

На правах рукописи

И.Секерина

Секерина Ирина Николаевна

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

Специальность 1.6.6 – гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2021

Работа выполнена в Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе (МГРИ) на кафедре гидрогеологии им. В.М. Швеца и Гидрогеологической и геоэкологической компании акционерного общества «ГИДЭК»

Научный руководитель: **Боревский Борис Владимирович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, генеральный директор АО «ГИДЭК»

Официальные оппоненты: **Судариков Сергей Михайлович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургского горного университета»

Спектор Сергей Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора ФГБУ «Гидроспецгеология»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук» (ИГЭ РАН)

Защита состоится «21» октября 2021 г. в 15:00ч. в ауд. 4-73 на заседании диссертационного совета 24.2.364.01 в Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе (МГРИ) по адресу: г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ).

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просьба направлять по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), ученому секретарю диссертационного совета 24.2.364.01.

Телефон: (495) 461-37-77 (добавочный 21-26)

Ученый секретарь диссертационного совета 24.2.364.01 доктор геолого-минералогических наук, доцент

Вязкова Ольга Евгеньевна

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 режимобразующие 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 гидрогеологической карты и геолого-гидрогеологических разрезов Боржомского месторождения, отвечающим современным требованиям;

- в проведении полевых исследований;

- в разработке современной структуры системы комплексного мониторинга месторождения и реализации её на практике;

- в 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, проф. Боровскому Б.В. за ценные советы при написании диссертации. Автор признательна Олиферовой О.А., Ершову Г.Е., Абрамову В.Ю., Модиною 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Глава 1. Современное состояние изученности углекислых минеральных вод и Боржомского месторождения

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., Буачидзе И.М., Вартамян Г.С., Врублевский М.И., Иванов В.В., Кирюхин В.А., Невраев Г.А., Обручев С.В., Овчинников А.М., Огильви А.Н., Островский А.Б., Пантелеев И.Я., Погорельский Н.С., Посохов Е.В., Толстихин Н.И., Харатишвили Л.А., Чихелидзе С.С., Чичуа Т.Е., Шагоянц С.А., Яроцкий Л.А., Van Emerdingen, White* и др. В последние годы появились работы *Абрамова В.Ю., Лаврушина В.Ю., Павлова С.Х., Харитоновой Н.А., Хаустова В.В., Челнокова Г.А., Chiodini G., Kharaka Y.K.* Однако, до сих пор спорными остаются вопросы, связанные с установлением источников компонентов в углекислых водах (микроэлементов, газов, углекислоты) и процессах, происходящих в них.

Система наблюдений для целей регионального изучения и прогноза режима подземных вод была организована в СССР в 30-е годы 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), Коноплянцева А.А., Семенова С.М., Ковалевского В.С. (1963), Киселева П.А. (1975), Лебедева А.В. (1989)* и др. Вопросы изучения естественного и естественно-техногенного режима минеральных и промышленных вод в разные годы в своих работах рассматривали *Вартамян Г.С. (1977, 1990), Ефремочкин Н.В., Плотникова Р.И. (1986)*. Особенности ведения режимных наблюдений на различных месторождениях минеральных вод, 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*).

Определение **комплексного мониторинга месторождений подземных вод** было сформулировано *Боревским Б.В., Язвиным Л.С., Закутиным В.П. (1998)*, как система наблюдений и сбора информации, оценки и прогнозирования пространственно-временных изменений состояния месторождения под воздействием антропогенных и природных факторов. Главное отличие предложенной или современной 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. Однако, в настоящее время отсутствуют методические рекомендации по комплексному мониторингу месторождений углекислых

минеральных вод.

Материалы многолетнего комплексного мониторинга месторождений углекислых минеральных вод служат информационным обеспечением оценок (переоценок) их запасов. Долгое время все подсчеты запасов на месторождениях углекислых минеральных вод базировались на различных вариациях гидравлического метода. В последнее десятилетие *Боревским Б.В., Ершовым Г.Е., Абрамовым В.Ю.* (ЗАО «ГИДЭК», 2019) 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. Особенно важным результатом использования моделирования является оценка балансовых составляющих формирования запасов минеральных вод. Выполнение прогнозов методом математического моделирования для подсчета запасов месторождений углекислых минеральных вод применяется ЗАО «ГИДЭК» с начала 2000-х годов (*Боревский Л.В., Ершов Г.Е., Плугина Т.А., Сычёва Л.Б.*, 2006).

Боржомское месторождение углекислых минеральных вод является одним из наиболее ярких представителей этого типа. Изучением месторождения в разное время занимались *Алтаев В.Р., Буачидзе И.М., Вартамян Г.С., Гаглоев 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.* Резкое увеличение суммарного водоотбора Боржомского месторождения на рубеже 1950х и 1960х годов за счёт большого объёма буровых работ и расширения территории месторождения, а затем его постепенное сокращение с целью сохранения самоизлива на устье скважин происходило в соответствии с основными этапами геологоразведочных и оценочных работ. Динамика изменения запасов месторождения приведена на рис. 1. Все оценки запасов до 2018 г. были выполнены для условий самоизлива и базировались на различных вариациях гидравлического метода подсчета.

Современный этап исследований Боржомского месторождения был начат в 2014 году при участии автора диссертации. ЗАО "ГИДЭК" совместно с "IDS BORGOMI GEORGIA" проводится комплекс специальных гидрогеологических исследований с целью обоснования прироста водоотбора на основе уточнения условий формирования боржомских минеральных вод и оценки их потенциальных ресурсов. 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.*, 2018) 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 эксплуата-

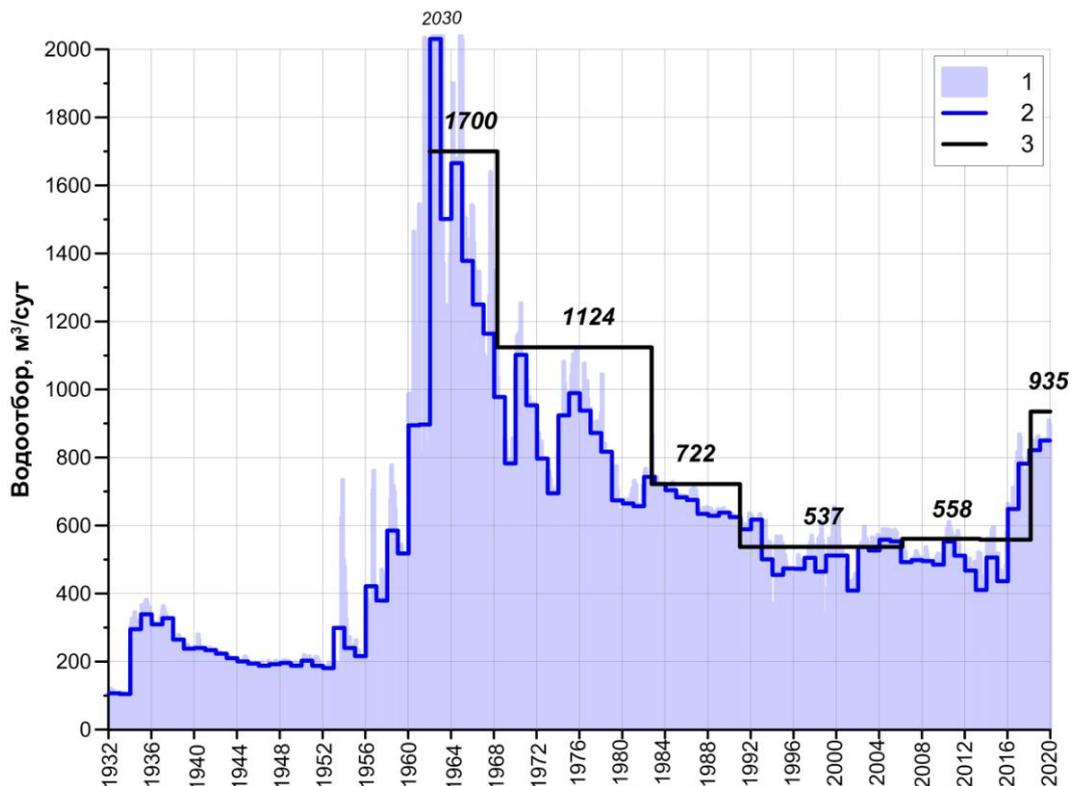


Рис. 1. Соотношение суммарного водоотбора и динамики изменения запасов Боржомского месторождения

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

ции. 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., Боровский Б.В., 2018). Эксплуатационные запасы были подсчитаны с использованием комбинации гидравлического метода, базирующихся на материалах опытной эксплуатации, и математического моделирования (программный комплекс ModFlow). 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 (В – 683 м³/сут, С₁ – 115 м³/сут, С₂ – 137 м³/сут), в т.ч. по участкам: Центральный – 348 м³/сут, Ликанский – 120 м³/сут, Вашловани-Квибисский – 467 м³/сут. Запасы категории В соответствовали средней величине отбора при стационарном режиме, категории С₁ – среднему расходу скважины, если стабилизация уровня не была достигнута, категории С₂ и прогнозные ресурсы категории Р были определены на основании данных численного моделирования. Прирост запасов составил 374 м³/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., 2019, 2020).

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.

Глава 2. Природная модель формирования минеральных вод Боржомского месторождения и её трансформация в природно-техногенную модель под влиянием эксплуатации.

Боржомское месторождение углекислых минеральных вод расположено на территории города-курорта Боржоми и прилегающих сел Грузии (рис. 2). Оно приурочено к центральной части Аджаро-Триалетской водонапорной системы Малого Кавказа. Разрез включает три комплекса (рис. 3):

1) водоносный горизонт четвертичных образований (аллювиальные отложения и лавовые покровы) и среднеэоценовых вулканогенно-осадочных отложений;

2) спорадически обводнённые отложения среднего палеоцена - нижнего эоцена, представленные переслаиванием глин, аргиллитов и песчаников (Боржомский флиш). Горизонт содержит пресные воды, но на отдельных тектонически-нарушенных участках минерализация подземных вод составляет 2-5.5 г/л. Можно полагать, что это разбавленные за счёт современной инфильтрации боржомские воды;

3) основной продуктивный водоносный комплекс верхнемеловых и нижнепалеоценовых отложений, содержащий минеральные воды боржомского типа с минерализацией 5.5-7.5 г/л. Слагающая толща трещиноватых карбонатных отложений осложнена структурными складками, которые сопровождаются формированием геодинамических зон сжатия и растяжения, а также разрывными сбросовыми нарушениями линейного типа проводящего и экранирующего характера. Комплекс выходит на дневную поверхность вдоль

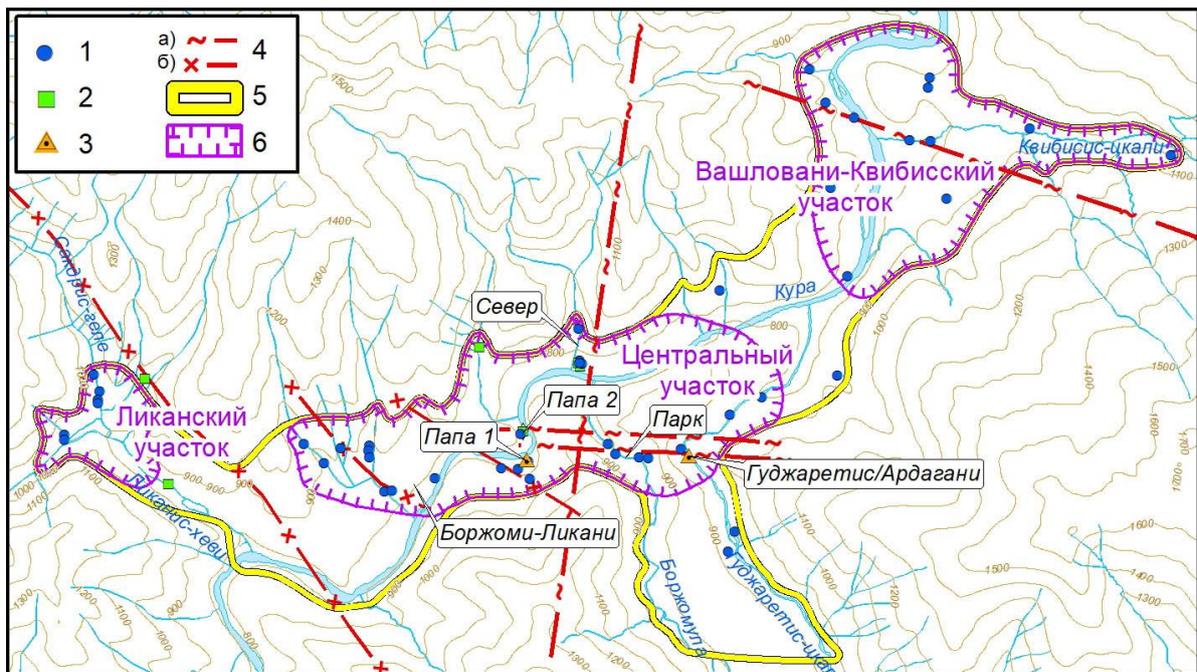


Рис. 2. Схема границ Боржомского месторождения углекислых минеральных вод и его участков

1 – скважина, оборудованная на комплекс верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений, 2 – скважина, оборудованная на комплекс боржомского флиша, 3 – куст скважин, 4 – разлом: а) высокопроводящий, б) экранирующий, 5 – граница Боржомского месторождения углекислых минеральных вод, 6 – граница эксплуатационного участка (в транспарантах названия подучастков Центрального участка).

сводовой части Боржомской антиклинальной складки, где находится его основная область естественной разгрузки.

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 синклиналиях, наоборот, проницаемость пород максимальна в нижней части складки, уменьшаясь вверх по разрезу и восстанию пластов (Кравивнер Р.Б, 2018).

В результате анализа многочисленных высказанных ранее гипотез формирования боржомских вод, результатов многолетнего мониторинга и материалов проведенных научных и полевых исследований, *Абрамовым В.Ю. и Боровским Б.В.* (2018) 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 газовой флюида магматического генезиса, находящегося в сверхкритическом состоянии, и содержащего различные микрокомпоненты за счет катионного обмена с морским поглощенным комплексом водовмещающих пород. Количественное

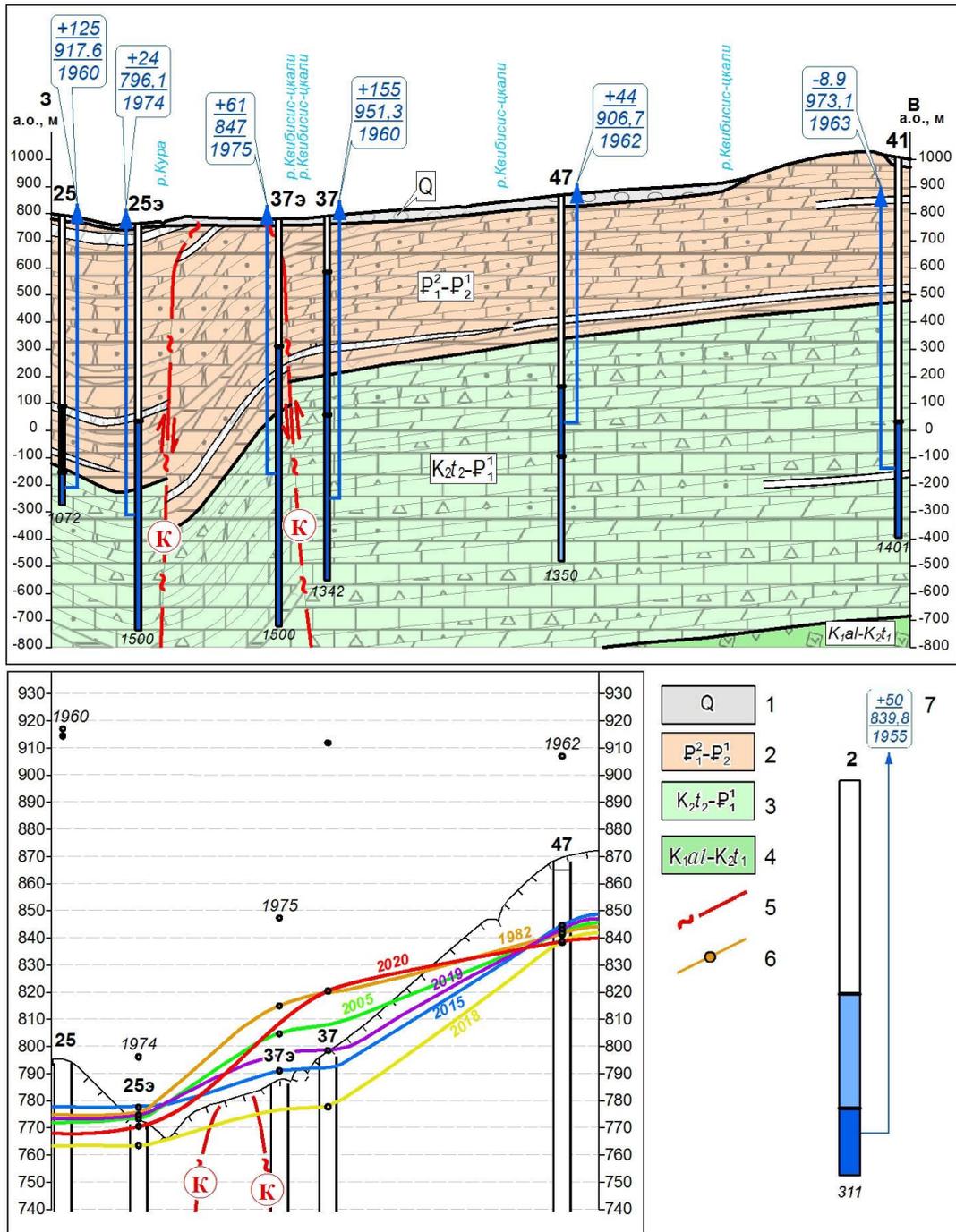


Рис. 3. Схематический геолого-гидрогеологический разрез и пьезометрический профиль Боржомского месторождения

1 – водоносный горизонт четвертичных образований, 2 – водоносный комплекс боржомского флиша среднепалеоценовых и нижнеэоценовых отложений, 3 – водоносный комплекс верхнемеловых и нижнепалеоценовых карбонатных отложений, 4 – водоносный горизонт нижнемеловых и верхнемеловых вулканогенно-осадочных отложений, 5 – высокопроводящий разлом, 6 – уровень подземных вод водоносного комплекса $K_{2t2}-P_1^1$ на разные моменты времени на пьезометрическом профиле, 7 – скважина. Цифры: вверху – её номер, внизу – глубина, м. Синяя стрелка показывает установившийся напор после завершения буровых работ. Цифры у стрелки: верхняя – напор (м), в середине – а.о. напора (м), нижняя – год бурения скважины. Закраска опробуемого интервала скважины соответствует химическому составу воды: светло синий – гидрокарбонатные воды с минерализацией 2-5.5 г/л, тёмно синий – гидрокарбонатные воды с М 5.5-7.5 г/л.

соотношение величины этих двух потоков играет определяющую роль в формировании запасов минеральных вод. В совокупности эти процессы определяют гидрокарбонатно-натриевый состав, величину минерализации и газовый фактор боржомской минеральной воды.

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 инъекции из единого магматического очага газовой смеси (*Вартамян Г.С., Плотникова Р.И. и др., 1985*).

Разгрузка боржомской минеральной воды в естественных условиях осуществлялась минеральными источниками в парке на Центральном участке, наблюдаемыми визуальными участками восходящей разгрузки в руслах рек. Эта разгрузка на Центральном участке оценивалась различными исследователями от 500 м³/сут (*Овчинников А.М., 1936*) до 800 м³/сут (*Гаглов Г.М., 1962*). 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, выполненного автором совместно с *Еришвым Г.Е.*, разгрузка минеральных вод составила 450 м³/сут.

Естественное природное состояние куполов минеральных вод месторождения было существенно изменено в процессе многолетнего неуправляемого самоизлива при бурении скважин и последующей интенсивной эксплуатации (рис 3). Очевидными свидетельствами таких изменений было быстрое снижение напоров подземных вод, отмеченных при вскрытии пласта, и расходов самоизливающих скважин вплоть до прекращения самоизлива, исчезновение источников в парке, сокращение 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, что свидетельствует об отсутствии истощения запасов месторождения.

Модель формирования автономных куполов Боржомской минеральной воды может происходить по следующей схеме. В экранирующую ловушку происходит приток газовой смеси, превышающий ее расходование. Это различие имеет небольшую величину, но накопление газовой смеси происходит в течение весьма длительного геологического времени. При вскрытии газовой ловушки с аномально высокими напорами скважина изливается с очень большим расходом, вода характеризуется высоким газовым фактором. Поэтому накопленный за длительный период избыточный объем газовой 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.

Непрерывное изменение величины водоотбора в ретроспективный период эксплуатации обуславливало преимущественно нестационарный режим фильтрации. В период опытно-промышленной эксплуатации 2015-2020 г.г. 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.

Глава 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.

Объекты наблюдений. Корректировка состава и числа объектов наблюдений происходила непосредственно в периоды основных этапов геологоразведочных и оценочных работ (табл. 1). На современном этапе исследований на Центральном участке было оборудовано три ярусных куста для одновременных наблюдений за состоянием поверхностных вод, каптажами 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 с 1932 года. Ретроспективную информацию по напорам следует признать весьма приближенной. Основные выводы могут быть сделаны на основе анализа динамики расходов, как суммарного по участкам,

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 $K_2t_2-P_1^1$

так и по отдельным скважинам. При этом наличие интенсивного неконтролируемого самоизлива при бурении и утечек вследствие коррозии обсадных труб, привели к занижению величины суммарного фактического самоизлива.

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.).

В продолжении исследований Мелива А.М. (1951) в 2016-2017 г.г. на нескольких самоизливающих скважинах в процессе проведения мониторинга были проведены специальные работы по изучению соотношения устьевого и пластового давления (Боревский Б.В., Ракунов А.Б., Секерина И.Н., 2019). Было показано, что при самоизливе они могут различаться. Для получения репрезентативной информации датчики пластового давления или пьезометрические трубки следует устанавливать ниже зоны разделения фаз. Глубина зоны разделения фаз может приближенно быть рассчитана по формуле Дальтона, 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 при уменьшении давления и её выделения в свободную фазу. При измерениях устьевого и пластового давления могут наблюдаться следующие ситуации: 1) давления одинаковые – устьевое давление выше давления разделения фаз при фиксируемой температуре и суммарном содержании спонтанной и растворенной углекислоты; 2) давления начинают расходиться, но давление фиксируемое глубинным датчиком остается выше уровня самоизлива; 3) давления расходятся и показания глубинного датчика ниже уровня самоизлива – режим газлифта; 4) устьевое давление падает ниже уровня излива – газлифт невозможен, требуется переход на эксплуатацию насосом.

Документация режимных наблюдений, их систематизация и методы обработки данных. Современный этап разработки информационной системы Боржомского месторождения должен обеспечить модельно-ориентированную подготовку геолого-гидрогеологической информации на основе картографической и фактографической баз данных. Для создания и ведения картографической базы данных была выбрана геоинформационная система ArcGis 10. Для создания фактографической базы данных (БД) и работы с ней использовался программно-алгоритмический комплекс GeoCODE, созданный ЗАО "ГИДЭК" (Сахаров И.В., Язвин А.Л., 2010). БД включает материалы по 100 пунктам наблюдений: каптажам, скважинам и метеостанции. К каждому из пунктов наблюдений производится привязка результатов ретроспективных и современных режимных наблюдений. Вывод информации в виде графиков позволил выделить отдельные гидродинамические этапы эксплуатации Боржомского месторождения и произвести их детальный анализ (рис. 4).

Результаты анализа ретроспективного периода эксплуатации (1927-2014 гг.). Известные с начала XIX века источники в долине р. Боржомула (Боржомский парк минеральных вод) не могли удовлетворить возрастающие потребности завода по розливу в минеральных водах. В 1930-х годах на основании результатов геологоразведочных работ к ним добавились несколько групп скважин, приуроченных к участкам разгрузки в долинах р. Куры и ее притоков Гуджаретис и Ликани. Для увеличения суммарного расхода самоизлива площадь водозабора была расширена за счет бурения дополнительных скважин. Но при кратковременном повышении расхода самоизлива, он достаточно быстро снижался вследствие взаимодействия эксплуатационных скважин в пределах каждого участка. Однако, ещё в 1963 г. (Гаглов Г.М.) 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".

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 м³/сут (1982-2015 гг.) до 350 м³/сут (1959-1963 гг.). Эти данные позволяют предположить, что максимальный расход самоизлива составляет около 200 м³/сут, а естественные ресурсы минеральных вод позволяют обеспечить водоотбор до 300-350 м³/сут. 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 объёма буровых работ и сокращения водоотбора до 200 м³/сут с целью сохранения самоизлива с 1970х годов до начала современного этапа эксплуатации уровни практически не изменялись (а.о. 800-810 м). Получение боржомских минеральных вод на Вашловани-Квибисском участке показало (рис. 4), что их распространение выходит за пределы Боржомской антиклинали (приурочены к погребенной Квибисской и Ломисмтинской антиклинальным складкам). Первоначальные

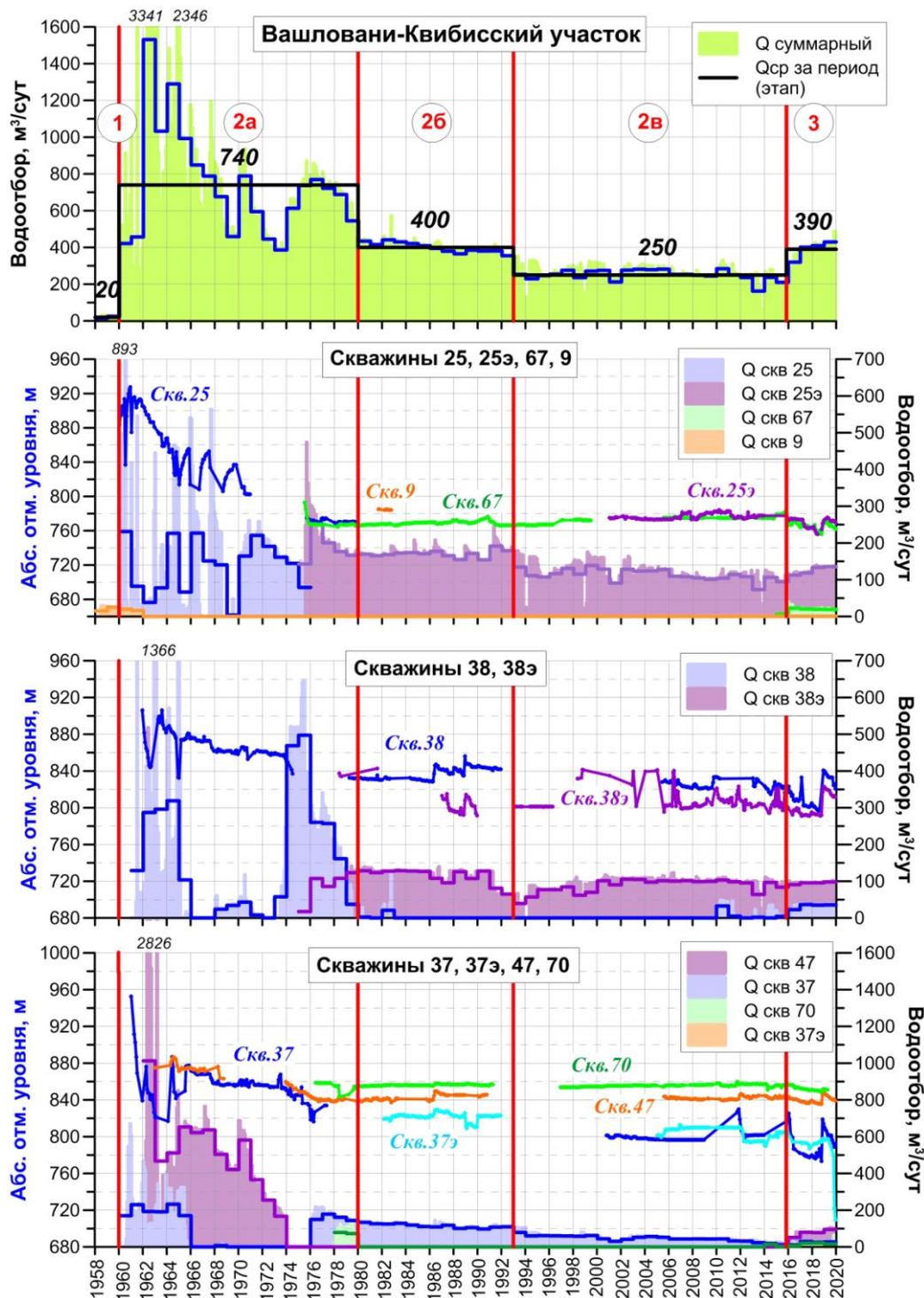


Рис. 4. Гидродинамический режим Вашловани-Квибисского участка

1 – период естественного режима (1 скв), 2 – период управляемого (неуправляемого) самоизлива, в том числе: 2а – этап освоения участка и интенсивной эксплуатации (5 скв), 2б – этап умеренного сокращения водоотбора (3 скв), 2в – этап сбалансированной эксплуатации (3 скв), 3 – период проведения исследований с целью увеличения водоотбора, переход к насосной эксплуатации (7 скв).

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

инжекционных куполов при снижении напоров. В дальнейшем снижение было не столь значительным и с 1980-х годов уровень изменялся 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.

За период наблюдений, начиная с 1894 г., за качеством минеральных вод верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса их химический и газовый состав характеризуется стабильностью. Во всех скважинах, независимо от их местоположения и характера, вода сохраняет свой идентичный химический тип и близкую пропорцию главных элементов при разных схемах эксплуатации.

Проведённый анализ ретроспективной эксплуатации Боржомского месторождения позволил выявить основные режимобразующие факторы. Наиболее значимым природным фактором является тектоническая активность (землетрясения). В основном землетрясения оказывали влияние на гидродинамический режим при стабильности геохимического режима. Влияние землетрясений на колебания дебитов и уровней скважин месторождения выражается тем более резко, чем ближе расположен очаг эпицентра землетрясения к исследуемому объекту, со временем они восстанавливаются до обычных значений. Влияние климатических факторов просматривается лишь в длинном геологическом времени, так как область питания расположена на значительном удалении от месторождения. Техногенными режимобразующими факторами являются 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.

Результаты анализа современного периода эксплуатации (2015-2019 гг.).

Для увеличения суммарного водоотбора схема эксплуатации месторождения была принципиально изменена и постоянно корректируется по результатам анализа данных комплексного мониторинга и выполнения прогнозов изменения состояния месторождения.

Впервые на Боржомском месторождении был учтён самоизлив при бурении и реакция на него остальных скважин Центрального участка. Выделение основного объёма газовой смеси происходило в течение двух недель со средним дебитом минеральной воды 344 м³/сут. После сброса газовой смеси избыточный напор в пробуренной скважине составил всего 10 м. Величина реакции других наблюдательных и эксплуатационных скважин на участке на самоизлив составила 1- 4 м. Необходимо отметить, что в середине 1950-х годов на месте вновь пробуренной скважины существовали две эксплуатационные скважины, через которые был сброшен упругий объём

газоводяной смеси при снятии начального избыточного напора, составивший 60 м при расходе более 1000 м³/сут. Приведенные данные позволяют сделать вывод о том, что за 60 лет простоя скважин накопился неизрасходованный избыток газоводяной смеси (газовая шапка) в значительно меньшем объеме, чем до первоначального бурения.

В результате подбора оптимальных нагрузок по скважинам Центрального участка суммарный среднемесячный водоотбор в 2016-2017 гг. повышался от 185 до 390 м³/сут. С марта 2018 года эксплуатация осуществляется в близком к стабильному режиму с водоотбором 330 м³/сут. Его прирост по сравнению с периодом сбалансированной эксплуатации 1982-2015 гг. составил 155 м³/сут. Снижение уровней эксплуатационных и наблюдательных скважин, как реакция на значительное увеличение водоотбора, регистрировалась в 2015-2017 гг. и составила 4-14 м. В последние 2 года (2018-2019 гг.) уровни близки к стабилизации и залегают на абсолютных отметках 780-806 м.

На Центральном участке, в рассматриваемый период, помимо добычи Боржомской воды с минерализацией 5.5-7.5 г/л из водоносного комплекса верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений, велась добыча Боржомми с минерализацией 2-5.5 г/л из скважин глубиной до 50 м, оборудованных на водоносный комплекс Боржомского флиша при утвержденных запасах 124.6 м³/сут. В процессе мониторинга было установлено, что взаимовлияние водоносных комплексов друг на друга не прослеживается. Это свидетельствует о восходящей разгрузке боржомской воды по тектоническим нарушениям и смещении её с аллювиальными водами на приповерхностной глубине.

Ввод скважин в эксплуатацию и подбор оптимальных нагрузок на Вашловани-Квибисском участке осуществлялся весь 2016 год. Далее эксплуатация осуществляется в стабильном режиме с водоотбором 400 м³/сут. Прирост отбора по сравнению с периодом сбалансированной эксплуатации 1991-2015 гг. составил 150 м³/сут. На динамику уровней серьёзное влияние оказало землетрясение магнитудой 4.3 (28.10.2018 г.) с эпицентром в 5 км от участка. В октябре 2018 г. фиксировалось снижение уровней до 2 м в связи с форшоком землетрясения. В первые две недели после землетрясения их восстановление составило 2-48 м, в ряде скважин начался самоизлив. Пиковые значения уровней проявились асинхронно (ноябрь 2018 г. – апрель 2019 г.), что может свидетельствовать о наличии нескольких систем трещиноватости на участке. Затем стало фиксироваться их медленное снижение. По состоянию на 1 января 2020 г. уровни в скважинах снизились на 8-21 м по отношению к своим пиковым значениям и залегают на абсолютных отметках 761-820 м. Однако, они не достигли своих минимальных значений, фиксировавшихся до землетрясения (рис. 3). Полученные данные свидетельствуют об усилении потока газоводяного флюида из магматического очага в боржомский пласт.

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 материалы проведённых специальных гидрогеологических исследований позволили получить необходимую информацию для разработки математической геофильтрационной модели и выполнения оценки запасов совмещёнными гидравлическим методом и математическим моделированием.

Глава 4. Прогнозная функция мониторинга Боржомского месторождения и управление его эксплуатацией

В дополнение к сложившейся ранее практике в состав комплексного мониторинга 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. Численное моделирование позволяет выполнять факторно-диапазонный анализ влияния различных комбинаций численных значений параметров, типа внутренних и внешних граничных условий (в т.ч. даёт возможность оценивать диапазон поступления газоводяного магматического флюида) на результаты воспроизведения режима опытно-промышленной и ретроспективной эксплуатации в разные временные периоды. 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 газо-химического состава минеральных вод. 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 натуральных и модельных данных свидетельствует о непротиворечии модельных построений реакции природно-техногенных условий на гидродинамическое возмущение в пределах достигнутой фактической величины водоотбора при эксплуатации.

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 боржомского пласта верхнемеловых-нижнепалеоценовых карбонатных отложений. В расчетной геофильтрационной модели в качестве самостоятельных пластов были выделены: пласт 1 – первый от поверхности расчетный пласт, включающий в себя водоносный горизонт четвертичных образований (аллювиальные отложения и лавовые покровы) и среднеэоценовые вулканогенно-осадочные отложения; 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 Боржомом 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. Параметры фильтрационной среды четырёхпластовой водоносной системы были охарактеризованы на основе анализа данных ранее выполненных (1962, 1982 гг.) и современных опытных работ (2018 г.). В связи с тем, что изучаемая геологическая среда осложнена структурными складками, а также разрывными проводящими и экранирующими сбросовыми нарушениями линейного типа, в расчётных пластах были заданы линейные зоны повышенной проницаемости, соответствующие осям антиклинальных и синклиналильных складок, а также тектоническим нарушениям в соответствии со структурной картой. На модели был задан восходящий глубинный поток газовой флюиды из нижележащих пластов (магматического очага) - основной фактор формирования боржомской воды и водозаборные скважины, а также реки и ручьи, дренирующие первый пласт. 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 расчётных 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.

Баланс модели представлен в табл. 2 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 газовой флюиды из магматического очага. Количественная оценка балансовых составляющих формирования минеральных вод, в особенности газовой флюиды, стала

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

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)*. Приток из магматического очага на разных участках составил от 17.5 до 25 % от суммарного водоотбора. 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 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 вначале 2018 гг. (табл. 3). Получена достаточно хорошая сходимость абсолютных отметок прогнозных уровней, рассчитанных гидравлическим методом и методом математического моделирования. В табл. 2 представлен баланс минеральных вод 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 присутствует 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.

Опытным путём было показано, что для достижения наиболее достоверных результатов при прогнозировании, 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 измене-

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

Количество экспл. скважин	Результаты прогноза методом численного моделирования					Результаты прогноза на 10000 сутки гидравлическим методом	
	Расчетные данные на 850 сутки		Расчетные данные на 10000 сутки			Q сум, м ³ /сут	а.о. Н, м
	Q сум, м ³ /сут	а.о. Н ₂₀₁₈ , м	Q сум, м ³ /сут	а.о. Н, м	S, м		
Центральный участок							
7	284.5	784.2-798.6	288	781.1-796.3	0.9-3.1	288	784-798.1
Ликанский участок							
1	71.5	903.9	73	903.7	0.2	73	903.8
Вашловани-Квибисский участок							
7	402.1	759.9-850.9	402	758.6-849.1	0.7-2.9	402	758.6-841.6
Итого			763			763	

ния 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 м³/сут (рис. 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 натуральных 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 натуральных 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.

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

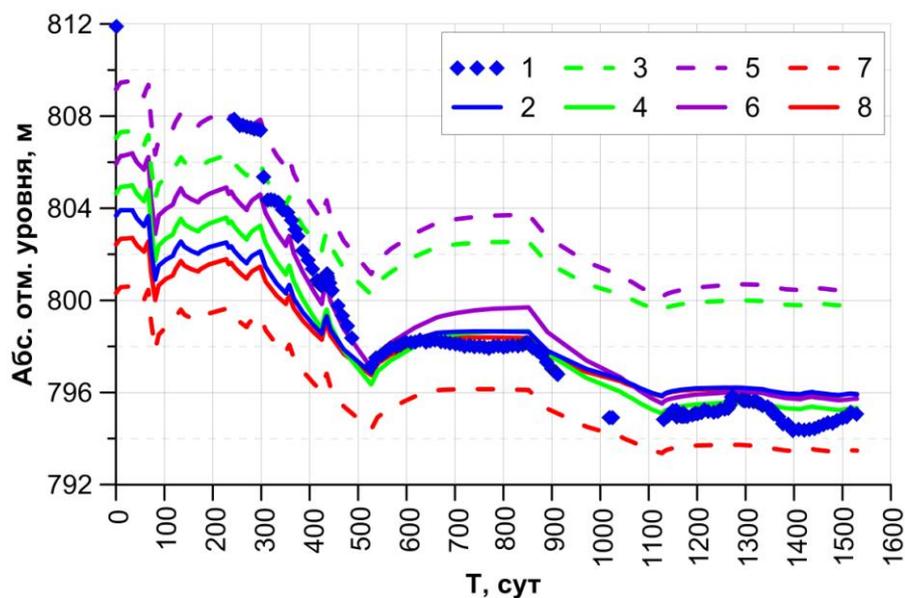


Рис. 5. Сопоставление натуральных и расчетных уровней по скважине Центрального участка при факторно-диапазонном анализе количества глубинного потока газоводяного флюида из магматического очага

1 – фактический уровень, м; 2-8 – расчётный уровень с определённым количеством притока флюида, сплошная линия – начальное положение уровней, штрихпунктирная линия – решение обратной задачи, приток флюида: 2 – 73 м³/сут, 3-4 – 146 м³/сут, 5-6 – 219 м³/сут, 7-8 – 36.5 м³/сут

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.

Основные положения диссертации опубликованные в изданиях, рекомендуемых ВАК:

1. **Секерина И.Н.** Мониторинг Боржомского месторождения углекислых минеральных вод – как информационная основа их изучения и переоценки запасов/Секерина И.Н.//Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокирология. – 2019. – № 3. – С. 83-89.

2. Боровский Б.В., **Секерина И.Н.**, Язвин А.Л. Анализ данных многолетнего мониторинга Боржомского месторождения углекислых минеральных вод для обоснования современной схемы его эксплуатации/Боровский Б.В., Секерина И.Н., Язвин А.Л.//Разведка и охрана недр. – 2020. – № 5. – С. 33-43.

3. Боровский Б.В., Абрамов В.Ю., Ершов Г.Е., **Секерина И.Н.**, Язвин А.Л., Корошинадзе Т. Природная гидрогеологическая модель Боржомского месторождения углекислых минеральных вод и её трансформация в процессе разведки и эксплуатации/Боровский Б.В., Абрамов В.Ю., Ершов Г.Е., Секерина И.Н., Язвин А.Л., Корошинадзе Т.//Разведка и охрана недр. – 2020. – № 5. – С. 44-53.

В других изданиях:

4. **Секерина И.Н.** Анализ опыта эксплуатации Боржомского месторождения на современном этапе его освоения/Секерина И.Н.//Новые идеи в науках о Земле: Материалы XIV Международной научно-практической конференции (Москва, 2-5 апреля, 2019 г.); [ред. кол.: Косьянов В.А., Керимов В.Ю., Куликов В.В.]. – Т. 3. – Москва: МГРИ, 2019. – С. 225-228.

5. Боровский Б.В., Ракунов А.Б., **Секерина И.Н.** Особенности обустройства измерительной аппаратуры и ведения мониторинга самоизливающих газоводяным флюидом скважин/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.

6. **Секерина И.Н.**, Боровский Б.В., Ракунов А.Б. Соответствие устьевых и пластовых давлений в самоизливающих газоводяным флюидом скважинах/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.); [ред. кол.: Косьянов В.А., Керимов В.Ю., Куликов В.В.]. – Т. 3. – Москва: МГРИ, 2020. – С. 55-59.