прогнозной модели Боржомского месторождения

Таблица 4.3

Баланс минеральных вод боржомского пласта на Центральном участке

Составляющие баланса, м ³ /сут				
Пласт модели	По состоянию на 1 марта 2018 г. (850 сут)		Прогноз на 25 лет – 10000 сут	
	3 (верхняя часть)	4 (нижняя часть)	3 (верхняя часть)	4 (нижняя часть)
Приток с границ участка +	276.5	17.1	280.7	17.1
Отток на границы участка -	6.7	0.7	6.8	0.7
Приток сверху +	69.4	0	65	0
Разгрузка вверх -	161.6	90.1	142.1	90.5
Приток снизу +	90.1	73	90.5	73
Переток вниз -	0	0	0	0
Водоотбор (скважины) -	284.5	0	288	0
Ёмкость приток +	16.8	0.6	0.9	0
Ёмкость отток -	0.8	0	0	0
Всего	-0.8	-0.1	+0.2	-1.1

участке - 70 м³/сут или около 17.5% суммарного отбора, а на Ликанском участке - 20 м³/сут или около 20% величины отбора.

После анализа полученных решений и вывода о их непротиворечивости имеющимся натурным данным, на модели осуществлялось решение комплекса прогнозных задач при разных схемах водоотбора. Для возможности сопоставления результатов прогнозов полученных гидравлическим методом и методом математического моделирования в разделе приведён прогноз на 25 лет с фактическими данными до 850 суток (по состоянию 01.03.2018 г.). В прогнозном варианте предполагается работа скважин, которые находились в опытной эксплуатации в начале 2018 г.г. Суммарный отбор на Центральном участке при этом составляет 288 м³/сут, скважина 131 отключена (табл. 4.4). Расчётные понижения уровней по скважинам участка на 25-летний срок эксплуатации не превышают 0.9 - 3.1 м (рис. 4.8). На участке Вашловани-Квибисси суммарный отбор составляет 402 м³/сут. Расчётные понижения уровней составляют 0.7-2.9 м. На участке Ликани водоотбор задан величиной 73 м³/сут. По сравнению с уровнем марта 2018 г. прогнозный уровень снизится на 0.2 м. В табл. 4.4 приведено сопоставление результатов прогнозных расчётов уровней (на 10 000 суток) на численной модели и гидравлическим методом. Получена достаточно хорошая сходимость абсолютных отметок прогнозных уровней.

В табл. 4.3 представлен баланс Центрального участка на окончание прогнозного периода (10 000 суток). Разгрузка из 3-го пласта во 2-й сохраняется на уровне 142 м³/сут, что в целом говорит о возможности прироста водоотбора над величиной 288 м³/сут, достигнутой при опытно-промышленной эксплуатации. В балансе водоотбора присутству-

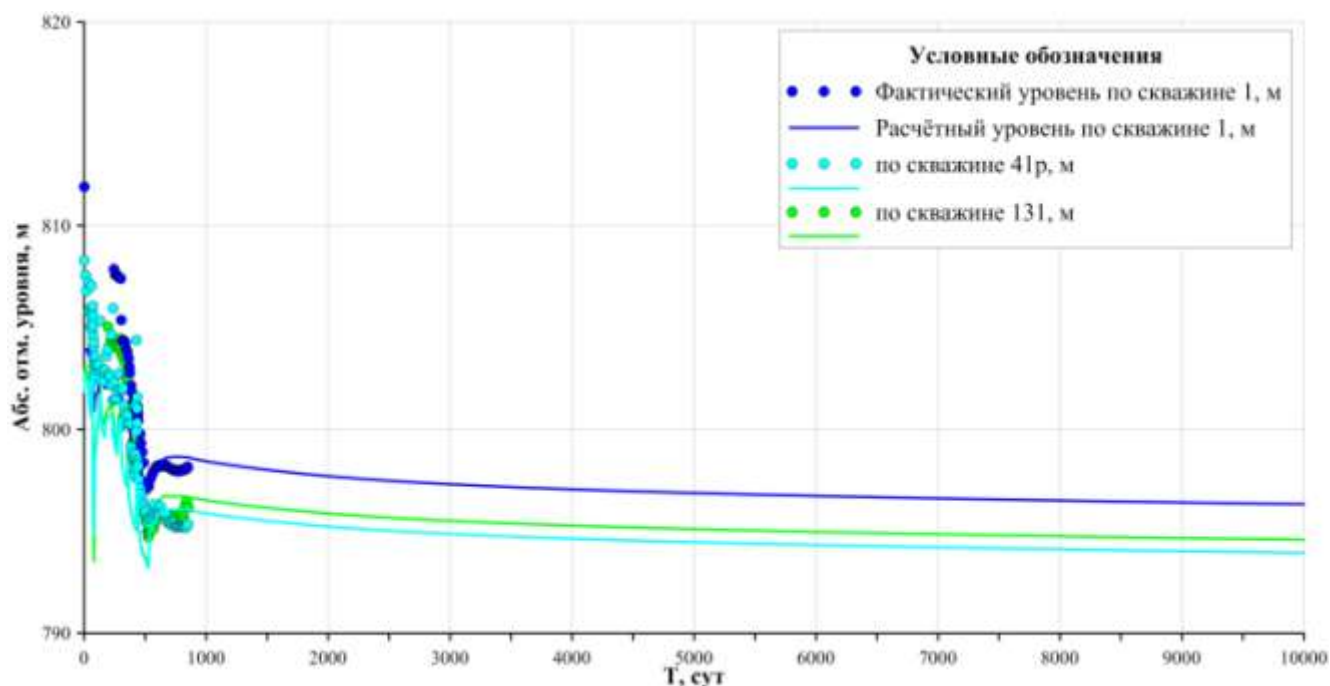


Рис. 4.8. Прогнозные уровни на 25 лет по скважинам 1, 41р, 131 Центрального участка

Таблица 4.4

Сопоставление результатов прогнозных расчётов уровней в скважинах на численной модели и гидравлическим методом

Скважина	Результаты прогноза методом численного моделирования					Результаты прогноза гидравлическим методом	
	Расчетные данные на 850 сут		Расчетные данные на 10000 сут				
	Q, м³/сут	а.о. Н ₂₀₁₈ , м	Q, м³/сут	а.о. Н, м	S, м	Q, м³/сут	а.о. Н, м
Центральный участок							
41р	178.5	796.1	180	793.9	2.2	180	795.6
59	60.8	796.3	60	795.1	1.2	60	797.4
1	11.3	798.6	12	796.3	2.3	12	798.1
21	5.2	797.1	5	796.2	0.9	5	797
103	28.1	784.2	30	781.1	3.1	30	784
131	0	796.7	0	794.6	2.1	0	796
21э	0.6	-	1	-	-	1	-
Всего Центральному уч-ку			288			288	
Участок Ликани							
54	71.5	903.9	73	903.7	0.2	73	903.8
Участок Вашловани-Квибисси							
70	20.4	850.9	20	849.1	1.8	20	841.6
47	79.7	835.4	80	832.5	2.9	80	826.1
37	29.5	782.5	30	779.7	2.8	30	778.7
38э	95.1	800.2	95	797.4	2.8	95	792.9
38	35.4	801.6	35.5	798.8	2.8	35.5	802.2
25э	121.8	761.9	121.5	761.2	0.7	121.5	763.8
67	20.2	759.9	20	758.6	1.3	20	758.6
Всего Вашловани-Квибисскому уч-ку			402			402	
Итого			763			763	

ет остаточная ёмкость пласта. Нестационарный режим при этом сохраняется, но не является основанием для снижения величины водоотбора по участку. Показано, что процесс стабилизации будет длиться до 100 лет. Снижение по основным эксплуатационным скважинам Центрального участка за последующие 75 лет составит всего 1.5 м, что соответствует менее 2 см за год. Доля ёмкостных запасов по состоянию на момент прогноза (1 марта 2018 года) составляет $16.8 \text{ м}^3/\text{сут}$ (5.8% от суммарного водоотбора по участку) (табл. 4.3), что объясняет достаточно выраженное снижение уровня (рис. 4.8). На конец прогноза (25 лет) доля ёмкостных запасов значительно снижается, составляя $0.9 \text{ м}^3/\text{сут}$ или менее 0.5% от суммарного водоотбора, что характеризуется режимом близким к стационарному (табл. 4.3).

Опытным путём было показано, что для достижения наиболее достоверных результатов прогноза математическую модель необходимо постоянно уточнять по мере получения новых фактических данных. Так поступление данных за 2018-2019 гг. поставило вопрос о необходимости воспроизведения землетрясения на модели методом подбора изменения количества газоводяного флюида из магматического очага в момент землетрясения. Ранее приток был задан постоянной величиной. Затем был произведён факторно-диапазонный анализ чувствительности этого показателя. В основном 1 варианте величина потока газоводяного флюида для Центрального участка составляла $73 \text{ м}^3/\text{сут}$ (рис. 4.9, табл. 4.5). Во 2 и 3 вариантах количество флюида было увеличено в 2 и 3 раза, в 4 варианте - сокращено в 2 раза. Наиболее удовлетворительное соответствие натурных и расчётных уровней достигалось за счёт уменьшения (варианты 2 и 3), либо увеличения (вариант 4) в несколько раз значений коэффициентов фильтрации в зоне Центрального участка в 3 пласте. Обращает внимание, что с увеличением расхода газоводяного флюида в 2 и 3 раза получено наибольшее соответствие расчётных и натурных данных по темпу снижения уровней с начала опытных работ до периода 500 суток. Это может быть связано с неучетом переменной ёмкости пласта в связи с эффектом "двойной пористости". Постоянное пополнение геофильтрационной математической модели данными комплексного мониторинга, регулярная корректировка параметров, корректировка краткосрочных и долгосрочных прогнозов есть важный инструмент управления эксплуатацией и переоценки запасов. На основе анализа данных гидродинамического и гидрогазохимического режима ежеквартально эксплуатирующей организации выдаётся информация по оптимальным дебитам эксплуатационных скважин на текущий период в рамках величины оценённых запасов.

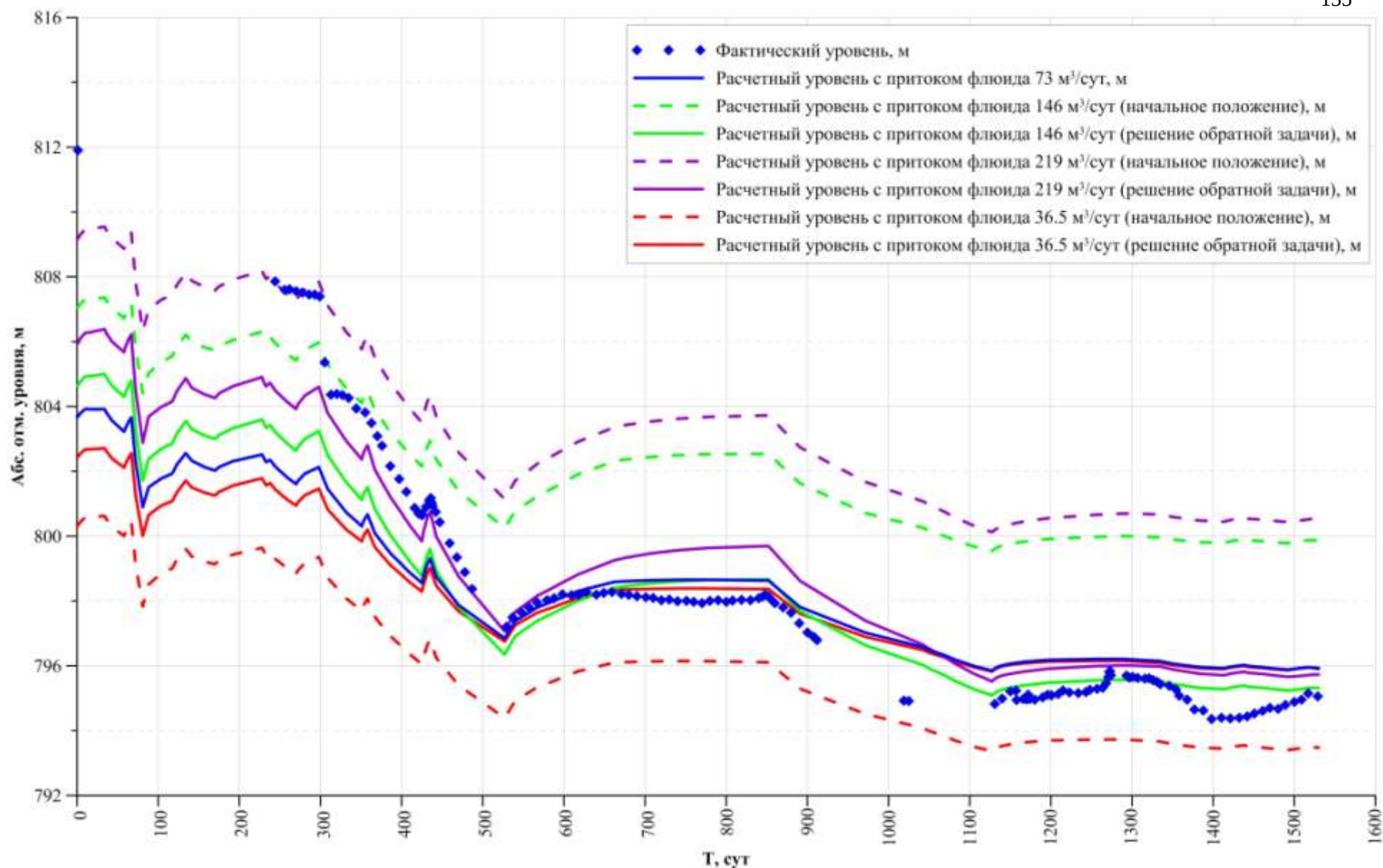


Рис. 4.9. Сопоставление натуральных и расчетных уровней по скважине 1 Центрального участка при факторно-диапазонном анализе количества глубинного потока газоводяного флюида из магматического очага

Таблица 4.5

Баланс боржомского пласта на Центральном участке по слоям численной модели (по состоянию на 1 марта 2018 г - 850 сутки) при факторно-диапазонном анализе количества глубинного потока газоводяного флюида из магматического очага

Вариант расчёта (количество глубинного потока газоводяного флюида из магматического очага)	Пласт модели	Составляющие баланса, м ³ /сут									
		Приток с границ участка +	Отток на границы участка -	Приток сверху +	Разрузка вверх -	Приток снизу +	Переток вниз -	Водоотбор (скважины) -	Ёмкость приток +	Ёмкость отток -	Всего
3 (219 м ³ /сут)	3 (верхняя часть)	154.9	1.1	48	148.5	220.2	1	284.5	12.2	0.8	-0.6
	4 (нижняя часть)	12	12.2	1	220.2	219	0	0	0.4	0	0
2 (146 м ³ /сут)	3 (верхняя часть)	206.9	1.9	55.1	145.3	155.9	0	284.5	14.8	1	0
	4 (нижняя часть)	13.5	4.4	0	155.9	146	0	0	0.4	0	-0.4
1 - основной (73 м ³ /сут)	3 (верхняя часть)	276.5	6.7	69.4	161.6	90.1	0	284.5	16.8	0.8	-0.8
	4 (нижняя часть)	17.1	0.7	0	90.1	73	0	0	0.6	0	-0.1
4 (36.5 м ³ /сут)	3 (верхняя часть)	317.9	12.7	70.4	162.9	57.1	0	284.5	14.6	0.7	-0.8
	4 (нижняя часть)	20.2	0.1	0	57.1	36.5	0	0	0.4	0	-0.1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последнее пятилетие на Боржомском месторождении углекислых минеральных вод реализована современная система комплексного мониторинга. Было произведено расширение объектов наблюдений, репрезентативность режимных наблюдений удалось повысить за счёт системы автоматизированного измерения и регистрации показателей гидродинамического и температурного режима эксплуатации. Для получения истинных пластовых уровней ряд самоизливающихся скважин был оборудован глубинными датчиками, установленными ниже зоны разделения фаз. Полученные ретроспективные и текущие данные были систематизированы за счёт создания информационно-аналитической системы. В результате комплексного анализа материалов были выделены гидродинамические периоды (этапы) эксплуатации с различными трендами изменения уровней или их стабилизации, что позволило проанализировать их характерные черты и особенности. На основе полученной информации разработана постоянно действующая численная геофильтрационная модель. По результатам моделирования выполнена количественная оценка балансовых составляющих формирования водоотбора минеральных вод. Включение блока прогнозирования в состав комплексного мониторинга позволило выполнять оценку изменения состояния месторождения гидравлическим методом, совмещённым с методом математического моделирования. Разработанная система мониторинга является информационным обеспечением управления эксплуатацией. Полученные данные легли в основу переоценок запасов Боржомского месторождения углекислых минеральных вод 2018-2020 гг., и позволили обосновать возможность увеличения водоотбора при сохранении качества воды в пределах установленных кондиций. На основе полученного информационного обеспечения на месторождении ежеквартально производится анализ режима и корректировка регламента эксплуатации в зависимости от полученных результатов. Дальнейшее развитие комплексной системы мониторинга месторождения необходимо осуществлять в следующих направлениях:

1. Техническое усовершенствование автоматизированной системы мониторинга.
2. Повышение достоверности прогнозов путём корректировки постоянно действующей численной гидродинамической математической модели за счёт пополнения данными мониторинга.
3. Изучение вопроса изменения притока газоводяного флюида из магматического очага при землетрясениях и различия темпов снижения фактических и расчётных уровней за счёт переменной ёмкости боржомского пласта при формировании воронки депрессии. Сближение и взаимоувязка гидродинамической математической модели с термодинамической газохимической моделью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликованная литература

1. Абрамов В.Ю. Формирование химического состава подземных вод в экстремальных термодинамических условиях: диссертация на соискание ученой степени д-р. геол.-минерал. наук / Абрамов В.Ю.-М.:, 2015. – с. 47.
2. Абрамов В.Ю., Боровский Б.В., Ершов Г.Е., Язвин А.Л. Опыт переоценки запасов и прогнозных ресурсов минеральных вод Ессентукского и Бештаугорского месторождений: [Текст] / Абрамов В.Ю., Боровский Б.В., Ершов Г.Е., Язвин А.Л. Недропользование XXI век №5, М.:, 2013. - с.37-45.
3. Абрамов В.Ю., Боровский Б.В., Лизогубов В.А., Язвин А.Л. Новый взгляд на формирование ресурсов и термо-газохимического состава углекислых минеральных вод Ессентукского и Нагутского месторождений. Труды Всероссийской конференции с участием иностранных ученых. Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: [Текст] / Абрамов В.Ю., Боровский Б.В., Лизогубов В.А., Язвин А.Л. – Томск:, 2012. - с. 188-192.
4. Абрамов В.Ю., Вавичкин А.Ю. Особенности формирования термогазохимического состава минеральных вод Ессентукского месторождения: [Текст] / Абрамов В.Ю., Вавичкин А.Ю. - Разведка и охрана недр №10, М.: 2010. - с.27-32.
5. Биндеман Н.Н., Язвин Л.С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод: [Текст] / Биндеман Н.Н., Язвин Л.С. - М.: Недра, 1970, - с. 215.
6. Бондарева Г.Л. Гидрогеодинамические и гидрогеохимические особенности Пятигорского месторождения минеральных вод: диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-минерал. наук / Бондарева Г.Л. – Пермь:, 2011. – с. 193.
7. Бондаренко С.С., Боровский Л.В. и др. Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод: [Текст] / Бондаренко С.С., Боровский Л.В. и др - М.:, Недра, 1971. - с. 244.
8. Бондаренко С.С., Вартанян Г.С. Методы изучения и оценка ресурсов глубоких подземных вод: [Текст] / Бондаренко С.С., Вартанян Г.С.- М.:, Недра, 1986. - с. 479.
9. Боровский Б.В., Абрамов В.Ю., Ершов Г.Е., **Секерина И.Н.**, Язвин А.Л., Корошинадзе Т.О. Природная гидрогеологическая модель Боржомского месторождения углекислых минеральных вод и её трансформация в процессе разведки и эксплуатации: [Текст] / Боровский Б.В., Абрамов В.Ю., Ершов Г.Е., Секерина И.Н., Язвин А.Л., Корошинадзе Т.О. - Разведка и охрана недр, № 5, М., 2020. - с. 44-53.

10. Боровский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. Оценка запасов подземных вод: [Текст] / Боровский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. - Киев, Выща шк., Головное изд-во, 1989. - с. 407.
11. Боровский Б.В., Ершов Г.Е., Абрамов В.Ю., Язвин А.Л. Оценка запасов углекислых минеральных вод крупных месторождений IV группы сложности при совмещении гидравлического метода и математического моделирования: [Текст] / Боровский Б.В., Ершов Г.Е., Абрамов В.Ю., Язвин А.Л. - Недропользование XXI век №6, М., 2019. - с.64-69.
12. Боровский Б.В., Ракунов А.Б., **Секерина И.Н.** Особенности обустройства измерительной аппаратуры и ведения мониторинга самоизливающих газоводяным флюидом скважин [Текст] / Боровский Б.В., Ракунов А.Б., Секерина И.Н. // Материалы XV общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций. Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации (Москва, 26-29 ноября, 2019 г.). – Москва: Геомаркетинг, 2019. – С. 645-653.
13. Боровский Б.В., **Секерина И.Н.**, Язвин А.Л. Анализ данных многолетнего мониторинга Боржомского месторождения углекислых минеральных вод для обоснования современной схемы его эксплуатации [Текст] / Боровский Б.В., Секерина И.Н., Язвин А.Л. // Разведка и охрана недр. – 2020. – № 5. – С. 33-43.
14. Боровский Л.В. Гидродинамические особенности глубокозалегающих водоносных горизонтов: [Текст] / Боровский Л.В. - Разведка и охрана недр №11, М., 2005. - с.13-15.
15. Буачидзе Г.И., Мхеидзе Б.С. К геохимии природных газов Аджаро-Триалетской складчатой системы. Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии: учебное пособие / Буачидзе Г.И., Мхеидзе Б.С. - Тбилиси, Мецниереба, 1977. – с. 149.
16. Буачидзе И.М. Гидрогеология СССР: [Текст] / Буачидзе И.М - Т. X, Грузинская СССР. М., Недра, 1970. – с . 404.
17. Вартанян Г.С. Месторождения углекислых вод горно-складчатых регионов: [Текст] / Вартанян Г.С. - М., Недра, 1977. – с. 288.
18. Вартанян Г.С. Разведка месторождений минеральных подземных вод: [Текст] / Вартанян Г.С. - М., Недра, 1990. – с. 220.
19. Вартанян Г.С., Плотникова Р.И., Харатишвили Л.А., Чхаидзе Д.В. Гидрогеологическая модель Боржомского месторождения минеральной воды: [Текст] / Вартанян Г.С., Плотникова Р.И., Харатишвили Л.А., Чхаидзе Д.В. - Советская геология, №3, 1985. - с. 105-113.

20. Вартанян Г.С., Яроцкий Л.А. Поиски, разведка и оценка эксплуатационных запасов месторождений минеральных вод: [Текст] / Вартанян Г.С., Яроцкий Л.А. - М.: Недра, 1972. - с. 127.
21. Врублевский М.И. Минеральные воды Центрального Кавказа как одно из проявлений его геологического развития: [Текст] / Врублевский М.И. - Л.: Издательство Ленинградского университета, 1962. – с. 256.
22. Всеволожский В.А., Киреева Т.А. Влияние глубинных газопаровых флюидов на формирование состава пластовых вод нефтегазовых месторождений: [Текст] / Всеволожский В.А., Киреева Т.А. - Вестник Московского университета, серия геология, № 3, 2010. - с. 57-62.
23. Галицкая И.В., Батрак Г.И. Обоснование принципов мониторинга подземных вод при управлении риском на территориях экологоопасных предприятий: [Текст] / Галицкая И.В., Батрак Г.И. - Науки о Земле № 4. М.:, 2015. - с. 21-27.
24. Гамкредидзе И.П. Механизм формирования тектонических структур (на примере Аджаро-Триалетской зоны) и некоторые общие проблемы тектогенеза: [Текст] / Гамкредидзе И.П. - Тбилиси, Мецниереба, 1976. - с. 226.
25. Гамкредидзе П.Д. Геологическое строение Аджаро-Триалетской складчатой системы: [Текст] / Гамкредидзе П.Д. - Тбилиси, Институт геологии и минералогии СССР 1949. - с. 507.
26. Герасимов И.П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды: [Текст] / Герасимов И.П. - Л.:, Гидрометеиздат, 1987. - с. 13-25.
27. Гусева Н.В. Механизмы формирования химического состава природных вод в различных ландшафтно-климатических зонах горно-складчатых областей центральной Евразии: диссертация на соискание ученой степени д-р. геол.-минерал. наук. / Гусева Н.В. - Томск, 2018. – с.300.
28. Иванов В.В., Невраев Г.А. Классификация подземных минеральных вод: [Текст] / Иванов В.В., Невраев Г.А. - М.:, Недра, 1964. – с. 168.
29. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды: [Текст] / Израэль Ю.А. - М.:, Гидрометеиздат, 1984. - с. 559.
30. Каменский Г.Н., Биндеман Н.Н., Вевировская М.А., Альтовский М.Е. Режим подземных вод: [Текст] / Каменский Г.Н., Биндеман Н.Н., Вевировская М.А., Альтовский М.Е.- Москва-Ленинград, ГОНТИ, 1938. – с. 192.
31. Кирюхин В.А., Коротков А.И., Шварцев С.Л. Гидрогеохимия: [Текст] / Кирюхин В.А., Коротков А.И., Шварцев С.Л. - М.:, Недра, 1993. – с. 384.

32. Киселёв П.А. Изучение баланса подземных вод в слоистых толщах по режимным данным: [Текст] / Киселёв П.А. - М.: Недра, 1975. – с. 117.
33. Ковалевский В.С. Исследования режима подземных вод в связи с их эксплуатацией: [Текст] / Ковалевский В.С. - М.: Недра, 1986. - с. 198.
34. Коноплянцев А.А., Ковалевский В.С., Семёнов С.М. Естественный режим подземных вод и его закономерности: [Текст] / Коноплянцев А.А., Ковалевский В.С., Семёнов С.М. - М.: Госгеолтехиздат, 1963. – с. 231.
35. Коноплянцев А.А., Семенов С.М. Изучение, прогноз и картирование режима подземных вод: [Текст] / Коноплянцев А.А., Семенов С.М. - М.: Недра, 1979. – с. 193
36. Коншин А.М. Отчет об исследовании Боржомских и Абастуманских минеральных вод: [Текст] / Коншин А.М. - Тифлис, 1893. - с. 103.
37. Королев Б.И. Изучение Кисловодского и Ессентукского месторождений углекислых минеральных вод на основе информационного анализа: диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-минерал. наук / Королев Б.И. - М.:, 2010. – с. 172.
38. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод: [Текст] / Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. - М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. –с. 672.
39. Кулаков В.В., Сидоренко С.В. Минеральные воды и лечебные грязи Приамурья: [Текст] / Кулаков В.В., Сидоренко С.В. - Хабаровск, ДВГМУ, 2017. – с. 474.
40. Куликов Г.В., Жевлаков А.В., Бондаренко С.С. Минеральные лечебные воды СССР: Справочник: [Текст] / Куликов Г.В., Жевлаков А.В., Бондаренко С.С. - М.: Недра, 1991. – с. 399.
41. Лаврушин В.Ю. Формирование подземных флюидов Большого Кавказа и его обрамления в связи с процессами литогенеза и магматизма. Диссертация на соискание ученой степени д-р. геол.-минерал. наук: [Текст] / Лаврушин В.Ю. - М.:, 2008. – с. 54.
42. Лаврушин В.Ю. Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления: [Текст] / Лаврушин В.Ю. - М.:, ГЕОС, 2012. - с. 348.
43. Лаврушин В.Ю., Айдаркожина А., Киквадзе О.Е. Углекислые воды Кавказа – генезис и условия формирования: мифы, факты, решения. Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы Второй Всероссийской научной конференции с международным участием: [Текст] / Лаврушин В.Ю., Айдаркожина А., Киквадзе О.Е. - г. Чита, 20–25 августа 2018 г. Улан-Удэ, 2018. - с. 54–59.

44. Лебедев А.В. Оценка баланса подземных вод: [Текст] / Лебедев А.В. - М.: Недра, 1989. – с. 171.
45. Лепокурова О.Е. Содовые подземные воды юго-востока Западной Сибири: геохимия и условия формирования. Диссертация на соискание ученой степени д-р геол.-минерал. наук: [Текст] / Лепокурова О.Е. - Томск, 2018. – с. 44.
46. Матусевич В.М., Курчиков А.Р., Ковяткина Л.А. Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 85-летию А.А. Карцева. Современная гидрогеология нефти и газа. Фундаментальные и прикладные вопросы: [Текст] / Матусевич В.М., Курчиков А.Р., Ковяткина Л.А. - М.: 2010. - с. 55-61.
47. Мелива А.М. Пульсационные явления Боржомских минеральных источников. Труды лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР: [Текст] / Мелива А.М. – М.: 1951.
48. Мольденгауер Ф.Ф. Наблюдения над жизнью интермиттирующих минеральных источников при помощи самопишущего прибора: [Текст] / Мольденгауер Ф.Ф. - Тифлис, 1901. – с. 22.
49. Овчинников А.М. Минеральные воды: [Текст] / Овчинников А.М. - М.: Госгеолтехиздат, 1963. – с. 375.
50. Павлов С.Х. Углекислые воды – результат физико-химических взаимодействий в системе «вода-порода». Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием: [Текст] / Павлов С.Х. - г. Владивосток, 06–11 сентября 2015 г. – Владивосток, Дальнаука, 2015. - с. 159–162.
51. Пантелеев И.Я., Сурков В.Н. Минеральные источники и лечебная грязь района Кавказских Минеральных вод: [Текст] / Пантелеев И.Я., Сурков В.Н. - Пятигорск, 1960. - с. 168.
52. Пендин В.В., Ганова С.Д. Геоэкологический мониторинг территории расположения объектов транспорта газа в криолитозоне: [Текст] / Пендин В.В., Ганова С.Д. - М.: ПНИИИС, 2009. - с. 236.
53. Плотникова Р.И. Методика оценки запасов минеральных вод. Экспертиза запасов минеральных вод: методические подходы и требования: [Текст] / Плотникова Р.И. - Недропользование XXI век № 6, М.: 2019. - с.96-99.
54. Погорельский Н.С. Углекислые воды Большого района Кавказских Минеральных Вод: [Текст] / Погорельский Н.С. - Ставрополь, Ставропольское книжное изд-во, 1973. - с. 392.

55. Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф. Ионнообменная концепция в генетической гидрогеохимии: [Текст] / Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф. - Уфа, Гилем НИК «Башкирская энциклопедия», 2013. – с. 356.
56. Посохов Е.В., Толстихин Н.И. Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические): [Текст] / Посохов Е.В., Толстихин Н.И. - Л.: Недра, 1977. – с. 240.
57. Сахаров И.В., Язвин А.Л. Характеристика программно-алгоритмического комплекса GeoCODE: [Текст] / Сахаров И.В., Язвин А.Л. - Разведка и охрана недр, № 10, М.:, 2010. - с. 42-47.
58. **Секерина И.Н.** Анализ опыта эксплуатации Боржомского месторождения на современном этапе его освоения [Текст] / Секерина И.Н.// Новые идеи в науках о Земле: Материалы XIV Международной научно-практической конференции (Москва, 2-5 апреля, 2019 г.) / Российский государственный геологоразведочный университет; [ред. кол.: Косьянов В.А., Керимов В.Ю., Куликов В.В.]. – Т. 3. – Москва: МГРИ, 2019. – С. 225-228.
59. **Секерина И.Н.** Мониторинг Боржомского месторождения углекислых минеральных вод – как информационная основа их изучения и переоценки запасов [Текст] / Секерина И.Н. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2019. – № 3. – С. 83-89.
60. **Секерина И.Н.,** Боровский Б.В., Ракунов А.Б. Соответствие устьевых и пластовых давлений в самоизливающих газоводяным флюидом скважинах [Текст] / Секерина И.Н., Боровский Б.В., Ракунов А.Б. // Молодые - Научкам о Земле: Материалы IX Международной научной конференции молодых учёных (Москва, 23 октября, 2020 г.) / Российский государственный геологоразведочный университет; [ред. кол.: Косьянов В.А., Керимов В.Ю., Куликов В.В.]. – Т. 3. – Москва: МГРИ, 2020. – С. 55-59.
61. Струве Г.В. Материалы для изучения минеральных вод Кавказа. Боржомские, Цагверские, Уравельские и Абастуманские минеральные воды: [Текст] / Струве Г.В. - Сборник Императорского Кавказского медицинского общества. Тифлис, вып. 1, № 5, 1868. - с.23.
62. Туруло М.М. Анализ гидродинамического и гидрохимического режима эксплуатации Куюлусского месторождения подземных вод (Казахстан) как основа объектного мониторинга. Диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-минерал. наук: [Текст] / Туруло М.М. - М.:, 2012. – с. 24.

63. Туруло М.М. Принципы организации объектного мониторинга на крупном водозаборе (Куюлусское месторождение, Казахстан): [Текст] / Туруло М.М. - Молодой ученый № 2. М. 2012. - с. 95-99.
64. Харитонов Н.А. Углекислые минеральные воды северо-востока Азии: происхождение и эволюция. Диссертация на соискание ученой степени д-р геол.-минерал. наук: [Текст] / Харитонов Н.А. - Томск, 2013. – с. 46.
65. Хаустов В.В. Роль глубинной геодинамики в формировании гидrolитосферы (на примере Каспийско-Кавказского сегмента). Диссертация на соискание ученой степени д-р геол.-минерал. наук: [Текст] / Хаустов В.В. - СПб, 2011. – с. 192.
66. Церцвадзе Н.В. Минеральные воды Грузии: [Текст] / Церцвадзе Н.В - Тбилиси, Gamma, 2017. – с. 176.
67. Челноков Г.А., Харитонов Н.А. Углекислые минеральные воды юга Дальнего Востока России: [Текст] / Челноков Г.А., Харитонов Н.А. - Владивосток, Дальнаука, 2008. - с.165.
68. Чихелидзе С.С. Природные ресурсы Грузинской ССР, том 3, минеральные воды: [Текст] / Чихелидзе С.С. - М.:, академия наук СССР, 1962. – с. 439.
69. Шестакова А.В. Геохимия углекислых минеральных вод северо-востока Тувы. Диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-минерал. наук: [Текст] / Шестакова А.В. - Томск, 2018.- с. 148.
70. Шестаков В.М. Принципы гидрогеодинамического мониторинга: [Текст] / Шестаков В.М. - Разведка и охрана недр. 1988, № 8, 1988. - с. 45-49.
71. Шпак А.А., Ефремочкин Н.В., Боровский Л.В. Поиски, разведка и оценка прогнозных эксплуатационных запасов теплоэнергетических вод: [Текст] / Шпак А.А., Ефремочкин Н.В., Боровский Л.В. - М.:, Недра, 1989. - с. 126.
72. Штакман А.А. Боржомские и Цагверские минеральные воды: [Текст] / Штакман А.А. - Спб.:, 4-ое издание, 1892. - с. 16.
73. Яроцкий Л.А. Углекислые воды СССР: [Текст] / Яроцкий Л.А. - Выпуск 1. Области распространения. Москва, 1-я типография Профиздата, 1979. – с. 131.
74. Chiodini G. Quantification of deep CO₂ fluxes from Central Italy. Examples of carbon balance for regional aquifers and of soil diffuse degassing/ G. Chiodini, F.Frondini, D.M. Kerrick, J. Rogie, F. Parello, L. Peruzzi, A.R. Zanzari.Chem.// Geol. - 1999. - 159. – pp. 205-222.
75. Crossey L.J. Degassing of mantle-derived CO₂ and He from springs in the southern Colorado Plateau region--Neotectonic connections and implications for groundwater

- systems/ L.J. Crossey, K.E. Karlstrom, A.E. Springer, D. Newell, D.R. Hilton, T. Fischer // *Geol. Soc. Am. Bull.*, 2009. – 121. - pp. 1034-1053.
76. Gardner W.P. A multitracer approach for characterizing interactions between shallow groundwater and the hydrothermal system in the Norris Geyser Basin area, Yellowstone National Park / W.P. Gardner, D.D. Susong, D.K. Solomon, H.P. Heasler // *G-cubed*, 2011. – 12.
77. Kharaka Y., Thordsen J., Evans W. Crustal Fluids: CO₂ of mantle and crustal origins in the San Andreas fault system, California. *Geochemistry of Earth's Surface*. Balkema, 1999. pp. 515-518.
78. Phillips F.M. Environmental tracers applied to quantifying causes of salinity in arid-region rivers: Results from the Rio Grande Basin, Southwestern USA / F.M. Phillips, S. Mills, M.H. Hendrickx, J. Hogan // *Developments in Water Science*, Elsevier, 2003. - pp. 327-334.
79. William A.J. Hydrogeochemistry of the Middle Rio Grande aquifer system – Fluid mixing and salinization of the Rio Grande due to fault inputs / A.J. Williams, L.J. Crossey, K.E. Karlstrom, D. Newell, M. Person, E. Woolsey // *Chem. Geol.*, 2013. – 351. - pp. 281-298.

Нормативная литература

80. Гольдберг В.М., Язвин Л.С. Методические указания по оценке эксплуатационных запасов термальных вод: [Текст] - М.: ВСЕГИНГЕО, 1966. - с. 114.
81. Валединский В.И., Стойнов Т.Ф. Проведение гидрогеологических наблюдений на месторождениях лечебных минеральных вод, техническое обслуживание гидроминерального хозяйства и горно-санитарная охрана курортов (Методические рекомендации под редакцией профессора В.В. Иванова) : [Текст] - М.: Центральный методический совет, 1980. - с. 71.
82. Мониторинг месторождений и участков водозаборов питьевых подземных вод. Методические рекомендации: [Текст] - М.: МПР, 1998. - с. 80.
83. Национальный стандарт Грузии. Вода натуральная минеральная "Боржоми". СТГ 50:2010. Технические условия. Национальное агентство стандартов, технических регламентов и метрологии Грузии: [Текст] - Тбилиси. 2010. – с 31.

Фондовые материалы

84. Боровский Б.В. и др. Программа «Специальные гидрогеологические исследования для переоценки запасов минеральных вод Боржомского месторождения углекислых минеральных вод», 1 Этап «Переоценка запасов Боржомского месторождения углекислых минеральных вод» : [Текст] / Боровский Б.В. и др. - М.: ГИДЭК. 2014. - с. 135.

85. Боровский Б.В., Абрамов В.Ю., и др. Гидрогеологический отчет по переоценке эксплуатационных запасов Центрального участка Боржомского месторождения минеральных вод (по состоянию на 31.03.2017 г.) : [Текст] / Боровский Б.В., Абрамов В.Ю., и др. - М.: ГИДЭК. 2017. - с. 293.
86. Боровский Б.В., Корошинадзе Т.О., и др. Гидрогеологический отчет по переоценке эксплуатационных запасов Боржомского месторождения углекислых минеральных вод (по состоянию на 01.03.2018 г.): [Текст] / Боровский Б.В., Корошинадзе Т.О., и др. - М.: ГИДЭК. 2018. – с. 487.
87. Боровский Б.В., Секерина И.Н., и др. Гидрогеологический отчет по переоценке эксплуатационных запасов Боржомского месторождения углекислых минеральных вод по скважине 131 (Центральный участок) (по состоянию на 01.07.2019 г.): [Текст] / Боровский Б.В., Секерина И.Н., и др. - М.: ГИДЭК. 2019. - с. 242.
88. Боровский Б.В., Секерина И.Н., и др. Гидрогеологический отчет по переоценке эксплуатационных запасов Боржомского месторождения углекислых минеральных вод по скважине 103 (Центральный участок) (по состоянию на 01.03.2020 г.): [Текст] / Боровский Б.В., Секерина И.Н., и др. - М.: ГИДЭК. 2020. - с. 196.
89. Буачидзе И.М., Лазарашвили Т.Х. и др. Отчет по подсчёту эксплуатационных запасов боржомских вод на Вашловани-Квибисском участке Боржомского месторождения: [Текст] / Буачидзе И.М., Лазарашвили Т.Х. и др. - РФГФ, № 290631. 1968. - с. 612.
90. Буачидзе И.М., Хухия Н.В., Чхаидзе Д.В. Отчет по поисково-разведочным работам на минеральные воды типов Боржоми, Ессентуки, Саирме и др. в пределах Боржомского и прилегающих к нему районов.: [Текст] / Буачидзе И.М., Хухия Н.В., Чхаидзе Д.В. - Фонды Грузии. 1975. - с. 90.
91. Гаглов Г.М., Джигаури Д.Г. и др. Сводный отчет за период 1954-1961 гг. по разведке Боржомского месторождения углекислых вод с подсчётом запасов по состоянию на 01.01.1962 г.: [Текст] / Гаглов Г.М., Джигаури Д.Г. и др. - РФГФ, № 243985. 1962. - с. 337.
92. Гаглов Г.М., Кения С.Т., Лазарашвили Т.Х. и др. Отчет по проведению геологических работ в Боржомском, Ахалцихском и прилегающих к ним районах: [Текст] / Гаглов Г.М., Кения С.Т., Лазарашвили Т.Х. и др. - РФГФ, № 234292. 1960. - с. 243.
93. Гамкрелидзе И.П., Лобжанидзе Г.П. Стратиграфия и тектоника мезокайнозойских отложений центральной части Аджаро-Триалетии, включая районы минеральных

- источников типа "Боржоми": [Текст] / Гамкредидзе И.П., Лобжанидзе Г.П. - Фонды Грузии. 1981. – с. 81.
94. Гогитидзе И.К., Вартанян Г.С., Харатишвили Л.А., и др. Отчет по детальной разведке Боржомского месторождения углекислых минеральных вод с переоценкой эксплуатационных запасов за 1978-1982 г.г. (по состоянию на 01.10.1982 г.): [Текст] / Гогитидзе И.К., Вартанян Г.С., Харатишвили Л.А., и др. - ТГФ. 1982. - с. 385.
 95. Китовани Ш.К. Перспективы нефтегазоносности полосы Аджаро-Триалетской складчатой системы: [Текст] / Китовани Ш.К. - Фонды Грузии. 1959. - с. 450.
 96. Лазарашвили Т.Х., Гаврилов Г.С. и др. Отчет о результатах бурения параметрической скважины № 1 на Ликанском участке месторождения минеральных вод за 1975-1980 гг.: [Текст] / Лазарашвили Т.Х., Гаврилов Г.С. и др. - Фонды Грузии. 1980. - с. 141.
 97. Лазарашвили Т.Х., Кипиани И.К., Фурса К.А. Отчет по поисково-разведочным работам на минеральные воды в Боржомском и прилегающих к нему районах по работам 1959-1966 гг.: [Текст] / Лазарашвили Т.Х., Кипиани И.К., Фурса К.А. ТГФ. 1967. - с. 132.
 98. Лобжанидзе Г.П. Отчет Боржомской ГГП по геолого-гидрогеологическим съемочным работам 1955-1957 гг.: [Текст] / Лобжанидзе Г.П. - Фонды Грузии, 1957. - с. 339.
 99. Овчинников А.М. Основные результаты гидрогеологических работ в Боржоми за 1927-1935 гг.: [Текст] / Овчинников А.М. Фонды Грузии. 1936. – с. 185.
 100. Стуруа И.Н., Девидзе Н.А. Минеральные воды восточной части Малого Кавказа (в пределах СССР): [Текст] / Стуруа И.Н., Девидзе Н.А. - Фонды Грузии. 1978. – с. 281.
 101. Тимохин В.Г., Алибекова С.В., Боровский Л.В. Отчет об оценке ресурсного потенциала минеральных и пресных вод Минераловодского артезианского бассейна: [Текст] / Тимохин В.Г., Алибекова С.В., Боровский Л.В. - М.: ГИДЭК. 2006. – с. 806.
 102. Церцвадзе Н.В., Буачидзе Г.И. Химический и газовый состав минеральных вод Боржомского месторождения: [Текст] / Церцвадзе Н.В., Буачидзе Г.И. Фонды Грузии. 1980. – с. 145.
 103. Чичуа Т.Е., Джалиашвили В.Г. и др. Комплексное изучение курортных и рекреационных ресурсов Боржоми-Бакурианского района: [Текст] / Чичуа Т.Е., Джалиашвили В.Г. и др. - Фонды Грузии. 1980. – с. 271.

104. Чхаидзе Д.В., Георгадзе Д.Ш. и др. Отчет по поисковым работам на минеральные воды в пределах Боржоми и прилегающих к нему районов за 1975-1978 гг.: [Текст] / Чхаидзе Д.В., Георгадзе Д.Ш. и др. - Фонды Грузии. 1978. - с. 132.
105. Чхаидзе Д.В., Харатишвили Л.А. и др. Отчет Боржомской ГПП по специализированной гидрогеологической съемке масштаба 1:25 000 района Боржомского месторождения минеральных вод за 1981-1988 гг.: [Текст] / Чхаидзе Д.В., Харатишвили Л.А. и др. - ТГФ. 1988. – с. 186.
106. Assistance in view of water resources evaluation for Borjomi aquifer. ANTEA Direction Internationale. Report n1: Discharge and physico-chemical data gathering, setting of information system and interpretation of data, 2005. Report n2: Interim report, Geological report and additional investigations, 2006.
107. მიგინეიშვილი ბ., ხარატიშვილი ლ., გაბეჩავა ჯ., ჩხაიძე დ. და სხვ. ანგარიში ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს საექსპლუატაციო მარაგების გადართვის შესახებ, 2006 წლის 01 მარტის მდგომარეობით. 2006. ტფ.
108. ჩხაიძე დ., კოროშინაძე თ., შარაშენიძე ვ. ბორჯომის საბადოს ცენტრალურ უბანზე დაბალმინერალიზებული (2-4 გ/ლ) „ბორჯომის“ ტიპის მინერალური წყლის საექსპლუატაციო მარაგების შეფასებაზე №125 ჭაბურღილის მიხედვით, 2009 წლის 01 იანვრის მდგომარეობით. 2009. ტფ.
109. გაბეჩავა ჯ., ჩხაიძე დ., ცირდილაძე ნ., ლომინაძე ი., გვახარია ვ. ჰიდროგეოლოგიური ანგარიში ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს ვაშლოვანი-ყვიბისის უბნის (№ 38 ჭაბურღილის) მიწისქვეშა წყლების C₁ კატეგორიაში დამტკიცებული საექსპლუატაციო მარაგების სამრეწველო კატეგორიაში გადაყვანის შესახებ, 2013 წლის 01 ივნისის მდგომარეობით. 2013. ტფ.
110. გაბეჩავა ჯ., ჩხაიძე დ., ცირდილაძე ნ., კოროშინაძე თ., ლებანიძე ბ. ჰიდროგეოლოგიური ანგარიში ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს ვაშლოვანი-ყვიბისის უბნის № 70 ჭაბურღილის მიწისქვეშა წყლების საექსპლუატაციო მარაგების გათვლის შესახებ, 2014 წლის 05 სექტემბრის მდგომარეობით. 2014. ტფ.
111. კოროშინაძე თ. ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს ჰიდროგეოლოგიური მოდელირება მარაგების გაზრდის მიზნით. დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის. თბილისი, 2018.