

Боревский Б. В., Секерина И. Н., Язвин А. Л.
(ЗАО «ГИДЭК»)

АНАЛИЗ ДАННЫХ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА БОРЖОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЕКИСЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СОВРЕ- МЕННОЙ СХЕМЫ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Анализ материалов ретроспективного периода изучения и разработки Боржомского месторождения позволил обосновать возможность прироста его водоотбора и предложить схему опытно-промышленной эксплуатации. При ее проведении в 2016–2020 гг. на каждом из участков было увеличено количество эксплуатационных скважин, скважины были переведены на насосный способ эксплуатации, были подобраны их оптимальные нагрузки. В результате была обоснована современная схема эксплуатации месторождения, применительно к которой оценены запасы. **Ключевые слова:** месторождение углекислых минеральных вод, анализ режима эксплуатации, мониторинг, опытно-промышленная эксплуатация, обоснование прироста водоотбора.*

Borevsky B.V., Sekerina I.N., Yazvin A.L. (HYDEC)

ANALYSIS OF DATA FROM LONG-TERM MONITORING OF THE BORJOMI DEPOSIT OF CARBON DIOXIDE MINERAL WATER TO JUSTIFY THE MODERN SCHEME OF ITS OPERATION

*An analysis of the retrospective study materials and development period of the Borzhomskoye field made it possible to justify the possibility of an increase in its water withdrawal and to propose a pilot operation scheme. When carried out in 2016–2020 in each of the sections, the number of production wells was increased, the wells were switched to the pumping method of operation, and their optimal loads were selected. As a result, a modern field operation scheme was justified, in this relation the reserves were estimated. **Keywords:** carbon dioxide mineral water deposit, analysis of the operation mode, monitoring, pilot operation, substantiation of the increase in water withdrawal.*

Боржомская минеральная вода широко известна на постсоветском пространстве в связи с ее высокой бальнеологической ценностью. В настоящее время на базе Боржомского месторождения углекислых минеральных вод работает несколько санаториев, но основной объем добываемой воды расходуется на промышленный розлив. В последние несколько лет в связи с расширением мощностей заводов розлива возросла потребность в добыче минеральных вод и возникла необходимость в обосновании оптимального способа эксплуатации применительно к увеличенной потребности.

С 2014 г. по настоящее время ЗАО «ГИДЭК» совместно с «IDS BORGOMI GEORGIA» проводит комплекс специальных гидрогеологических исследований с целью обоснования прироста водоотбора на основе

уточнения условий формирования боржомских минеральных вод и оценки их потенциальных ресурсов.

В ходе длительного периода разработки месторождения накоплен обширный массив информации об изменениях гидрогеодинамического и температурного режима, качества отбираемых вод. 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 эксплуатационных запасов:

- 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 2016 г. Ее результаты позволили провести комплексную переоценку запасов минеральных вод применительно к современной схеме эксплуатации Боржомского месторождения.

1. Характеристика гидрогеологических условий месторождения

Боржомское месторождение углекислых минеральных вод расположено на территории города-курорта Боржоми и прилегающих сел Республики Грузия (рис. 1). Месторождение относится к центральной части Аджаро-Триалетской водонапорной системы, являющейся северо-западной окраиной гидрогеологической структуры Малого Кавказа Крымско-Кавказской гидрогеологической области. Разрез месторождения включает три комплекса:

- 1) водоносный горизонт четвертичных образований (аллювиальные отложения и лавовые покровы) и среднеэоценовых вулканогенно-осадочных отложений;
- 2) спорадически обводненные отложения среднего палеоцена — нижнего эоцена, представленные переслаиванием глин, аргиллитов и песчаников (Боржомский флиш). Минерализация подземных вод составляет 2–5 г/л;
- 3) основной водоносный комплекс верхнемеловых и нижнепалеоценовых отложений, содержащий минеральные воды боржомского типа с минерализацией 5.5–7.5 г/л (рис. 2 из следующей статьи).

Слагающая продуктивный комплекс 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. Продуктивный комплекс выходит на дневную поверхность вдоль сводовой части Боржомской антиклинальной складки, где находится его основная область естественной разгрузки.

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 газовойодяного потока магматических вод, обогащенных CO_2 и различными микрокомпонентами за счет катионного обмена с морским поглощенным комплексом водовмещающих пород. В совокупности эти процессы определяют гидрокарбонатно-натриевый состав, величину минерализации и газовый фактор боржомской минеральной воды [1].

Поступление газовойодяных флюидов, приводящее к образованию аномальных избыточных напоров в наиболее обводненных зонах пласта, определяет гидроинжекционный тип месторождения. Сочленение трещинно-жильных водоносных зон с трещинно-пластовой водоносной системой верхнемеловых-нижнепалеоценовых отложений обусловило формирование сложнопостроенных куполообразных скоплений минеральных вод и разделение месторождения на автономные Ликанский, Центральный и Вашловани-Квибисский участки, практически гидравлически не связанные между собой и имеющие индивидуальные пути инжекции из единого магматического очага газовойодяной смеси [1, 2].

Естественное природное состояние куполов минеральных вод месторождения в процессе многолетнего

неуправляемого самоизлива при бурении скважин и последующей интенсивной эксплуатации было существенно изменено. Произошло перераспределение путей разгрузки минеральных вод за счет самоизлива из буровых скважин. Очевидными свидетельствами таких изменений было быстрое снижение напоров подземных вод, полученных при вскрытии пласта, и расходов самоизливающих скважин вплоть до прекращения самоизлива, исчезновение источников и 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.

2. Анализ ретроспективного периода эксплуатации Боржомского месторождения

Боржомские минеральные источники, «Екатерининский» и «Евгеньевский» (впоследствии №№ 1 и 2), известны уже более 200 лет. С 1830-х годов они являлись объектом геологических исследований. Сведения о расходах родников в естественных условиях немногочисленны. Считается, что до начала разведочных работ их суммарный дебит составлял $90 \text{ м}^3/\text{сут}$. Начало детальных гидрогеологических работ на месторождении относится к 1927 г., первые скважины в Парке были пробурены в 1929 г. До этого времени

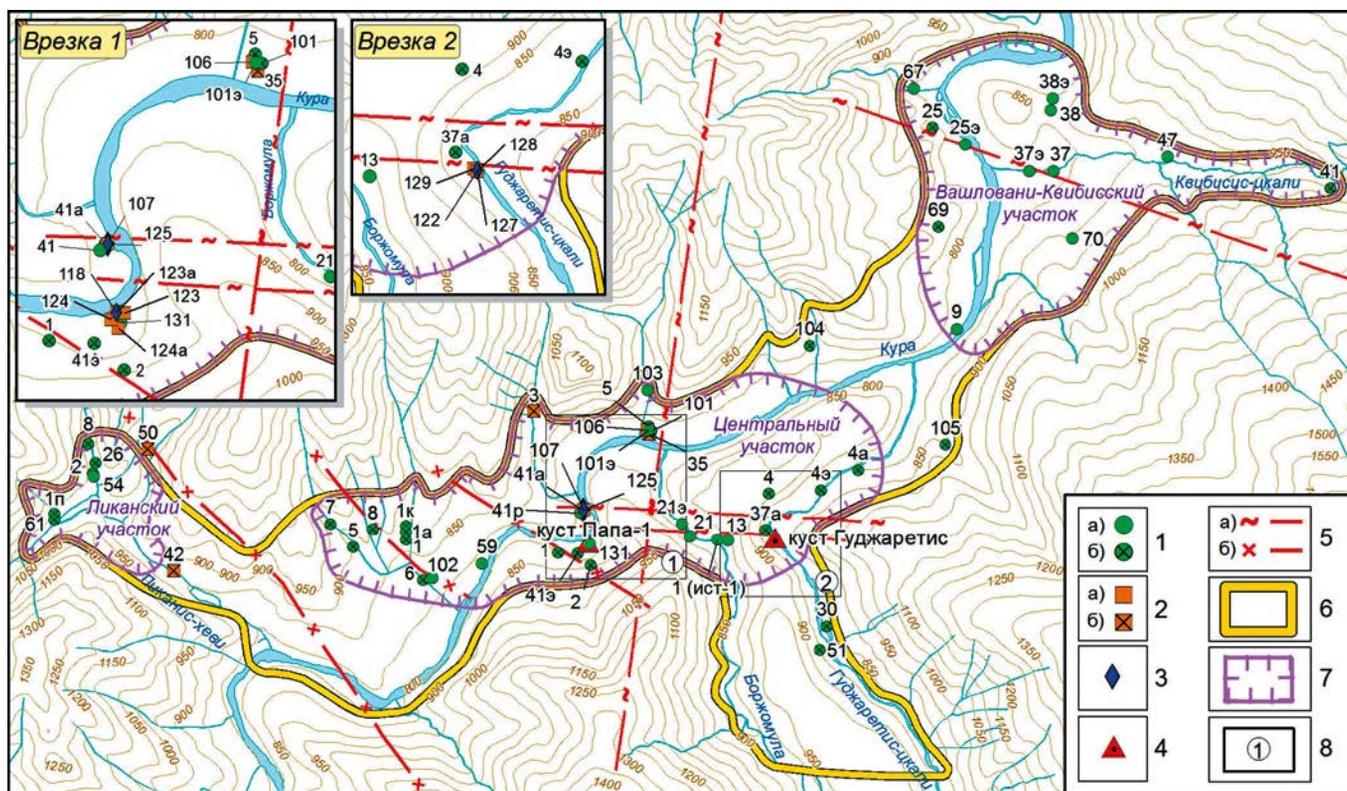


Рис. 1. Схема границ Боржомского месторождения углекислых минеральных вод и его участков: 1 — скважина, оборудованная на комплекс верхнемеловых и нижнепалеоценовых карбонатных отложений: а — в рабочем состоянии, б — ликвидированная; 2 — скважина, оборудованная на комплекс боржомского флиша среднепалеоценовых и нижнеэоценовых отложений: а — в рабочем состоянии, б — ликвидированная; 3 — скважина, оборудованная на водоносный горизонт четвертичных отложений, в рабочем состоянии; 4 — куст скважин; 5 — разлом по кровле водоносного комплекса верхнемеловых и нижнепалеоценовых карбонатных отложений: а — высокопротяженный, б — экранирующий; 6 — граница Боржомского месторождения углекислых минеральных вод; 7 — граница эксплуатационного участка Боржомского месторождения углекислых минеральных вод; 8 — граница и номер врезки

вмешательство человека ограничивалось оборудованием каптажей источников.

Добыча подземных вод верхнемелового-нижнепаалеоценового водоносного комплекса за весь период

эксплуатации в общей сложности производилась из двух источников и 37 скважин, в том числе 26 — на Центральном участке, 2 — на Ликанском и 9 — на Вашловани-Квибисском.

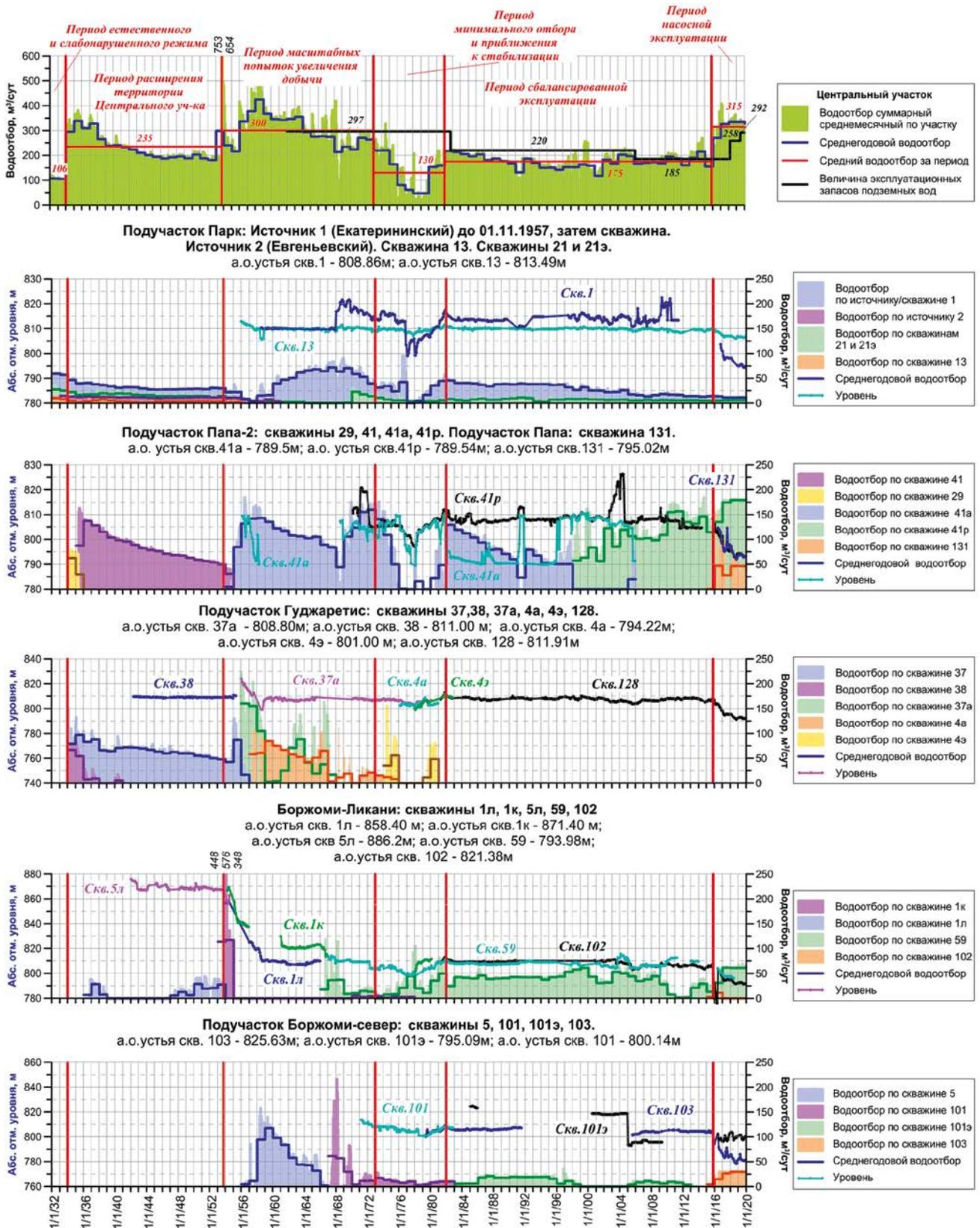


Рис. 2. Гидродинамическая характеристика основных периодов эксплуатации Центрального участка Боржомского месторождения с 1932 по 2020 г.

Наблюдения за режимом ведутся с 1932 г. по настоящее время. Сведения об учетных расходах подземных вод являются достоверными и практически не содержат пробелов. Исключением являются периоды неконтролируемых значительных самоизливов, которые имели место при бурении скважин. В целом величина отбора в эти периоды (1930-е годы, конец 1950-х — начало 1960-х, середина 1970-х) существенно занижена. При анализе режима эксплуатации авторы оперируют только величиной учетного водоотбора.

Изменения режима эксплуатации скважин, сведения о которых отрывочны, также 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.

До бурения самоизливающих скважин при проведении геологоразведочных работ в середине 1950-х годов инструментальные данные по избыточным напорам подземных вод практически отсутствовали. В целом ретроспективную информацию по напорам следует признать весьма приближенной вследствие использования манометров с низкой чувствительностью, образования газовых шапок в закрытых скважинах, невозможности учета явлений термогазлифта. Вследствие этого она, как отмечалось и в предыдущих исследованиях [2], 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. Первые скважины с отрицательным уровнем были пробурены на рубеже 1930—1940-х годов в с. Ликани и на р. Гуджаретис-цкали. Наиболее представительными являются данные, полученные после перехода на насосный режим водоотбора в 2016—2020 гг.

Анализ имеющихся материалов позволяет выделить следующие основные факторы, определяющие гидродинамический режим верхнемелового-нижнепалеоценового комплекса:

— бурение скважин с избыточным напором подземных вод, приводящее к появлению новых участков разгрузки и коренной перестройке структуры потока. Часто при этом наблюдался интенсивный самоизлив после вскрытия пласта (оказывающий существенное влияние на расположенные поблизости скважины), и последующее падение дебита — вначале быстрое, затем постепенное;

— регулирование расхода самоизливающих скважин, вплоть до их полного закрытия. Основными причинами ограничения самоизлива были стремление восстановления уровней и дебитов подземных вод (главным образом в 1970-е годы), отсутствие спроса на воду (в первой половине 1990-х годов), периодические (в т.ч. сезонные) изменения потребностей заводов розлива;

— принудительная откачка воды. Осуществлялась периодически в нескольких скважинах с середины 1950-х до начала 1980-х годов термогазлифтом. С 2016 г. значительная часть скважин была переведена на откачку погружным насосом;

— ухудшение технического состояния скважин вследствие коррозии под воздействием агрессивных термальных высокоминерализованных вод с высоким содержанием CO_2 ;

— влияние колебаний уровня воды в р. Боржомула на дебит источника № 1, а также зависимость дебитов мелких скв. №№ 8 и 14 от уровня р. Гуджаретис-цкали.

Первые данные по химическому составу воды относятся к середине XIX века. Систематические газогидрохимические наблюдения начались на скважинах Боржомского месторождения еще в 1930-е годы. За период наблюдений за качеством минеральных вод верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса их химический состав характеризуется стабильностью. Во всех скважинах, независимо от их местоположения и характера, 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 катионов, анионов и их соотношение в течение периодов наблюдений колебался в рамках природных изменений. Гидрохимический режим в пределах участков стабилен. Фиксируемая изменчивость условий определяется изменением гидродинамического режима и газового фактора.

Характеристика гидродинамического режима приведена раздельно по трем участкам месторождения.

Центральный участок. Скважины, пройденные в процессе первых гидрогеологических разведочных работ (до 1938 г.), территориально разделяются на четыре группы, приуроченные к долине р. Кура (подучасток Папа) и ее притоков: р. Боржомула (подучасток Парк), р. Гуджаретис-цкали, р. Ликани. В дальнейшем к ним добавился пятый, Северный подучасток.

Рассматривая гидродинамический режим Центрального участка (рис. 2), можно выделить шесть основных периодов, 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 сопровождалась значительными объемами бурения скважин и изменением схемы эксплуатации. Пять периодов эксплуатации являются ретроспективными и описаны в настоящем разделе, шестой современный период рассмотрен отдельно.

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 А.М. Овчинникову [3], суммарный дебит источников составлял 90 м³/сут (источник № 1 — 70 м³/сут, источник № 2 — 20 м³/сут), а в долине р. Кура и ее притоков (Боржомула и Гуджаретис-цкали) наблюдались фиксируемые визуально очаги с расходом 500 м³/сут.

Бурение скважин в долинах р. Боржомула (Парк) и р. Гуджаретис-цкали в период с 1929 по 1932 г. привело к незначительному нарушению режима естественной разгрузки. Введение в эксплуатацию двух скважин (№№ 13 и 21) 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. дебиты источников снизились до 70 м³/сут. Суммарный дебит в Парке составил 90 м³/сут, что соответствовало суммарному дебиту источников в естественных условиях.

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

На завершающей стадии разведочных работ с 1934 по 1937 г. в эксплуатацию были введены еще 5 самоизливающих скважин. Однако в двух скважинах 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 четырех самоизливающих скважин в долинах рек Боржомула (№№ 13 и 21), Кура (№ 41), Гуджаретис (№ 37), и периодически изливающейся скв. № 1л в долине р. 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. Однако суммарный отбор постепенно снижался и к 1946 г. достиг 190 м³/сут, сохраняя свое значение на этих отметках вплоть до конца периода. Под влиянием ввода новых скважин продолжалось снижение дебита источников до 40 м³/сут. Видимые зоны субаквальной разгрузки минеральных вод в руслах рек Кура, Боржомула и Гуджаретис-цкали продолжали фиксироваться.

А.М. Овчинников [3] отмечал, что напор, первоначально полученный в скважинах, быстро терялся. С 1942 г. наблюдения за уровнями, установившимися ниже поверхности земли, осуществлялись в двух скважинах в долинах рек Гуджаретис и Ликани. Уровень воды в скв. № 38 неизменно фиксировался на абсолютной отметке 809 м. Незначительные изменения уровня в скв. № 5л составляли не более 5 м, абсолютная отметка около 870 м.

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

С октября 1953 до 1958 г. в рамках очередного цикла геологоразведочных работ началась добыча минеральных вод из новых скв. №№ 1к (р. Ликани, взамен скв. № 1л), 41а (р. Кура, взамен скв. № 41, дебит которой неуклонно падал), 37а (р. Гуджаретис, взамен скв. № 37), 4а (долина р. Гуджаретис), 5 (северная территория участка) и № 1 в Парке (взамен источника).

Изменения затронули способ добычи минеральных вод: дебит скв. № 41а и № 1 регулировался при помощи задвижки, на скв. № 1к в 1954 г. впервые осуществлялся принудительный отбор воды. Были достигнуты максимальные расходы Центрального участка за всю историю: среднемесячный 734 м³/сут в ноябре 1953 г. и среднегодовой 427 м³/сут в 1958 г. Это привело к кардинальным изменениям гидродинамического режима. 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 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 нулевой отметки.

С 1959 до 1972 г. эксплуатация на участке в основном осуществлялась шестью скважинами: №№ 1 и 21 в Парке, № 41а на подучастке Папа, № 37а (до 1967 г.) и 4а на подучастке Гуджаретис, № 59 (с 1968 г.) на подучастке Боржомула-Ликани, №№ 5 (до 1967 г.) и 101 (с 1967 г.) на подучастке Север. Дебит большинства скважин (за исключением № 21, 5 и 101) регулировался при помощи задвижек, скв. 37а до момента вывода из эксплуатации работала за счет газлифта. Наблюдалось ступенчатое снижение суммарного водоотбора с 350 до 280 м³/сут, а затем 230 м³/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 счет открытия задвижки. Отметим, что средний дебит в Парке (скв. №№ 1 и 21) с 1964 до 1972 г. составлял 50–70 м³/сут.

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

С 1973 по 1977 г. происходило устойчивое падение дебитов шести эксплуатирующихся на тот момент скважин (№№ 1 и 21 (Парк), 41а (Папа), 4а (Гуджаретис), 101 (Север), 59 (Ликани)), вплоть до прекращения самоизлива. В 1974–1975 гг. эксплуатировалась также новая скв. № 4э (Гуджаретис). Суммарный среднегодовой водоотбор участка снизился от 220 до 60 м³/сут. Уменьшение дебитов сопровождалось снижением уровней подземных вод. Причины снижения дебитов и падения уровней в тот период до конца выяснить не удалось. Очевидно только, что резкое снижение дебитов скв. №№ 1 и 41а во второй половине 1975 г. было результатом периодических мощных выводов воды во время бурения скв. № 41э.

В целях возобновления самоизлива скв. № 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 скв. № 1 поднялся на 5 м (оставаясь при этом значительно ниже, чем в 1973 г.), и самоизлив возобновился.

С октября 1979 по апрель 1981 г. начался процесс существенного увеличения расхода участка до 220 м³/сут

(в т.ч. 42 м³/сут в Парке) за счет увеличения дебита скв. 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 и увеличению расхода в Парке до 60–65 м³/сут.

Период сбалансированной эксплуатации (1982–2015 гг.)

С 1982 по 2015 г. эксплуатация осуществлялась шестью скважинами. В ограниченном режиме самоизлива работали скв. №№ 1, 59, 41а (заменена на 41р в 1997 г.), 101э, в свободном — скв. № 21 (с середины 1990 г. к ней добавилась скв. № 21э). В этих скважинах велись наблюдения за давлением, в наблюдательных скв. №№ 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 скв. 41р и 59, причем роль скв. 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 залегали на абсолютных отметках 805–810 м. Направленной тенденции изменения уровней за весь период не выявлено.

Вашловани-Квибисский участок. Участок выделен на рубеже 1950–1960-х годов. Все 10 скважин участка (за исключением дублеров) расположены на значительных расстояниях друг от друга (рис. 1). Во всех, кроме скв. № 67, уровень воды после бурения устанавливался выше поверхности земли. Рассматривая гидродинамический режим (рис. 3), можно выделить в общей сложности 4 периода эксплуатации.

Первая скв. № 9, пробуренная в 1958 г., имела незначительный дебит (первоначально он составлял 30 м³/сут, затем снизился до 15 м³/сут). В связи с этим до 1960 г. режим можно считать близким к естественному.

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

В связи с бурением скважин и их постепенным вводом в эксплуатацию период характеризуется значительным снижением среднегодового водоотбора как в целом по участку (от 1530 до 385 м³/сут при среднем отборе 740 м³/сут за период), так и из отдельных скважин. Скважины бурились в два этапа в 1960–1963 гг. — №№ 25, 37, 38, 47 и в 1973–1975 гг. — №№ 25э (дублер 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 г. 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 7.3–8.5 атм. в долинах и всего около 2 атм. на склонах и водоразделах.

В период 1973–1975 гг. на участке было пробурено еще 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 скв. № 25э привел к прекращению самоизлива скв. № 25, падению уровней в скв. №№ 37, 47. Затем, после ввода на полную мощность скв. № 38э произошло снижение дебитов скв. №№ 37, 38, 25э в условиях свободного самоизлива и падение уровней в скв. №№ 25 и 67. В скв. № 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.

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

Период 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 скв. №№ 38э, 37 и 25э в режиме свободного самоизлива и ограниченного самоизлива (с 1987 г. скв. 38э). Помимо этого, непродолжительные периоды в течение 1980 г. и 1982 г. в режиме принудительной откачки эксплуатировалась скв. № 38. Суммарный среднегодовой водоотбор уменьшился с 435 до 355 м³/сут. При этом на протяжении 5 лет с 1987 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 скв. № 38 восстановился самоизлив в объеме 25 м³/сут. В апреле 1982 г. уровень воды в скв. № 38 вновь опустился ниже земли. В результате второго землетрясения (21–22 сентября) возобновился самоизлив скв. № 38, значительно выросли дебиты скв. №№ 25э, 37 и 38э. В скв. №№ 70 и 37э уровни поднялись на 0.9–4.8 м.

Период 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 1993–1994 гг., 1998–1999 гг. и 2013 г. Водоотбор обеспечивался в основном тремя скважинами (№№ 38э, 37 и 25э), которые функционировали в условиях искусственно ограниченного самоизлива.

На скв. №№ 9 и 37э сохранился незначительный свободный самоизлив. В скв. №№ 38, 47, 67 и 70 пьезометрический уровень отрицательный. Имеющиеся данные по уровням подземных вод свидетельствуют об относительно стационарном режиме на отметках 770–860 м.

Ликанский участок. В пределах участка, изучение которого началось в середине 1950-х годов за

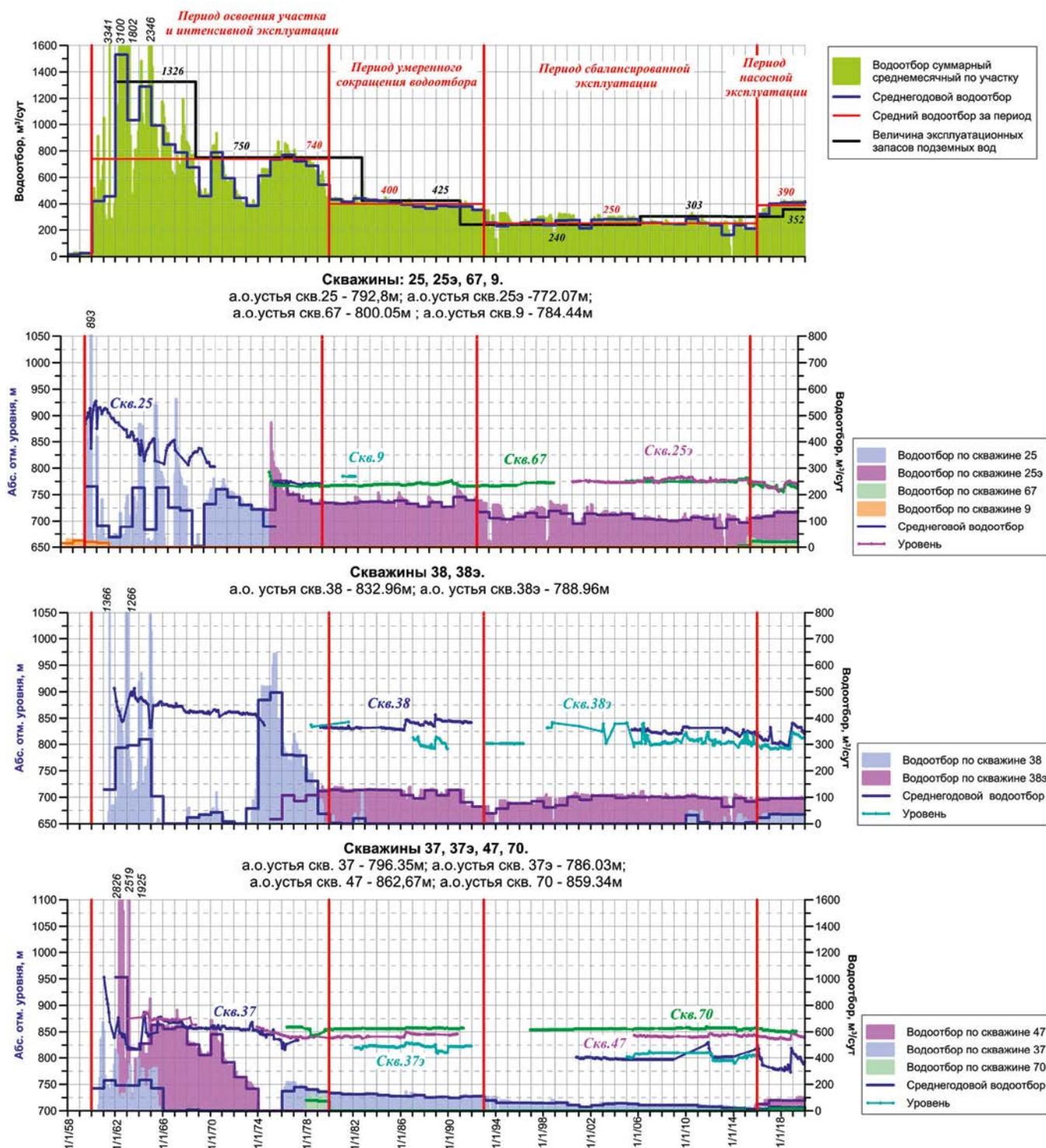


Рис. 3. Гидродинамическая характеристика основных периодов эксплуатации Вашловани-Квибисского участка Боржомского месторождения с 1958 по 2020 г.

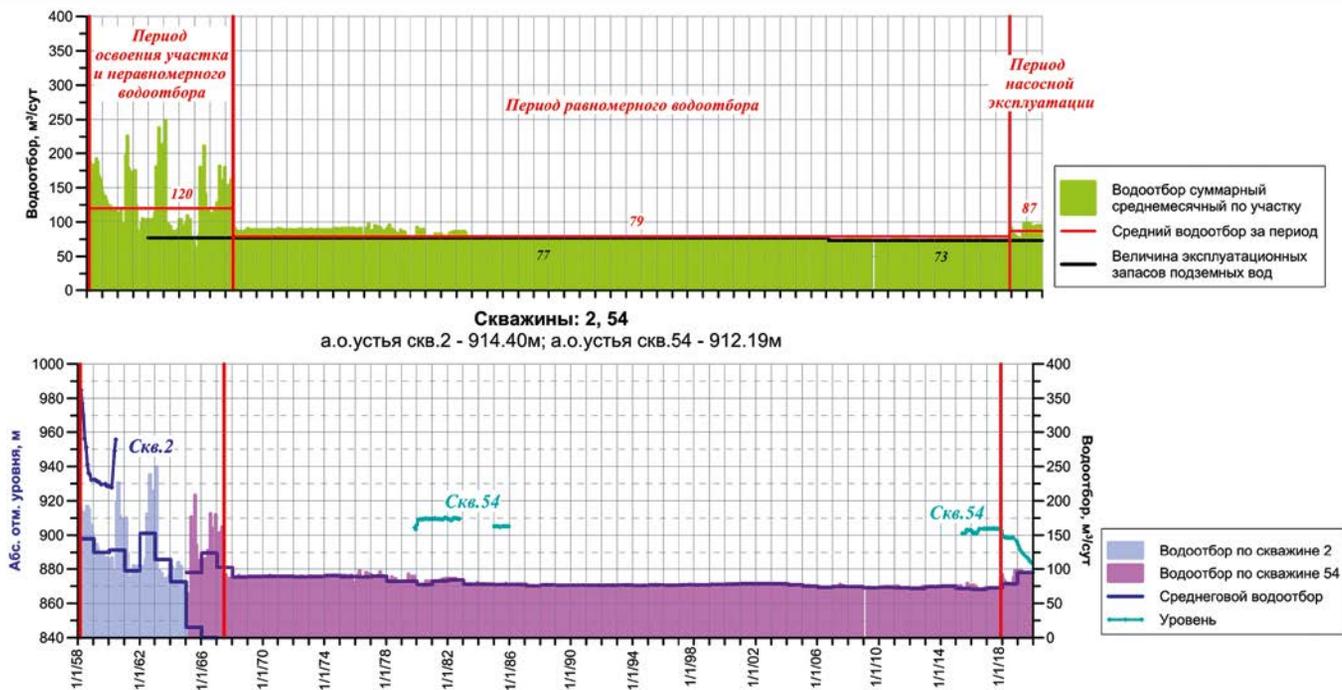


Рис. 4. Гидродинамическая характеристика периодов эксплуатации Ликанского участка Боржомского месторождения с 1958 по 2020 г.

всю историю эксплуатировались две скважины: до 1965 г. — скв. № 2, после — ее дублер скв. № 54. Предпринимавшиеся в 1950–1960-х годах попытки расширения участка за счет бурения нескольких скважин оказались безрезультатны, боржомскую воду получить не удалось. По характеру гидродинамического режима (рис. 4) эксплуатация участка четко разделяется на три периода.

Период освоения участка и неравномерного водоотбора (1956–1967 гг.)

Бурение скв. № 2 глубиной 1161 м завершилось в марте 1956 г. По данным С. Чихелидзе [4] 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 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 скв. № 2 была пробурена более глубокая (1400 м) скв. № 54. Ее первоначальный дебит составлял 8 л/сек. В результате вывода воды в процессе бурения в скв. № 2 отмечалось резкое снижение дебита и периодическое прекращение самоизлива. В апреле 1966 г. самоизлив полностью прекратился, и в июне она была ликвидирована. Эксплуатация скв. № 54 также характеризовалась пульсационным режимом с периодическим прекращением самоизлива. В 1965–1967 гг. в условиях свободного самоизлива дебит (по среднемесячным данным) изменялся в пределах 35–210 м³/сут, в среднем около 130 м³/сут.

Период равномерного водоотбора (1967–2017 гг.)

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 1979–1980 гг., 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 непосредственно после бурения скважины и все последующие годы находился около поверхности земли, в 2017 г. — 904 м.

Основные выводы

Анализ многолетнего опыта эксплуатации Боржомского месторождения показывает, что исторически 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 заключались в расширении площади водозабора за счет бурения дополнительных скважин на новых участках. Необходимо отметить, что существенную роль в ограничении возможностей водоотбора играло взаимодействие эксплуатационных скважин в пределах каждого из трех выделенных участков. Однако еще в 1963 г. в соответствии с результатами разведки Боржомского месторождения углекислых вод было показано, что запасы могут быть увеличены «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» (Гаглоев и др., 1963 г.).

Ретроспективная информация по напорам и уровням, за исключением отдельных периодов, является приближенной. Основные выводы могут быть сделаны на основе анализа динамики расходов как суммарного по участкам, так и по отдельным скважинам. При этом следует учитывать наличие интенсивного неконтролируемого самоизлива при бурении и утечек через колонны вследствие ухудшения технического состояния ряда скважин. 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. Помимо этого, из некоторых скважин производился принудительный отбор воды за счет использования газлифта. Тем не менее, имеющиеся данные позволяют оценить основные режимобразующие 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 периоды его резкого увеличения в 1930-х и 1950-х годах были обусловлены 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 годы эксплуатации. Такая картина характерна для большинства скважин независимо от того на каком этапе эксплуатации месторождения они были пробурены. После завершения периодов бурения наблюдался продолжительный процесс выхода на стабильный режим, который осложнялся изменениями схемы отбора и регулированием дебитов отдельных скважин.

Среднегодовые значения суммарного водоотбора на Центральном участке изменяются в широком диапазоне от 427 м³/сут (1958 г.) до 48 м³/сут (1978 г.). Несмотря на это, средний отбор за длительные периоды времени изменялся не столь значительно. Очевидным

является наличие нескольких периодов стабилизации суммарного расхода на Центральном участке при разных его величинах. Так, в 1946–1953 гг. средний расход составлял 190 м³/сут, в 1959–1963 гг. — 350 м³/сут, а в 2001–2015 гг. — 175 м³/сут. Особого внимания заслуживает период 1959–1963 гг., когда расход был максимальным. При стабилизации суммарного расхода дебиты самоизливающихся скважин устойчиво снижались, что компенсировалось ростом отбора из скв. № 1л за счет открытия задвижки и из скв. № 37а за счет применения газлифта. Эти данные позволяют предположить, что максимальный расход самоизлива при расположении скважин на пяти подучастках, составляет около 200 м³/сут, и подтвердить обеспеченность питанием расхода на уровне не менее 350 м³/сут.

Первоначальные высокие напоры в самоизливающихся скважинах, аналогично дебитам, испытывали существенное снижение после ввода в эксплуатацию. Причиной этого является быстрый вывод накопившейся газовой смеси. Перед началом современного этапа эксплуатации (конец 2015 г.) абс. отметки уровней на всех подучастках Центрального участка находились в пределах 800–810 м. В целом с 1960-х годов они практически не изменились. При этом снижение напора в первые годы после бурения составляло от 5 до 15 м, а в некоторых скважинах 25 м и более.

В результате бурения новых скважин и соответствующего увеличения суммарного отбора в более старых самоизливающихся скважинах происходит одновременное снижение уровня воды и снижение расхода. В скважинах с принудительным отбором воды снижение уровня воды является результатом увеличения расхода как суммарного, так и собственного.

Несмотря на снижение уровней (по сравнению с начальными отметками) очаги естественной разгрузки в долине р. Кура сохранились, что было установлено при проведении исследований на рубеже 1970–1980-х годов, в начале 2000-х и в ходе обследования на современном этапе эксплуатации. Это свидетельствует об имеющихся ресурсах повышения водоотбора.

Получение боржомских минеральных вод на Вашловани-Квибисском участке показало, что их распространение выходит за пределы Боржомской антиклинали (приурочены к погребенной Квибисской и Ломисмтинской антиклинальным складкам). В отличие от Центрального участка, где скважины приурочены к долинам разных рек, скважины рассредоточены по всей территории участка и не образуют группы.

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. Кура и р. Квибиси — на 75–85 м. Таким образом, очевидна существенная роль дегазации водоносного горизонта в 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 380 м³/сут, в последующие годы несколько снизился.

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 89 м³/сут остается стабильным с незначительным сокращением — до 20 % от начальной величины.

3. Анализ современного периода эксплуатации Боржомского месторождения

С целью обоснования возможности увеличения суммарного водоотбора, на основе рассмотренных выше материалов, схема эксплуатации месторождения была принципиально изменена. Самоизливающие скважины по мере снижения напора или расхода были переведены на насосную эксплуатацию; скважины стали эксплуатироваться в стабильном режиме отбора; ряд наблюдательных скважин с уровнем ниже поверхности земли был введен в эксплуатацию; на Центральном участке была пробурена новая скв. № 131.

При управлении опытно-промышленной эксплуатацией подбор оптимальных нагрузок по скважинам осуществлялся последовательно по участкам месторождения. 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 остальная вода — на сброс.

В процессе работ ведущим инженером ЗАО «ГИДЭК» А.Б. Ракуновым была создана система автоматизированного измерения и регистрации показателей гидродинамического режима эксплуатации. Ежедневные режимные наблюдения осуществлялись за уровнями, водоотбором, температурой, газовым фактором. Ежемесячно производился отбор проб воды для наблюдения за геохимическими показателями качества минеральных вод (минерализация, концентрация макроанионов и макрокатионов).

Центральный участок. С 2016 по 2020 г. эксплуатация осуществлялась семью скважинами (рис. 2). В ограниченном режиме самоизлива работала скв. № 41р, шесть скважин в процессе работ были переведены на насосную эксплуатацию (№№ 1, 21, 21э, 59, 131, 103).

Отметим, что скв. №№ 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 скв. № 103 показала стабильную работу с дебитом 30 м³/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 скв. №№ 102 и 128, по ним продолжались режимные наблюдения за уровнями. Наблюдательной также осталась скв. № 13 в Парке. Геофизические работы

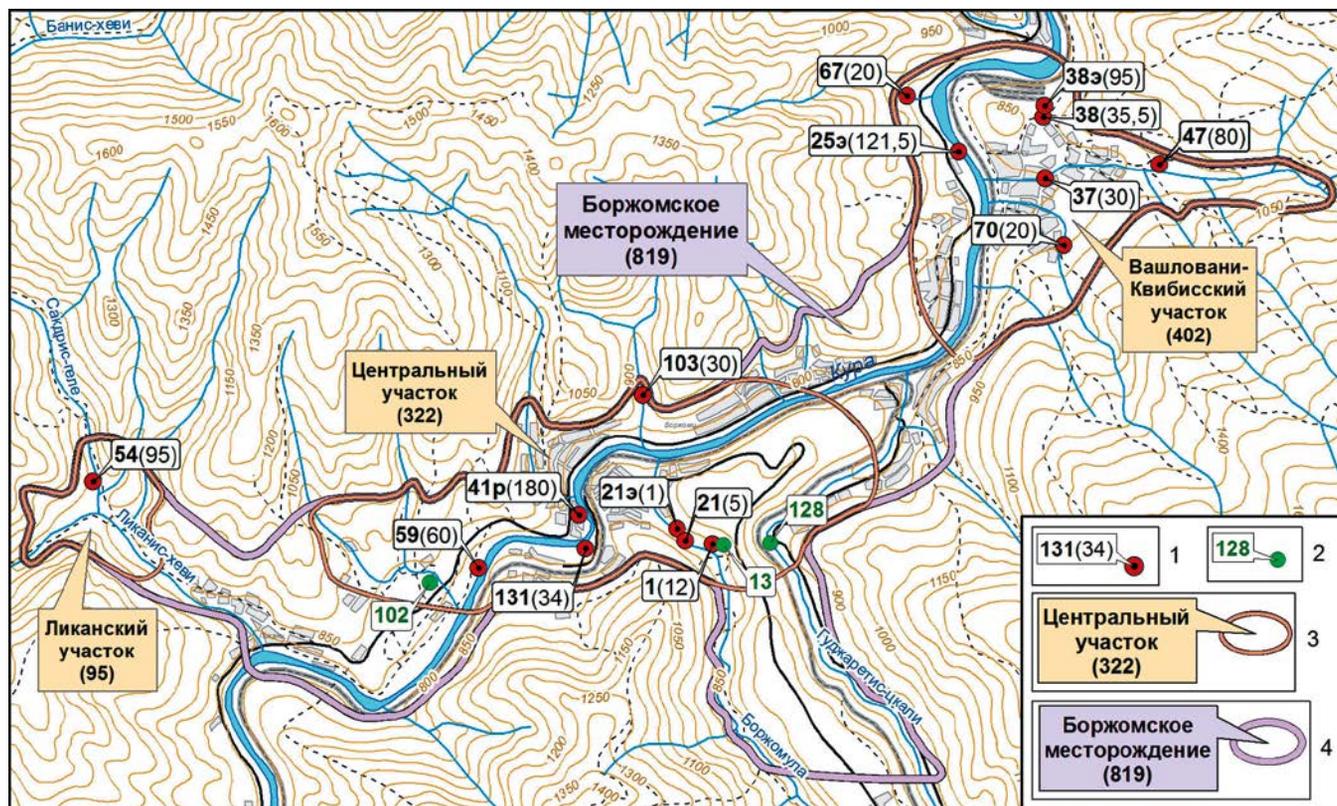


Рис. 5. Современная схема эксплуатации верхнемелового-нижнепалеоценового водоносного комплекса Боржомского месторождения: 1 — эксплуатационная скважина, ее номер, в скобках проектная нагрузка, м³/сут; 2 — наблюдательная скважина и ее номер; 3 — граница участка Боржомского месторождения, название участка, в скобках его суммарная проектная нагрузка, м³/сут; 4 — граница Боржомского месторождения углекислых минеральных вод, его название, в скобках его суммарная проектная нагрузка, м³/сут

выявили техническую неисправность скв. 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 скв. 41р, на подучастке Папа, в конце 2015 г. было начато бурение ее дублера — скв. № 131. Впервые на Боржомском месторождении был учтен самоизлив при бурении и реакция на него остальных скважин участка. Выделение основного объема газовой смеси произошло с 7 по 20 января 2016 г. со средним дебитом минеральной воды 344 м³/сут, достигая 19 января максимальной величины в 1360 м³/сут. На самоизлив отреагировали скв. 13, 128, 41р и 102 — величина реакции от 0.8 до 4 м. Максимальное избыточное давление скв. № 131 составляло 1 атм. (абс. отметка 805 м), дебит на самоизливе 24 л/с.

В результате подбора оптимальных нагрузок по скважинам участка суммарный среднемесячный водоотбор в 2016–2017 гг. изменялся от 185 до 390 м³/сут. С марта 2018 г. эксплуатация осуществляется вблизи к стабильному режиму с 330 м³/сут. Таким образом, прирост суммарного водоотбора 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, регистрировалось в 2015–2017 гг. и составило 4–14 м. В последние 2 года (2018–2019 гг.) уровни близки к стабилизации и залегают на абсолютных отметках 780–806 м.

Вашловани-Квибисский участок. С 2016 по 2020 г. эксплуатация участка осуществлялась семью скважинами (рис. 3). В ограниченном режиме самоизлива работала скв. № 38э, шесть скважин продолжили работу насосным оборудованием или были на нее переведены в процессе работ по мере снижения уровней или дебитов самоизлива (№№ 25э, 67, 38, 37, 70, 47).

До 2015 г. скв. 47 и 67 с уровнями ниже поверхности земли были наблюдательными. При проведении опытных откачек была показана их устойчивая работа (скв. 47 — дебит 80 м³/сут при понижении 6 м, минерализация 6 г/л, газовый фактор 0.6, скв. 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 весь 2016 год. С февраля 2017 г. эксплуатация осуществляется в стабильном режиме с суммарным водоотбором 405 м³/сут. Прирост суммарного водоотбора по сравнению с периодом сбалансированной эксплуатации составил 155 м³/сут.

Необходимо отметить, что на динамику уровней серьезное влияние оказало землетрясение магнитудой 4.3 с эпицентром в 5 км от участка Вашловани-Квибисси (с. Рвели) от 28.10.2018 г. 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,

в ряде скважин начался самоизлив. Пиковые значения уровней проявились асинхронно, что может свидетельствовать о наличии нескольких систем трещиноватости на участке. Так, пик землетрясения был зафиксирован в скв. 47, 70, 37 в конце ноября — начале декабря 2018 г. Затем в конце декабря 2018 г. пик был отмечен в скв. 38 и 38э. Наиболее поздно максимальные значения уровней были зафиксированы на скв. 25э и 67 (конец марта — начало апреля 2019 г.). Затем стало фиксироваться медленное снижение уровней. По состоянию на 1 января 2020 г. уровни скважин снизились на 8.4–20.8 м по отношению к своим пиковым значениям и залегают на абсолютных отметках 761–820 м. Однако они не достигли своих минимальных значений до землетрясения.

Ликанский участок. На современном этапе эксплуатации скв. 54 с целью увеличения водоотбора была дважды переоборудована. В конце 2017 г. в скважину был смонтирован новый сифоид, что позволило локально увеличить ее водоотбор до 100 м³/сут, однако в течение нескольких месяцев дебит скважины вернулся к первоначальным значениям в 75 м³/сут (рис. 4). В сентябре 2018 г. конструкция скважины была изменена, в ней было смонтировано насосное оборудование. Это позволило получить стабильный водоотбор в 95 м³/сут. В настоящее время ведутся наблюдения за снижением уровня. Абсолютная отметка уровня по состоянию на 1 января 2020 г. — 882 м.

Основные выводы

Анализ материалов ретроспективного периода изучения и разработки Боржомского месторождения позволил обосновать возможность прироста водоотбора и предложить схему опытно-промышленной эксплуатации.

При ее проведении в 2016–2020 гг. на каждом из участков было увеличено количество эксплуатационных скважин, скважины были переведены на насосный способ эксплуатации, были подобраны их оптимальные нагрузки. В результате была обоснована современная схема эксплуатации месторождения (рис. 5), применительно к которой оценены запасы в 2018 г., а с 2019 г. ведутся работы по повышению их категоризации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов, В.Ю. Формирование химического состава подземных вод в экстремальных термодинамических условиях / В.Ю. Абрамов: дис... доктора геол.-мин. наук. — М., 2015.
2. Вартамян, Г.С. Гидрогеологическая модель Боржомского месторождения минеральной воды / Г.С. Вартамян, Р.И. Плотникова, Л.А. Харатишвили, Д.В. Чхаидзе // Советская геология. — 1985. — № 3. — С. 105–113.
3. Овчинников, А.М. Минеральные воды / А.М. Овчинников. — М.: Госгеолтехиздат, 1963. — 375 с.
4. Чихелидзе, С.С. Природные ресурсы Грузинской ССР. Минеральные воды / С.С. Чихелидзе. — М.: АН СССР, — 1962. — Т. 3. — 438 с.

© Боровский Б.В., Секерина И.Н., Язвин А.Л., 2020

Боровский Борис Владимирович // borevsky@hydec.ru
Секерина Ирина Николаевна // sekerina@hydec.ru
Язвин Александр Леонидович // alyazvin@hydec.ru