

ЛИТЕРАТУРА

1. Абушкевич, С.А. Надвиговые и кольцевые структуры Забайкалья по результатам дешифрирования космоснимков / С.А. Абушкевич // Геология и полезные ископаемые Читинской области к 50-летию ГГУП «Читагеолсъемка». — Чита: ГГУП «Читагеолсъемка», 2000 — С. 60–71.
2. Абушкевич, С.А. Поиски золоторудных объектов на основе спектральных характеристик космических снимков Landsat и WorldView-1 (месторождения Сентачан и Полярник, Республика Саха) / С.А. Абушкевич, К.А. Волин // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. — 2014. — Вып. 2. — С. 82–92.
3. Абушкевич, С.А. Перспективы нефтегазоносности юго-восточного побережья и островов Хатангского залива по данным дистанционного зондирования земли / С.А. Абушкевич, К.А. Волин,

- Т.А. Арестова // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 2. — С. 24–31.
4. Абушкевич, С.А. Перспективы нефтегазоносности Восточной Европы по данным дистанционного зондирования земли / С.А. Абушкевич, К.А. Волин // Разведка и охрана недр. — 2018. — № 2. — С. 37–46.
5. Ceccato, P. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain / P. Ceccato, S. Flasse, S. Tarantola, et al. // Remote Sensing of Environment. — 2001. — 77. — P. 22–33.

© Коллектив авторов, 2021

Абушкевич Сергей Антонович // niicosm_as@mail.ru

Арестова Татьяна Альбертовна // t.a.arestova@mail.ru

Волин Кирилл Артемович // k.volyn@spbu.ru

Липилин Дмитрий Александрович // Lipilin_dmitrii@mail.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.3.04:504.05 (470.345)

Живайкина В.В. (Мордовское региональное отделение РосGeo)

ПРОБЛЕМЫ САРАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Статья раскрывает проблемы истощения и загрязнения водоносных комплексов карбонатных отложений на эксплуатируемых площадях водозаборов «Саранскводоканала»; изменения гидродинамических и геохимических условий указанных водозаборов, как результат длительного и массового водоотбора из отложений карбонатного комплекса на указанных площадях; массовый водоотбор как фактор изменения геохимического состава грунтовых вод указанных горизонтов. Одним из вариантов для выявления закономерностей указанных явлений и способом прогнозирования дальнейшей динамики является 3D моделирование. **Ключевые слова:** напор, пьезоизогипса, депрессионная воронка, минерализация, эксплуатационная нагрузка, истощение.

Zhivaykina V.V. (Mordovian Regional Office of RosGeo)

THE PROBLEMS OF THE GROUNDWATER DEPOSIT SARANSKOE AND THE RESULTS OF ITS OPERATIONS

The article reveals: problems of depletion and pollution of carbon deposits of water-bearing complexes in the exploited areas of the water intakes of «Saranskvodokanal»; changes in the hydrodynamics and geochemical conditions of indicated water intakes as a result of long-term and massive water withdrawal from the deposits of the carbonic complex in the indicated areas; mass water withdrawal as a factor of changes in the geochemical composition of groundwater in these areas. One of the options for identifying patterns of these phenomena and

a way to predict further dynamics is 3D modeling. **Keywords:** head, piezoisogypsum, depression funnel, mineralization, operational load, depletion.

По материалам: Молдавской А.К., Бочарова И.А., Погребняк И.Ф., Сафронова Г.Г., Буцацкой Н.В., Евдокимова С.П., Маскайкина В.Н., Сафоновой Н.Е., Володиной Т.В., Фисунова А.Д., Григорьевой Т.Е., Шпагиной О.Н., Порунова С.К., Соломкина Л.Г., Плотникова В.С., Танивой Г.В., Дикарева В.В.

Республика Мордовия — субъект Российской Федерации, расположена в центре Европейской части России. Входит в состав Приволжского федерального округа. Столица — Саранск.

Район исследований локализуется в центральной части Русской плиты древней Восточно-Европейской платформы. Рассмотрено Саранское месторождение напорных пресных подземных вод, приуроченное к трещиноватым и закарстованным отложениям каменноугольной системы, перекрытым толщей песчано-глинистых пород мезо-кайнозоя.

Данное месторождение на территории Саранска эксплуатируется еще с довоенных времен. Общие прогнозные эксплуатационные ресурсы основных водоносных горизонтов Саранского месторождения подземных вод приведены по оценке обеспеченности населения Республики Мордовия ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения и составляют 2604,6 тыс. м³/сут, в том числе: по водоносному каменноугольно-пермскому карбонатному горизонту с минерализацией до 3,0 г/дм³ — 2435 тыс. м³/сут (из них пресные — 1584,9 тыс. м³/сут); по водоносному волжско-воланжинскому терригенному комплексу — 7,9 тыс. м³/сут; по водоносному верхнемеловому карбонатно-терригенному комплексу — 152,1 тыс. м³/сут и водоносному среднечетвертично-современному аллювиальному горизонту — 9,0 тыс. м³/сут (Гидроспецгеология на 2001 г.).

Как видно из приведенных выше цифр, водоносный каменноугольно-пермский карбонатный горизонт

является основным источником пресных вод для всех крупнейших населенных центров Республики Мордовия и Саранско-Рузаевской агломерации. В результате длительной эксплуатационной нагрузки, сложившейся на централизованных водозаборах Саранского месторождения подземных вод в центральной части Республики Мордовия, во второй половине XX в. возникла следующая проблема — резкое ухудшение гидродинамических и гидрохимических показателей, что привело к истощению и загрязнению подземных вод эксплуатируемого водоносного горизонта карбонатных отложений, т.е. к значительному снижению уровня подземных вод, сработки напора и ухудшению качества пресной воды за счет подтягивания солоноватых и соленых вод из нижележащих горизонтов.

В настоящее время практически все скважины, расположенные на территории Саранска, выкачивают воду несоответствующую требованиям СанПиН 2.1.4.1074–01.

Для обеспечения питьевой водой Саранска были запущены в эксплуатацию еще 3 водозабора уже за пределами города. Изменение уровня, а по водозабору «Пензятский» и химического состава подземных вод происходит на всех запущенных в эксплуатацию водозаборах [10].

Истощение и загрязнение подземных вод указанного горизонта является установленным фактом. Это основной фактор, учитывающий основную роль при организации водоснабжения пресной водой центральной части территории Республики Мордовия и проектировании освоения новых перспективных площадей.

Причинами, влияющими на изменение гидродинамических и гидрохимических показателей в эксплуатируемых горизонтах и комплексах, являются объемы и время активного массового водоотбора. Предлагается увязать указанные параметры с изменениями напоров и гидрохимических показателей. Для чего необходимо выбрать наиболее активно используемые участки водозаборов и, как следствие, наиболее обеспеченные фактическим материалом, и проследить изменение напоров и гидрохимических показателей на всем протяжении потока грунтовых вод до области питания, с целью проведения моделирования напорных гидродинамических процессов в режиме 3D за все время эксплуатации водозабора. Это позволит определить оптимальные объемы водоотбора и прогнозировать на перспективных участках изменения гидрохимических показателей, являющихся следствием изменения гидродинамических процессов. Что позволит сохранить объемы пресной воды в отложениях исследуемой территории и не допустить истощения и засоления эксплуатируемого горизонта.

Структурно-тектоническое, геологическое и гидрогеологическое строение площади Саранского месторождения подземных вод

Тектоника

В строении территории выделяются два структурных этажа: нижний — кристаллический фундамент и верхний — осадочный чехол. Глубина залегания по-

верхности докембрийского кристаллического фундамента увеличивается в восточном направлении от менее 1,0 км до около 2,0 км. Чехол сложен карбонатными и терригенными породами девона, карбона, перми с линзами гипса и ангидрита. Мезозой представлен в основном терригенными отложениями, реже карбонатными и кремнистыми образованиями. Чехол рыхлых четвертичных отложений представлен ледниковыми, водно-ледниковыми накоплениями раннеплейстоценового оледенения; речными, озерными, элювиальными и делювиальными осадками.

Почти вся территория месторождения относится к Токмовскому своду, располагающемуся в зоне сочленения Московской синеклизы и Волго-Уральской антеклизы, в пределах которого выделяется Ковылкинский выступ. От выступа наиболее высокой части Токмовского свода поверхность фундамента постепенно снижается к северу и северо-востоку и наиболее круто — к востоку и юго-востоку, в сторону Ульяновско-Саратовского прогиба. Граница между Токмовским сводом и Ульяновско-Саратовским прогибом прослеживается по долине р. Инсар, имеющей субмеридиональное направление и совпадающей с Инсарской флексурой.

Палеозойская поверхность Токмовского свода осложнена Сурско-Мокшанским валом на юге территории Саранского месторождения и Сивинским валом — на западе и в центре. На севере территории, в верхней части Токмовского свода, а также южнее, на вершинах указанных положительных структур, палеозойские водоносные известняки и доломиты залегают близко от поверхности и иногда вскрываются непосредственно под четвертичными осадками. В юго-западном и юго-восточном направлениях палеозойская поверхность снижается в сторону Рязано-Саратовской седловины и Ульяновского-Саратовского прогиба (Инсарская флексура) соответственно. В северо-восточном углу территории месторождения начинается снижение от вершины Токмовского свода в сторону Нестиарской впадины. В этих же направлениях резко увеличивается мощность отложений верхних гидрогеологических этажей — юрских, меловых, четвертичных.

Геологическое строение

Саранское месторождение подземных вод приурочено к отложениям карбона. Каменноугольные отложения распространены повсеместно. Они представлены отложениями нижнего и среднего отделов, распространенных по всей площади, перекрытыми юрскими породами, а на северной половине территории — отложениями верхнего отдела карбона. В пределах Сурско-Мокшанского и Сивинского валов с неглубоким залеганием каменноугольных отложений имеются единичные выходы их на поверхность в долинах рек Сивини и Инсар [5].

Нижний отдел карбона представлен визейским ярусом. В основе визейского яруса выделяются нижний и верхний подъярусы общей мощностью до 56 м; они представлены известняками и доломитами мелкозернистыми, крепкими, плотными, водоносными.

Отложения непосредственно контактируют по всей площади с отложениями среднего отдела карбона. Средний отдел представлен башкирским и московским ярусами.

К башкирскому ярусу условно отнесены известняки светло-серые, темно- и тонкозернистые кавернозные, загипсованные. Воды башкирского яруса высокоминерализованы, часто представляющие собой рассолы, напорный горизонт слабо изучен.

Далее идет московский ярус, в составе которого выделяются верейский, каширский, подольский и мячковский подъярусы, имеющие повсеместное распространение. Верейский подъярус представлен как водоупорными глинами, хорошо изолирующими высоконапорные соленые воды нижележащих отложений, так и хорошо проницаемыми трещиноватыми песчаниками и кавернозными известняками, и доломитами, содержащими напорные воды. Воды верейского подъяруса входят в единый водоносный горизонт средне-верхнекарбонатного комплекса. Мощность указанного подъяруса колеблется в пределах 15,0–26,0 м. Подъярус считается региональным водоупором, но он не выдержан по составу и одновременно с глинами представлен разрушенными песчаниками с очень высокой проводимостью. Минерализация вод достигает 4,5–6,6 г/л, присутствуют бор до 9,8 мг/л [1]. Воды напорные, описываемый водоносный горизонт наравне с представленными ниже является источником водоснабжения.

Средний отдел каменноугольной системы, помимо верейского, включает в себя каширский, подольский и мячковский подъярусы, представленные известняками и доломитами тонко, мелко и среднезернистыми, крепкими, плотными, на контакте с верейским подъярусом участками пористыми и кавернозными.

Основной водо-эксплуатационный водоносной комплекс представлен оставшимися горизонтами московского яруса среднекаменноугольного отдела — каширским, подольским, мячковским и гжельским ярусами верхнекаменноугольного отдела. Основными водовмещающими породами считаются трещиноватые и закарстованные известняки и доломиты гжельского яруса верхнекаменноугольного и московского яруса среднекаменноугольного возраста.

Верхнекаменноугольные отложения представлены гжельским ярусом. комплекс пород верхнего отдела каменноугольной системы согласно залегает на отложениях мячковского подъяруса. Карбонатные породы гжельского яруса представлены в основном доломитами, в отдельных местах известняками (район г. Саранск). Известняки и доломиты светло-серые, тонко и мелкозернистые, местами кавернозные, трещиноватые.

Общая мощность средне-верхнекаменноугольных отложений достигает 350 м и является водоносной, что составляет зону эксплуатируемого горизонта [1].

Гидрогеология

Рассматриваемая нами территория Саранского месторождения подземных вод принадлежит Волго-Сурскому артезианскому бассейну. Гидрогеологиче-

ские условия этого района определяются его тектоническими особенностями, геологическим строением, литологическим составом водовмещающих пород и характером эксплуатации водоносных горизонтов. По характеру водоносности выделяются два гидрогеологических этажа: палеозойский, представленный каменноугольными карбонатными породами, и мезокайнозойский, сложенный преимущественно песчано-глинистыми образованиями.

Первый из них является основным источником водоснабжения.

Мощность гжельского яруса в районе Саранска колеблется от 35 до 110 м, мощность пород московского яруса — 150–250 м, глубина залегания кровли каменноугольных отложений в пределах Саранского месторождения колеблется от 67 до 150 м, считается, что зона пресных вод распространяется до глубины 250 м, далее идут слабозасоленные воды [1]. Воды напорные, величина напора до начала массового водоотбора составляла от 60 до 130 м [1], нижняя часть большинства эксплуатационных скважин, пройденных по отложениям каменноугольной системы, не превышает 50 м, поэтому можно сказать, что наиболее активно используются воды гжельского яруса в его верхней части.

Водообильность эксплуатируемого водоносного горизонта крайне неравномерна, величина удельных дебитов изменяется от 0,37 до 22 л/сек при понижении от 0,51 до 12–14 м, максимальные дебиты из двух рядом расположенных скважин достигают 112,0 л/сек при понижении уровня на 13,6 м. Величина коэффициентов фильтрации колеблется от 2 до 48 м/сут. Наибольшая водообильность связана с большей трещиноватостью и кавернозностью карбонатных пород, которая характерна для водораздельных пространств. Опытными работами 1960-х годов и далее полностью подтверждается быстрая реакция наблюдательных скважин на понижение уровня в откачиваемой скважине. На расстоянии 3 200 м от опытной скважины зафиксировано понижение уровня до 1,0 м: на расстоянии 1 600 м — 2,0 м, широкое развитие депрессионных понижений оценивается как признак хорошей проводящей способности пород и ограниченности заключенных в них запасов подземных вод [9].

В химическом составе подземных вод средне- и верхнекаменноугольного горизонта также отмечается плановая неоднородность, которая связана с условиями залегания пород, их положением по отношению к области понижения. Химический состав подземных вод эксплуатируемого горизонта изучается с начала его эксплуатации. Минерализация скважин не превышала 0,75 г/л, а жесткость 5,5 мг-экв/л. Тип воды был в основном гидрокарбонатно-натриевым. Качество воды удовлетворяло требованиям ГОСТа к питьевым водам, за исключением содержания фтора — до 2,8 мг/л. Ввиду отсутствия других источников водоснабжения, государственной санэпидемстанцией вода была допущена к употреблению при условии последующего строительства специальной станции по

устранению фтора. Содержание фтора в 1,5–2,0 раза превышало ПДК [1].

В результате длительного и массового водоотбора подземных вод на протяжении 60 и более лет наблюдается изменение химического состава, возросли жесткость, сухой остаток, появились микрокомпоненты, ранее не отмечавшиеся, например, практически по всем скважинам городских водозаборов фиксируется присутствие бора, до начала эксплуатации характерного для верейского подъяруса среднего карбона, что являлось границей эксплуатируемого горизонта на глубине около 350 м [1].

На эродированную поверхность каменноугольных отложений ложится толща песчано-глинистых пород мезозоя, представленная юрской и меловой системами.

По результатам последних лет наблюдений за кустовыми постами отмечается понижение уровня юрского водоносного горизонта, представленного батско-келловейским водоносным комплексом. Отложения данного комплекса имеют повсеместное распространение и залегают на размытой поверхности верхне- и среднекаменноугольных отложений. Нижняя часть разреза представлена песчанистыми глинами с прослойками и линзами кварцевых песков, верхняя — слагается песками с прослойками глин.

При изучении взаимосвязи отдельных водоносных горизонтов в зоне пресных вод было выявлено понижение уровня юрского водоносного горизонта, приуроченного к отложениям батско-келловейского терригенного комплекса. Водообильность горизонта, приуроченного к отложениям данного комплекса, незначительна, поэтому его колебания не оказывают серьезного влияния на водоотбор верхне- и среднекаменноугольного комплекса [5]. Таким образом, можно сделать вывод, что подземные воды пород каменноугольной системы представляют собой единый напорный динамически связанный водоносный горизонт. Опытными работами выявлена быстрая реакция водоносного горизонта средне- верхнекарбонных отложений на водоотбор внутри каменноугольного комплекса.

Детальное изучение свойств водовмещающих пород и химического состава подземных вод было выполнено силами Министерства Геологии СССР. Одним из этапов стали работы по детальной разведке подземных вод и утверждение их ГКЗ в 1964 г. Данные работы обосновывали размещение территорий водозаборов и величину отбора подземных вод средне- и верхнекаменноугольного водоносного горизонта на обследованной территории.

Материалы, полученные в результате этих работ, приняты как точка отсчета для анализа изменений, произошедших в результате активной и длительной эксплуатации водозаборов, приуроченных к указанному горизонту.

Нужно отметить, что работами 1962–1964 гг. нижняя граница изучаемого водоносного комплекса каменноугольных отложений проходит по верейскому подъярису московского яруса среднего карбона вклю-

чительно [1]. Последними работами в общий разрез изучаемой толщи включены водоносные и водоупорные подразделения от нижнеэоценового-голоценовых до девонских и архейских, считающихся слабоводоносными. Нами проанализированы данные от водоносных отложений верхнекаменноугольно-ассельской карбонатной серии до водоносной визейско-башкирской терригенно-карбонатной свиты включительно [7].

На изменения геодинамических и геохимических процессов подземных вод оказывают влияние как природные, так и техногенные факторы. В нашем случае техногенный фактор является основным. Статьей рассмотрена динамика указанных процессов со времен детальной разведки Саранского месторождения подземных вод с 1962–1964 гг. по 2018 г.

Будут освещены следующие стороны проблемы:

1. Изучение характера формирования депрессионной воронки в процессе группового водоотбора Саранского городского водозабора и водозаборов всего Саранского промышленного узла за время эксплуатации.

2. Изменение химического состава подземных вод средне- и верхнекаменноугольных отложений за время эксплуатации водозаборов.

3. Взаимосвязь эксплуатируемых горизонтов верхне-средне-карбонатных отложений в зоне влияния Саранского месторождения подземных вод.

Изучение характера формирования депрессионной воронки

Первая эксплуатационная скважина было пробурена в 1933 г. и водоотбор из нее составил 2,4 тыс. м³/сут. Формирование депрессионной воронки началось с эксплуатации более значительного водозабора, пробуренного в верхне- и среднекаменноугольных горизонтах в 1949 г. К моменту утверждения эксплуатационных запасов в 1964 г. общий водоотбор составил 63,5 тыс. м³/сут, количество водоотборных скважин достигало 62. На территории Саранских городских водозаборов в начале 1960-х годов были утверждены эксплуатационные запасы подземных вод на двух участках: на городском водозаборе — 42 тыс. м³/сут и 24 тыс. м³/сут — на водозаборе Саранского резинового комбината. К началу выполнения геологоразведочных работ понижение на Саранском месторождении подземных вод уже составило 27,0 м [1].

Начиная с 1960-х годов и по настоящее время водозаборы эксплуатируются с нагрузками, превышающими утвержденные запасы в 1,2–2,9 раза. Наибольшая нагрузка была в 1973 г. и составила 136,2 тыс. м³/сут из 115 эксплуатационных скважин. Активная эксплуатация водозаборов привела к образованию депрессионной воронки, максимальное понижение уровня которой составило 82,88 м от поверхности земли [6].

Динамика развития депрессионной воронки показывает интересные факты: максимальный водоотбор приходится на 1973 г., затем произошло некоторое снижение, но своего максимума воронка достигла в 1978 г., и он продержался до 2007 г., около 20 лет. Снижение объемов водоотбора началось гораздо ранее —

в середине 1990-х годов, подъем уровня грунтовых вод карбонового горизонта начался с 2007–2008 гг. и продолжается до сего времени, но скорость восстановления уровня значительно ниже скорости сработки, несмотря на значительное снижение водоотбора. Можно предположить, что величина водоотбора является не единственным фактором, влияющим на гидродинамику водоносного горизонта карбона.

Описываемый эксплуатационный комплекс является напорным. Высота напора по территории Саранска составляла от 0 до 130 м. К началу 1990 г. напор был сработан, началась отработка активной мощности водоносного горизонта.

К середине 1990-х годов началось сокращение работающих предприятий и, как следствие, снижение водоотбора на территории Саранского месторождения. С начала 2000-х годов начинается процесс стабилизации уровня подземных вод и изменение контуров и глубины депрессионной воронки. К 2015 г. процесс снижения уровня закончился и началось повышение статистического уровня.

На 2018 г. Саранская и Рузаевская воронки оконтуриваются общей пьезоизогипсой 70 м, площадь составляет 1181,84 км² [7].

В процессе длительной и массовой эксплуатации средне- и верхнекаменноугольного водоносного комплекса произошло его истощение и начался подток вод с более высокой минерализацией из нижележащих водоносных горизонтов. Вода перестала соответствовать требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. Чтобы обеспечить город питьевой водой, соответствующей требованиям, было запущено в эксплуатацию еще 3 водозабора за пределами территории Саранска — Пензятский, Рудненский и Новотроицкий — работающие на водоснабжение Саранска.

Изменение гидрохимического состава подземных вод средне- и верхнекаменноугольных отложений за время эксплуатации водозаборов

Основной эксплуатационный водоносный комплекс Саранского месторождения подземных вод — воды средне- и верхнекаменноугольных отложений. Формирование химического состава подземных вод до начала эксплуатации определялось тектоническими и геологическими особенностями строения территории и было связано с продуктами перетекания в зонах активного и умеренного водообмена.

Формирование солевого состава каменноугольных вод происходило за счет растворения и выщелачивания в верхней части разреза известняков и доломитов, а в нижней части кроме этих пород, также гипсов и ангидридов, окисления сульфатных соединений.

По результатам детальной разведки 1962–1964 гг. химический состав вод каменноугольных отложений в пределах Саранского месторождения был изучен по пробам многочисленных эксплуатационных и разведочных скважин. В период начальной эксплуатации подземные воды разведываемого горизонта имели сульфатно-гидрокарбонатный анионный состав и смешанный катионный с преобладанием кальция и маг-

ния. Величина сухого остатка не превышала 600 мг/л, общая жесткость от 5,6 мг-экв/л до 7,0 мг-экв/л, т.е. соответствовали нормам СанПиН 2.1.4.1074-01, из микрокомпонентов только природное содержание фторидов превышало существующие нормы [1].

В период групповой откачки 1964 г., когда суммарный водоотбор на Саранском месторождении превысил 100 тыс. м³/сут на двух характерных участках водозаборов: в центральной части депрессионной воронки и на ее периферии был произведен контрольный отбор воды на химический анализ. Результаты этих анализов свидетельствуют, что резкое увеличение водоотбора на тот момент не вызвало возрастания минерализации, хотя длительность групповой откачки превышала 2 месяца. По 58 эксплуатационным и 10 режимным скважинам получены анализы проб воды, по которым величина минерализации колебалась в пределах 0,6–0,8 г/л, т.е. соответствовала ГОСТу «Вода питьевая» [1]. Подземные воды средне- и верхнекарбонатных отложений были рекомендованы к освоению. На тот момент считалось, что граница пресных вод распространяется до глубины 250 м.

Саранский городской водозабор совместно с водозабором Саранского резинового комбината эксплуатируется с начала 1950-х годов. Водоотбор в 1970-е и 1980-е годы превышал утвержденные запасы в 2–3 раза и на них наиболее наглядно проявился процесс истощения и загрязнения пресных подземных вод эксплуатируемого горизонта.

Длительный и сосредоточенный водоотбор вызвал кардинальное изменение процессов водообмена по всей водоносной напорной толще отложений верхнего и среднего карбона, что привело к подтягиванию высокоминерализованных вод из нижней части разреза среднего карбона (верейский подъярус) и других, расположенных ниже высокоминерализованных горизонтов. Это подтверждает наличие во всех пробах, отобранных из скважин расположенных на территории Саранска в 2018 г., такого микрокомпонента как бор с содержанием до 0,81 мг/л, при ПДК равном 0,5 мг/л, тогда как по данным разведочных скважин, пробуренных при утверждении запасов в 1962–1964 гг. [1], такой микрокомпонент присутствовал только в анализах вод отложений верейского подъяруса (350 м от поверхности земли) и ниже.

По результатам тех же работ предполагалось, что после сработки напора в водоносный комплекс каменноугольных отложений начнется переток вод из речной сети, в случае если отложения карбона пройдут под аллювием речного русла или пересекают его, т.е. идет восполнение пресными водами. По данным режимных наблюдений восстановление уровня грунтовых вод депрессионной воронки происходит гораздо медленнее, чем сработка во время массового водоотбора. Это говорит об очень незначительном коэффициенте перетока. Судя по тому, что химический состав грунтовых вод продолжает ухудшаться восполнение отобранных объемов происходит за счет вод нижележащих высокоминерализованных горизонтов.

В 2015 г. загрязнение подземных вод за счет подтока из нижележащих водоносных горизонтов подтверждено на 23 водозаборах города. По результатам опробования эксплуатационных скважин выявлено, что подземные воды имеют смешанный анионный состав с преобладанием хлоридов и сульфатов, катионный состав преимущественно кальциево-магниево-натриевый, величина сухого остатка изменяется от 510 до 1309 мг/л (превышение норм ПДК в 40 % скв.), общая жесткость от 5,5 до 17,1 мг-экв/л (в 75 % скв.), хлоридов от 81,7 до 435,0 мг/л (в 30 % скв.), натрия от 48,28 до 283,47 мг/л (в 35 % скв.), железа общего от 0,07 до 0,79 мг/л (в 30 % скв.), фторидов от 1,75 до 2,96 мг/л (по всем скважинам) [3]. Но в условиях сокращения водоотбора, когда фиксируется подъем уровня подземных вод, тенденция ухудшения качества подземных вод сохранилась.

Характеристика динамической взаимосвязи эксплуатируемого водоносного горизонта верхне- и среднекарбонатных отложений в зоне влияния Саранского месторождения подземных вод.

Согласно режимным наблюдениям, активная эксплуатация водозаборов, обеспечивающих питьевое водоснабжение Саранска, привела к снижению уровня эксплуатируемого горизонта на 82,88 м на участке с радиусом более 85 км [3].

В настоящее время для подачи в водопроводную сеть города воды, соответствующей нормативам СанПиН 2.1.4.1074-01, запущено в эксплуатацию еще три новых водозабора — Пензятка, Новотроицкий и Рудня, расположенных выше по потоку грунтовых вод, приуроченных к отложениям среднего и верхнего карбона. На городских станциях осуществляется подготовка воды перед подачей ее в городские водопроводные сети, в которых только 7 % подаваемой воды идет из водозаборных скважин, расположенных на территории города.

В настоящее время мы наблюдаем, что засоление и загрязнение подземных вод происходит уже в кровле водоносных пород карбона, т.к. у большинства эксплуатационных скважин работающая часть скважины находится в интервале 0–50,0 м от кровли водоносного горизонта.

Но помимо изменения химического состава и напора грунтовых вод в разрезе отложений карбона, как результат активного водоотбора, подобные явления отмечаются также в площадном измерении [3, 7, 10].

Вследствие того, что все скважины водозабора «Саранского завода резинотехники» стали выдавать воду, не соответствующую требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01, водозабор был ликвидирован еще в начале 2000-х годов.

Сейчас из всех пробуренных для организации «Саранск водоканал» скважинах на всех водозаборах, расположенных на территории города, только 7 % работающих скважин дают воду, соответствующую нормативам [3].

«Пензятский водозабор» является вторым по величине эксплуатационной нагрузки. Он расположен

в 4 км севернее городской черты Саранска. Запущен в эксплуатацию с 1976 г. За годы интенсивной эксплуатации прослеживается тенденция увеличения ГОСТИруемых макрокомпонентов. С 1997–1999 гг. величина водоотбора превышала утвержденные запасы в 2,8 раза. Качество подземных вод начало ухудшаться. Снижение уровня подземных вод на 2016 г. составило 68,81 м от ненарушенного уровня [3].

Но изменения химического состава подземных вод неоднородны по площадному признаку. В восточной части к 2016 г. воды имели смешанный анионный состав (с преобладанием сульфатов) и смешанный катионный состав (с преобладанием натрия). Величина сухого остатка изменяется от 640 до 1465 мг/л (превышение в 50 % скв.), общей жесткости от 6,7 до 16,8 мг-экв/л (в 15 % скв.), содержание фторидов от 1,96 до 3,0 мг/л (по всем скважинам), железа общего от 0,12 до 0,3 мг/л. В многолетнем периоде прослеживается процесс ухудшения качества пресных подземных вод [3].

В западной части водозабора за многолетний период наблюдений качество подземных вод остается стабильным. В 2016 г. подземные воды в основном имели сульфатно-гидрокарбонатный анионный состав и натриево-магниево-кальциевый; кальциево-магниево-натриевый катионный состав и величина сухого остатка изменяются в пределах нормы, жесткости от 4,4–11,7 мг-экв/л (превышение в 5 % скв.), содержание фторидов от 1,12 до 2,97 мг/л (в 63 % скв.), железо в пределах нормы [3].

«Рудненский водозабор» эксплуатируется с 1979 г. Он расположен в 20 км на северо-запад от Саранска. Понижение уровня до начала эксплуатации водозабора составляло 13,21 м. Общее понижение на 2015 г. равно 56,34 м. До начала эксплуатации состав вод был сравнительно однороден, гидро-карбонатно-сульфатный, магниево-калиевый и гидро-карбонатно-сульфатный магниево-натриевый. Все параметры укладывались в требования СанПиН 2.1.4.1074-01, кроме повышенного содержания фторидов до 2,6 мг/л [3].

По результатам опробований 2018 г. подземные воды не соответствуют требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01, только по содержанию фторидов и общей жесткости. В многолетнем периоде наблюдений качество подземных вод остается стабильным [3].

«Новотроицкий водозабор» введен в эксплуатацию в 1999 г., находится в 25 км от Саранска в зоне влияния «Рудненского водозабора». С началом эксплуатации уровень грунтовых вод на участке «Новотроицкого водозабора» упал на 17 м. Общее понижение на настоящее время составило 42,16 м. На начало эксплуатации подземные воды имели смешанный анионный состав с преобладанием сульфатов и гидрокарбонатов, по катионному составу кальциево-магниево-натриевый. С начала эксплуатации данного водозабора количественных изменений в химическом составе подземных вод не отмечается. Все показатели находятся в пределах норм СанПиН 2.1.4.1074-01 [3].

На перспективных площадях «Вертилим» и «Сивинь», также расположенных выше по течению грун-

тового потока от водозаборов «Рудненский» и «Новотроицкий» отметка уровня грунтовых вод уже опустилась на 1,5 м ниже первоначального [3].

По материалам последних лет «относительное содержание минерализованных вод обнаруживает продвижение фронта вод повышенной минерализации до 1–3 км» [7]. Все описанные выше водозаборы и перспективные площади находятся в зоне действия одного водоносного бассейна.

Формирование химического состава подземных вод данного водоносного горизонта до начала эксплуатации определялось тектоническими и геологическими особенностями строения территории и было связано с процессами перетекания в зонах активного и умеренного водообмена. В настоящее время основным фактором, влияющим на процессы изменения гидрохимических процессов, является интенсивность водоотбора; величина перетоков возрастает в связи со значительными падениями пьезометрического уровня в результате активной эксплуатации водоносного горизонта. Но данный фактор не всегда объясняет все процессы, происходящие на водозаборах. Необходимо определить, какие еще факторы и на каких участках влияют на изменение гидродинамических и гидрохимических процессов. Например — почему на водозаборе «Пензятский», где все скважины находятся в сходных условиях в зоне действия динамической воронки на одном участке водозабора, резко поменялся химический состав отбираемых вод, а на другом — качественных изменений подземных вод практически не отмечается.

Начало процесса истощения и загрязнения по водозаборам Саранского месторождения подземных вод было зафиксировано в 1980-е годы и связано в первую очередь с нарушением рекомендаций ГКЗ СССР по эксплуатационной нагрузке. Данный процесс продолжается до настоящего времени на всех водозаборах Саранского месторождения и в водозаборах описываемого бассейна, но с разной степенью интенсивности. В настоящее время на Саранском городском водозаборе величина остаточного напора составляет 10,31 м. Водозаборы практически всех районных центров и крупных населенных пунктов Республики Мордовия работают на неутвержденных запасах основного эксплуатационного горизонта [7].

Выводы

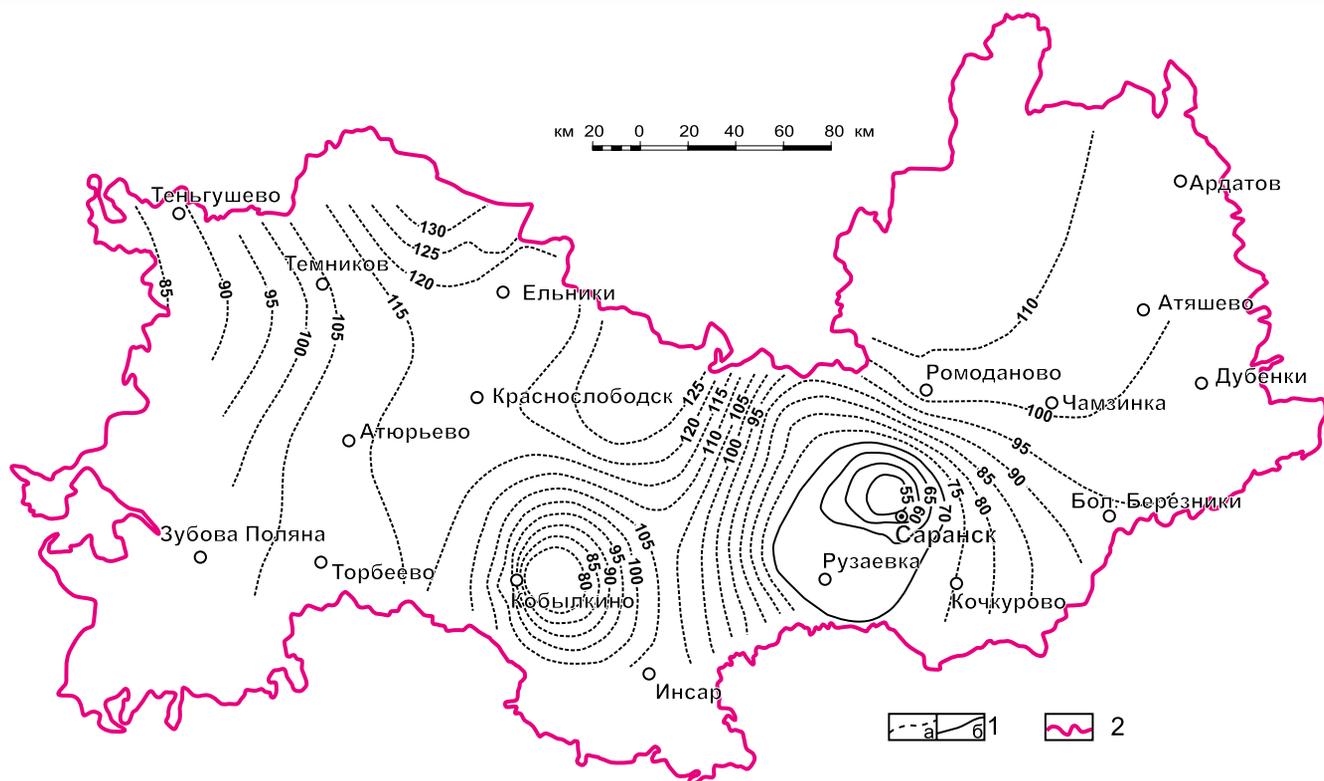
Водоносный горизонт карбона является основным эксплуатационным водоносным горизонтом на территории Республики Мордовия. Территория работ характеризуется сложными гидрогеологическими условиями, обусловленными наличием нескольких взаимосвязанных водоносных комплексов и горизонтов, и распространением подземных вод различного качества [8]. В первом от поверхности земли карбонатном подразделении отмечены участки осушения, занимающие обширные площади [7]. При анализе изменения гидродинамических и гидрохимических показателей не учтены структурно-тектонические особенности карбонатных отложений.

Для того, чтобы ответить на вопрос взаимодействия величины водоотбора, изменения напора грунтовых вод водоносного средне-верхнекарбонатного угольного карбонатного горизонта с изменением химического состава вод указанного горизонта, необходимо было провести поинтервальное опробование гидродинамических и гидрохимических характеристик указанного горизонта по глубине и во времени. Работы поинтервального опробования проводились в 1962–1964 гг. [1] при оценочных работах на площадях саранских городских водозаборов и в 1982–1987 гг. при разведочных работах на Сивинском и Вертилинском участках [5], расположенных в 60 км от Саранска. Отложения известняков и доломитов на указанных площадях находятся в разных структурных условиях; сравнительный анализ влияния гидродинамики на химический состав подземных вод затруднителен. Влияние результатов интенсивного водоотбора из указанного горизонта на территории Республики Мордовия показаны на «Схематической карте пьезоизогипс водоносного средне-верхнекарбонатного угольного карбонатного горизонта по состоянию на 27.08.2004 г.» (рисунок).

Предлагается выделить наиболее активно используемый структурно-тектонический участок Саранского месторождения подземных вод и построить модель выбранного участка в режиме 3D, учитывающую геологическую неоднородность, фильтрационную анизотропию пластов и играющую решающую роль в изменении гидродинамических процессов — активную эксплуатацию водоносной толщи карбонатноугольных отложений. Наиболее приемлемой для решения этих задач будет территория, где расположены основные водозаборы городов Саранск и Рузаевка, объединенные общей депрессионной воронкой и далее вверх по направлению грунтового потока.

Данный блок с востока и юго-востока оконтуривается Инсарской флексурой. Учитывая радиальную структуру грунтового потока, т.к. основная область питания водоносной карбонатной толщи находится с северо-западной части территории, граница блока будет проходить вблизи зоны Арзамасских дислокаций в северной части. Граница блока на востоке будет проходить в районе пересечения р. Сивинь сводовой части Сивиньского вала. Здесь же находятся наиболее высокие отметки пьезометрических уровней 125–130 м. Основным источником питания служат атмосферные осадки, фильтрующиеся в карбонатную толщу в местах ее выхода на дневную поверхность или залегающие непосредственно под аллювием в долине реки [7]. Подземные воды почти по всей площади напорны. Распределение напоров также увязывается с тектоническим строением. Там, где отложения карбона выходят на дневную поверхность или перекрыты только аллювием, напор отсутствует или очень слаб. На крыльях поднятий 20–60 м с понижением кровли до 175–220 м [7].

Далее граница будет продолжаться на юго-западе от г. Рузаевка на 30–40 км вдоль Инсарской флексуры и



Схематическая карта пьезогипс водоносного средне-верхнекаменноугольного карбонатного горизонта по состоянию на 27.08.2004 г. Движение подземных вод. 1 — гидроизопьезы водоносного средне-верхнекаменноугольного карбонатного горизонта (метры абсолютной высоты): а — предполагаемые, б — установленные; 2 — граница Республики Мордовия

затем на север и северо-запад через Хованщину, Краснослободск и Темников к Арзамасским дислокациям. Границы блока могут быть скорректированы, масштаб будет уточняться, но основное внимание будет уделено перспективным площадям «Сивинь» и «Вертилим», расположенным в 50–55 км от Саранска на своде Сивиньского вала.

Предшествующими работами именно эти площади намечены как первоочередные для освоения. Высказываются рекомендации включить в изучаемую площадь водозаборы и зоны их влияния г. Ковылкино, где в результате интенсивного водоотбора образовалась еще одна депрессионная воронка с абсолютной отметкой –80 м. В таком случае границы моделируемой площади будут изменены.

Анализируя результаты работ, указанных выше по тексту водозаборов, можно отметить: водозабор «Саранского резинотехнического комбината» ликвидирован, водозаборы «Саранского горводоканала», расположенные на территории города, практически не работают, т.к. только 7 % поднимаемой воды соответствуют требованиям нормативов, на «Пензятском» водозаборе в восточной части его территории насосы поднимают некондиционную воду. На «Новотроицком» и «Рудненском» водозаборах образуется новая общая депрессионная воронка на отметках 40–50 м ниже уровня дневной поверхности, на перспективных площадях «Сивинь» и «Вертилим» уже отмечено понижение уровня, правда всего на 1,5 м.

Перспективные площади «Сивинь» и «Вертилим» приурочены к своду Сивиньского вала, т.е. к областям питания водоносных отложений карбона, водоотбор на этих площадях может привести к необратимым последствиям в изменении гидродинамических и, как следствие, геохимических процессов всего блока и, возможно, большей части Саранского месторождения подземных вод. Это объясняется тем, что отбор будет проводиться в кровле водоносного комплекса отложений карбона, где практически отсутствует напор, т.е. сработка горизонта начнется практически сразу, и процессы, которые произошли в водоносном каменноугольном комплексе на территории Саранска, будут проходить здесь гораздо интенсивнее и по времени, и по площади, и по глубине. Можно будет практически сразу получить еще один участок Саранского месторождения подземных вод отложений карбона несоответствующий нормативам. Моделирование в режиме 3D позволит выявить наиболее активные факторы, влияющие на процесс истощения и загрязнения, кроме высокой эксплуатационной нагрузки, изменяющие развитие геодинамических и геохимических процессов. Приведенные выше заключения будут учтены для обоснования и создания гидрогеологической модели в режиме 3D исследуемой территории. Для чего необходимо провести комплекс гидрогеологических работ от бурения гидрогеологических скважин с поинтервальными откачками и опробованиями до тщательного изучения фондового и фактического материала по изучаемой территории.

Создание гидрогеологической модели в режиме 3D позволит:

- оптимизировать объем добычи и режим эксплуатации подземных вод;
- выявлять перспективные участки для постановки поисково-оценочных и разведочных работ;
- оценивать и прогнозировать качество подземных вод при необходимости увеличения эксплуатационной нагрузки на водоносный горизонт;
- определять возможность удовлетворения объемов, заявленных недропользователями добычи подземных вод при оформлении лицензий;
- решать другие оценочные и прогнозные гидрогеологические задачи;
- осуществлять управление ресурсной базой подземных вод и целевым назначением их использования, не допуская ухудшения качества вод.

Объемы и площади работ могут быть скорректированы при составлении программы работ в соответствии с требованиями ЦКР Роснедр к качеству 3D геолого-гидродинамической модели.

Необходимо предотвратить процесс усиления засоления грунтовых вод, существующий на территории Саранского промузла и не допустить его распространения на другие водозаборы, что может сделать этот процесс необратимым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров, И.А. Отчет о детальной разведке подземных вод в районе г. Саранска Мордовской АССР / И.А. Бочаров, И.Ф. Погребняк, Г.Г. Сафронов, 1964.

2. Володина, Т.В. Отчет о результатах работ по осуществлению контроля за охраной подземных вод от истощения и загрязнения на территории Мордовской АССР, выполненных гидрогеологической режимной партией в 1984–1985 гг. / Т.В. Володина, Н.Е. Сафонова, 1986.

3. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Республики Мордовия за 2015 г. — Вып. 20. / Т.В. Володина — Саранск, 2016.

4. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды на территории Республики Мордовия за 2004 г. — Вып. 9. — Саранск, 2005.

5. Порунов, С.К. Отчет о разведке подземных вод на Сивинском и Вертилимском участках и анализ работы действующих водозаборов г. Саранска, выполненных Мордовской геологопоисковой партией в 1982–1987 гг. / С.К. Порунов, Л.Г. Соломко, В.С. Плотников, 1987.

6. Пояснительная записка к геологической карте четвертичных отложений Республики Мордовия / Н.В. Буцацкая, С.П. Евдокимова, В.Н. Маскайкин, 1998.

7. Разработка математической гидрогеологической модели Саранского промузла с целью ее использования для управления ресурсной базой питьевых и технических подземных вод и оценка их ресурсного потенциала / В.В. Дикарев, 2019.

8. Схематическая гидрохимическая карта водоносного каменноугольнопермского карбонатного горизонта по территории Республики Мордовия масштаб 1:200 000 / Н.Е. Сафонова, Т.В. Володина, 1999.

9. Фисунов, А.Д. Дополнение к отчету о гидрогеологических исследованиях в районе г. Саранска для водоснабжения Саранского промышленного района Мордовской АССР (подсчет запасов) / А.Д. Фисунов, 1961 г.

10. Шпагина, О.Н. Отчет о результатах работ по объекту: «Государственный мониторинг состояния недр территории Приволжского федерального округа в 2016 году» / О.Н. Шпагина, 2016.

© Живайкина В.В., 2021

Живайкина Валентина Викторовна // irina.mansurova1@gmail.com

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.725

Петров С.В. (СПбГУ), Бороздин А.П. (ООО «ЛИМС»), Головина Т.А. (ОАО «Полиметалл УК»), Шелухина Ю.С. (СПбГУ, ООО «ЛИМС»)

ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СЕПАРАЦИИ РУДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СЕНСОРНЫХ МЕТОДИК

В статье приводится обзор применения современных способов предварительной сепарации различных руд с применением сенсорных методик и, прежде всего, рентгеноабсорбционной (рентгенотрансмиссионной) сепарации (XRT). Кратко приведены физическая сущность метода, ограничения, области применения, выполнено сравнение технологии XRT с другими методами предварительной концентрации. Кроме того, приведены многочисленные примеры применения методики XRT сепарации

и сортировки на различных типах руд. **Ключевые слова:** предварительная сепарация, XRT, рентгенотрансмиссионная сепарация, сортировка.

Petrov S.V. (SPSU), Borozdin A.P. (LIMS), Golovina T.A. (Polymetal), Shelukhina Yu.S. (SPSU, LIMS)

EXPERIENCE OF APPLICATION OF ORE PRE-CONCENTRATION WITH THE IMPLEMENTATION OF MODERN SENSOR TECHNIQUES

The article provides an overview of the application of modern methods of preliminary concentration of various ore types using sensor techniques and, above all, X-ray absorption (X-ray transmission) sorting (XRT). The physics of the method, limitations, and areas of application are presented. The XRT technology is compared with other methods of preliminary concentration. In addition, numerous examples of the application of the XRT concentration and sorting technique to various types of ores are given. **Keywords:** pre-concentration, XRT, X-ray transmission sorting.