

Astrakhanskogo GKM [Experience with content control methods of corrosion inhibitor in production serovodorodosoderzhashego Astrakhan gas condensate field]. *Korroziya i zashchita ot korrozii* [Corrosion and Corrosion Protection], 2004, no. 1, pp. 32.

5. Ragozina Ye. A. Sostav, zonalnost i masshtaby generatsii gazov pri katageneze organicheskogo veshchestva gumusovykh ugley [Composition, zoning and scale gas generation during catagenese organic matter of humic coals]. *Neftegazovaya tekhnologiya. Teoriya i praktika* [Oil technology. Theory and practice]. Available at : http://www.ngtp.ru/rub/1/38_2008.pdf.

6. Serebryakov A. O., Fedorova N. F., [et al] Osnovy promyslovoy geologii i razrabotki mestorozhdeniy nefii i gaza [Fundamentals of Industrial Geology and Development of Oil and Gas]. Astrakhan, Astrakhan University, 2011, 108 p.

7. Serebryakov A. O., Serebryakov O. I. Razvedka, razrabotka i pererabotka otkhodov gornogo proizvodstva dlya dobychi poleznykh iskopaemykh [Exploration, development and processing of waste mining industry for extraction of minerals]. Astrakhan, Astrakhan University, 2011, 204 p.

8. Serebryakov O. I. Analiz vnedreniya vody v produktivnyuyu zalezh Astrakhanskogo GKM [The analysis of the implementation of the water in the productive reservoir of the Astrakhan gas condensate field]. *Gazovaya promyshlennost* [Gas industry], 1987, no. 8, pp. 45–49.

9. Serebryakov O. I. Rezhim razrabotki Astrakhanskogo GKM [The mode of development of the Astrakhan gas condensate field]. *Gazovaya promyshlennost* [Gas industry], 1987, no. 11, pp. 26–31.

10. Serebryakov O. I. Sinergiya geoekologicheskogo monitoringa razvedki, razrabotki i pererabotki prirodnogo syrya [Synergy of geoecological monitoring of the exploration, development and processing of natural raw materials]. *Yestestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical Sciences], Moscow, 2010, no. 4 (48), pp. 230–235.

11. Serebryakov O. I. [et al] Issledovaniya protsessov geoelektricheskoy destruktssii gomologov serovodoroda [Studies of geoelectric destruction homologues sulfide]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2011, no. 1, pp. 19–25.

12. Serebryakov O. I. Gazogidrokhimicheskie kriterii perspektiv neftegazonosnosti [Gas-hydrochemical criteria of prospects of oil-and-gas content]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2011, no 2, pp. 45–48.

13. Serebryakova O. A. Flyuidoupornye svoystva glinistykh i solenosnykh porod pri podzemnom zakhoroneni promyshlennykh stokov pererabotki nefii i gaza [Restriction of fluids properties of clay and saline rocks at underground dumping of industrial wastes processing of oil and gas]. *Yuzhno-Rossiyskiy vestnik geologii, geografii i globalnoy energii* [South-Russian Journal of Geology, Geography and Global Energy], 2005, no.2, pp. 54–59.

14. Serebryakova O. A. Usloviya obrazovaniya i svoystva gazovykh gidratov respubliki Kalmykiya [Conditions of formation and properties of gas hydrates, the Republic of Kalmykia]. *Yuzhno-Rossiyskiy vestnik geologii, geografii i globalnoy energii* [South Russian Journal of Geology, Geography and Global Energy], 2006, no. 11, pp. 52–55.

15. Serebryakova O. A., Limanskiy Ye. N. Inzhenerno-geologicheskie preobrazovaniya antropogennykh gruntov [Engineering geological transformation of anthropogenic soils]. *Yuzhno-Rossiyskiy vestnik geologii, geografii i globalnoy energii* [South Russian Journal of Geology, Geography and Global Energy], 2006, no. 11 (27), pp. 59–65.

ЗАВИСИМОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ СЕРОВОДОРОДА ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

Мишурина Виталика Михайловна, студент

Кубанский государственный университет
350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149
E-mail: vitalika.mishurina@mail.ru

В работе рассматривается изучение влияния водоотбора на изменение содержания сероводорода в сульфидных минеральных водах горизонта нижнего песчаника, так как основной проблемой при эксплуатации Псекупских минеральных вод является неустойчивость их химического состава, что проявляется в направленном снижении их минерализации и содержания сероводорода, особенно в тех случаях, если при эксплуатации превышаются объемы утвержденных ГКЗ водоотборов. Псекупское месторождение минеральных вод расположено в южной части территории города-курорта Горячий ключ – одного из старейших курортов Краснодарского края. Курорт расположен в 65 км к юго-востоку от краевого центра г. Краснодара в предгорье Кавказского хребта в долине реки Псекупс. За годы регулярных наблюдений за разработкой месторождения (с 1966 г.) накопился большой материал по режиму и практический опыт по рациональной эксплуатации месторождения. Главной проблемой при эксплуатации сульфидных вод Псекупского месторождения является *проблема стабильности качества*, которое по ряду скважин при увеличении водоотбора имеет тенденцию к направленному изменению. За время существования курорта (с 1864 г.) различными последователями было высказано несколько гипотез об условиях формирования Псекупских минеральных вод. Существующие представления можно разделить на *гипотезы пластового и глубинного генезиса*. Полученные в процессе разведочных работ 1977–1982 гг. данные позволили предложить *новую гипотезу формирования термальных сульфидных вод Псекупского месторождения*. Анализ геотермических и гидрогеологических условий показал, что основным фактором, обуславливающим формирование химического состава разнообразных типов минеральных вод Псекупского месторождения, являются процессы смешения слабоминерализованных отложений свиты горячего ключа и минерализованных высокотермальных вод горизонтов нижнего мела. В областях разгрузки седиментационных вод, где они смешиваются с инфильтрационными водами, возникают интенсивные очаги сульфатредукции.

Ключевые слова: сульфидные воды, водоотбор, эксплуатация скважин, сульфатредуцирующие бактерии

PSEKUPSKI: DEPENDENCE OF THE DEPOSIT'S HYDROGEN SULFIDE CONTENT ON ITS SULFIDE MINERAL WATERS

Mishurina Vitalika M.

Student

Kuban State University

149 Stavropolskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350040

E-mail: vitalika.mishurina @ mail.ru

The article discusses the transformation of the water-hydrogen sulfide content found in the Psekupski Deposit's sulfide mineral waters at lower sandstone levels. It adds that the main problem affecting the Psekupski water is the instability of its chemical composition, which contains low levels of salinity and hydrogen sulfide. Moreover, the mineral water activities have exceeded the limit imposed by the State Committee on Reserves. The Psekupski mineral waters, the critique notes, are located in the southern part of the resort town of Hot Springs (located 65 km southeast of the regional center of Krasnodar in the foothills of the Caucasus Mountains). Its sulfide deposits, the paper states, are unstable; a number of wells with increased water intake are undergoing a directional change. The document says that several older geophysical hypotheses exist about the conditions that led to the formation of the Psekupski mineral waters. These concepts, it says, can be divided into hypotheses on formation and on deep origin. Meanwhile, more recent data obtained during the explorations in the 1977–82 timespan will reportedly enable the proposal of a new hypothesis on the formation of the sulfide deposit's thermal waters. At this stage, it notes that an analysis of geothermal and hydro-geological conditions has indicated that weak mineralized deposits and mineralization activities in high thermal waters were the key Lower-Cretaceous-period factors that contributed to the formation of various types of chemical compositions in the Psekupski waters. Finally, the blueprint indicates that there

are pockets of intense sulfate in the areas of water-discharged sediments, in which the sulfate inter-mixes with infiltrated water.

Keywords: hydrogen-sulfide, water intake, maintenance of wells, sulfate-reducing bacteria

Псекупское месторождение минеральных вод расположено в южной части территории города-курорта Горячий ключ – одного из старейших курортов Краснодарского края. Курорт расположен в 65 км к юго-востоку от краевого центра г. Краснодара в предгорье Кавказского хребта в долине реки Псекупс [1, 5].

За годы регулярных наблюдений за разработкой месторождения (с 1966 г.) накопился большой материал по режиму и практический опыт по рациональной эксплуатации месторождения.

Главной проблемой при эксплуатации сульфидных вод Псекупского месторождения является *проблема стабильности качества*, которое по ряду скважин при увеличении водоотбора имеет тенденцию к направленному изменению.

За время существования курорта (с 1864 г.) различными последователями было высказано несколько *гипотез* об условиях формирования Псекупских минеральных вод. Существующие представления можно разделить на *гипотезы пластового и глубинного генезиса*. Полученные в процессе разведочных работ 1977–1982 гг. данные позволили предложить *новую гипотезу формирования термальных сульфидных вод Псекупского месторождения*. Анализ геотермических и гидрогеологических условий показал, что основным фактором, обуславливающим формирование химического состава разнообразных типов минеральных вод Псекупского месторождения, являются процессы смешения слабоминерализованных отложений свиты горячего ключа и минерализованных высокотермальных вод горизонтов нижнего мела. В областях разгрузки седиментационных вод, где они смешиваются с инфильтрационными водами, возникают интенсивные очаги сульфатредукции [5, 12].

Источниками сульфатов Псекупского месторождения являются высокотермальные воды нижнемеловых отложений, разгружающиеся по отдельным тектонически ослабленным зонам. Источниками же органических веществ являются терригенные отложения свиты горячего ключа.

В процессе сульфатредукции происходит обогащение подземных вод гидрокарбонатами, т.е. наблюдается трансформация химического состава от сульфатного к гидрокарбонатному. Основным процессом, приводящим к обогащению маломинерализованных вод сульфатами, является окисление сульфидов металлов кислородом [11, 14]. В результате окисления пирита в водах накапливаются сульфаты, железо и происходит их подкисление (рН до 6,5) [15].

В течение 2000–2007 гг. группой микробиологов РАН под руководством д. м. н. Г.А. Дубининой впервые доказано участие представителей родов *Sphaerotilus* и *Thiothrix* в качестве основных компонентов микробных сообществ нитчатых сероокисляющих бактерий в природных сульфидных источниках и обнаружены структурные изменения микробных сообществ в зависимости от концентрации сульфида, характерных для Псекупского месторождения. Ими обнаружено массовое развитие микробных сообществ нитчатых сероокисляющих бактерий. Микроскопический анализ образцов микробного сообщества сульфидных вод показал, что оно состоит преимущественно из нитчатых серобактерий, морфологически близких к роду *Thiothrix* и роду *Sphaerotilus*, что было подтверждено последующими исследованиями фено- и генотипических характеристик 6 штаммов выделенных культур [3, 4, 13].

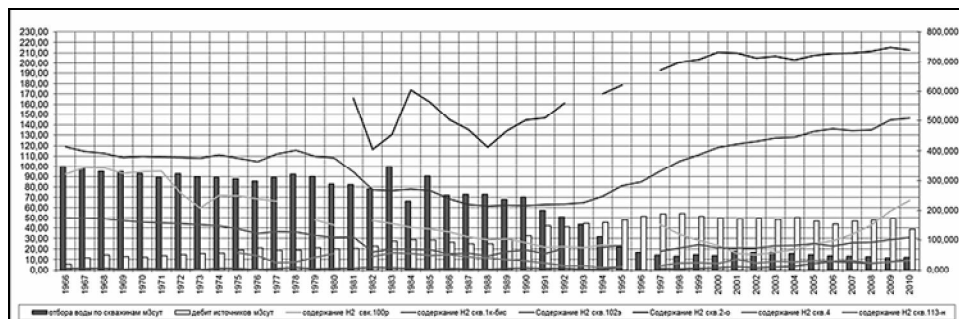


Рис. 1. Графики изменения содержания сероводорода от водоотбора в скважинах горизонта нижнего песчаника за период 1966–2010 гг.

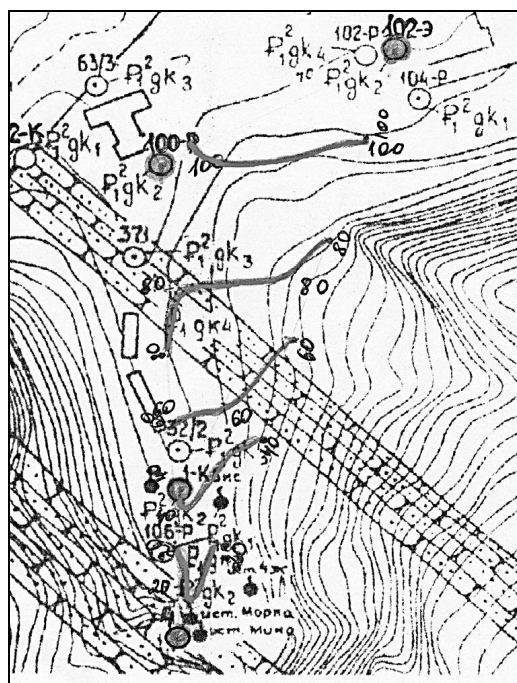


Рис. 2. Схема распространения содержания сероводорода в сульфидных водах
Псекупского месторождения (1968 г.)

1) 1967–1988 гг. – период интенсивного водоотбора из скважин, каптирующих горизонт, зачастую с превышением водоотбора над утвержденными эксплуатационными запасами (утвержденные запасы 350 м³/сут., что приводило к направленным изменениям химического состава сульфидных вод и, прежде всего, к снижению содержания сероводорода (рис. 2).

Фонд скважин, каптирующих горизонт нижнего песчаника на 01. 01. 1965 г., составлял: 2 эксплуатационные №№ 1-К-бис и 102-Э; 2 резервные №№4, 100-р.

С увеличением водоотбора содержание сероводорода в воде снижается, а общее его количество, генерируемое в пределах правобережного участка, остается постоянным.

2) Прекращение эксплуатации в 1981–1984 гг. скважины № 1 к-бис привело к существенному ограничению водоотбора.

При этом происходит резкое снижение содержания сероводорода, что, по-видимому, связано с гидрохимической неоднородностью каптированных скважиной водоносных слоев. Вся нагрузка на водоотбор переносится на скважину 102-Э, расположенную в погруженной части структуры воды с большей минерализацией.

Это приводит к смещению границ минерализации, продвижение фронта пресных вод к зоне глубинного разлома, продолжается опреснение источников в зоне разгрузки (рис. 3). В 1981 г. для обеспечения потребности в сульфидной воде бурится скважина № 2-о. Период 1986–1990 гг. характеризовался относительно стабильным водоотбором на уровне 237–253 м³/сут., который затем сменился периодом неуклонного снижения суммарного водоотбора из скважин.

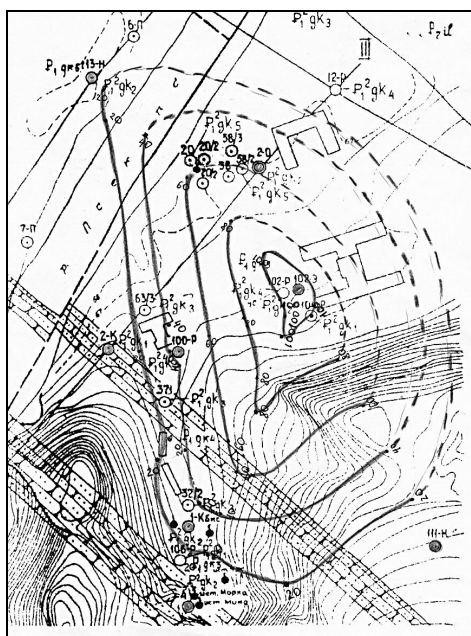


Рис. 3. Схема распространения содержания сероводорода в сульфидных водах Псекупского месторождения (1980 г.)

3) 1990 г. – год стабильного водоотбора минеральных вод. Однако даже постоянный водоотбор сопровождался весьма незначительным падением содержания сероводорода в воде скважины 102-Э, расположенной в погруженной части структуры. Наблюдается изменение размеров зон с однородным химическим составом по площади с выклиниванием в сторону 2-к.

В ходе увеличения водоотбора очаги концентрации сероводорода сформировались у скв. № 102-э, а также № 2-0 (рис. 4).

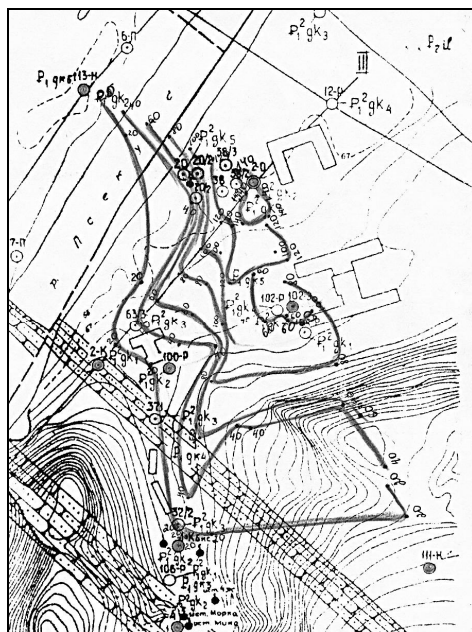


Рис. 4. Схема распространения содержания сероводорода в сульфидных водах
Псекупского месторождения (1990 г.)

Начиная с 1993 г. в связи со значительным сокращением водоотбора (до 45 м³/сут. в 1997 г.) наметилось восстановление содержания сероводорода в воде скважин горизонта нижнего песчаника.

4) Период 1997–2010 гг. характеризуется продолжением снижения использования минеральных вод, объем которых за последние 3 года уменьшился до 7 % от утвержденных запасов. Снижение отбора воды горизонта нижнего песчаника привело к генерации сероводорода в зоне, из которой происходит движение воды к водозабору (рис. 5). Например, в скважине 1 к-бис содержание сероводорода в воде увеличилось за 25 лет с 19,15 до 53,0 мг/дм³. Также в 2010 году отмечено появление сероводорода в источнике «Марка».

Анализ эксплуатации Псекупского месторождения за 1997–2010 гг. показал, что на данном этапе эксплуатации месторождения, когда водоотбор из него существенно уменьшился, происходят позитивные изменения в режиме и, прежде всего, рост содержания сероводорода как в самых продуктивных горизонтах, так и в эксплуатационных скважинах (1 к-бис). Это свидетельствует о процессе восстановления общих ресурсов минеральных вод месторождения, которые в прежние годы были несколько истощены в результате чрезмерно большого водоотбора, при этом наблюдаются направленные изменения химического состава воды.

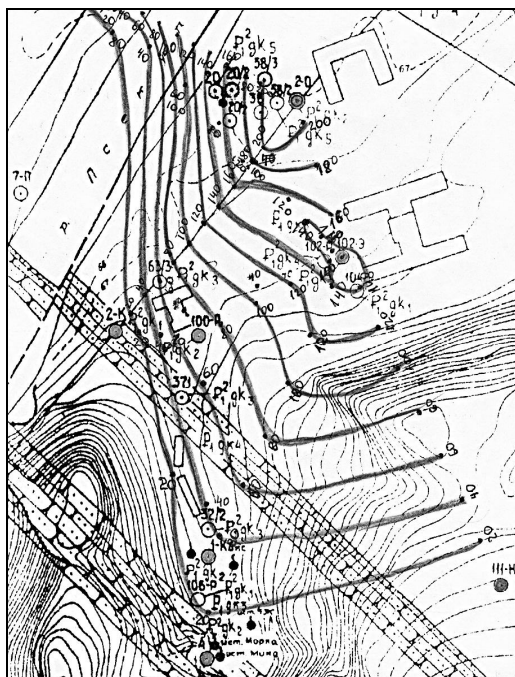


Рис. 5. Схема распространения содержания сероводорода в сульфидных водах Псепкупского месторождения (2010 г.)

Как показала практика, для Псекупского месторождения наиболее оптимальным способом эксплуатации является непрерывный зарегулированный водоотбор из самоизливающихся скважин. Это обеспечит максимальную экономную эксплуатацию и сохранность качественного состава минеральных вод.

Учитывая сложный характер месторождения и ограниченность ресурсов сульфидных вод, тесно связанных с интенсивностью генерации сероводорода в продуктивных пластах, процесс отработки оптимального режима эксплуатации минеральных вод Псекупского месторождения в настоящее время нельзя считать завершенным.

Поэтому очень важной является обработка и обобщение данных режимных наблюдений, которая позволит подойти к обоснованному установлению оптимального режима эксплуатации водоносного горизонта нижнего песчаника при разных объемах водоотбора.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 11-05-00857-а), Министерства образования и науки РФ, соглашения №14.B37.21.0582, № 14.B37.21.1258.

Список литературы

1. Берри И. Л. Технологическая схема разработки Псекупского месторождения минеральных вод / И. Л. Берри, О. А. Шкловский, А. Ф. Авдеев // Курорт Горячий Ключ Краснодарского края. – Москва : Лечминвод, 1999.
2. Вопросы изучения лечебных минеральных вод, грязей, и климата // Центральный НИИ курортологии и физиотерапии. – Москва, 1979. – Т. 39.
3. Гриднева Е. В. Выделение, культивирование и серный метаболизм нового вида *Thioflexothrix dubinini* gen.nov. / Е. В. Гриднева, Е. Ю. Черноусова, Е. Н. Фро-

лов, М. Ю. Грабович // Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов. – ВГУ, 2009. – Вып. 11. – С. 65–73.

4. Гриднева Е. В. Новый подвид *Shaerotilus natans* subsp. *sulfidivorans*, выделенный из термального сульфидного источника Северного Кавказа / Е.В. Гриднева, Е. Ю. Черноусова, М. Ю. Грабович, Г. А. Дубинина, В. Н. Акимов // Симбиоз Россия : мат-лы II Всерос. конгресса студентов и аспирантов-биологов (Пермь, 25–29 мая). – Пермь, 2009. – С. 16–17.

5. Королев В. Н. Отчет о разведке минеральных вод Левобережного участка Псекупского месторождения по состоянию на 01. 11. 82 г. и ревизии запасов Правобережного участка / В. Н. Королев, С. З. Королева // Управление «Геоминвод». – Пятигорск, 1982.

6. Машукова Л. И. Отчет о ведении объектного мониторинга минеральных вод и лечебных грязей на месторождениях, разрабатываемых ООО «Краснодарской ГГРЭС» / Л. И. Машукова, С. Х. Бжассо // Псекупское месторождение минеральных вод. – ГГРЭС, 1968.

7. Машукова Л. И. Отчет о ведении объектного мониторинга минеральных вод и лечебных грязей на месторождениях, разрабатываемых ООО «Краснодарской ГГРЭС» / Л. И. Машукова, С. Х. Бжассо // Псекупское месторождение минеральных вод. – ГГРЭС, 1980.

8. Машукова Л. И. Отчет о ведении объектного мониторинга минеральных вод и лечебных грязей на месторождениях, разрабатываемых ООО «Краснодарской ГГРЭС» / Л. И. Машукова, С. Х. Бжассо // Псекупское месторождение минеральных вод. – ГГРЭС, 1990.

9. Машукова Л. И. Отчет о ведении объектного мониторинга минеральных вод и лечебных грязей на месторождениях, разрабатываемых ООО «Краснодарской ГГРЭС» / Л. И. Машукова, С. Х. Бжассо // Псекупское месторождение минеральных вод. – ГГРЭС, 2010.

10. Перельман А. И. Геохимия: учеб. / А. И. Перельман. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1989. – 528 с.

11. Плотникова Г. Н. Закономерности распространения и формирования сульфидных вод СССР / Г. Н. Плотникова / Вопросы гидрогеологии минеральных вод // Труды ЦИ НИИКиФ. – Москва, 1977. – С. 59–95.

12. Стойнов Т. Ф. Отчет по результатам гидрогеологических работ, проведенных на курорте Горячий ключ в 1964–66 гг. с подсчетом запасов по состоянию на 14. 04. 66 г. / Т. Ф. Стойнов, А. А. Панкова // Контора «Геоминвод». – Москва, 1967.

13. Черноусова Е. Ю. *Thiothrix caldifontis* sp. nov. и *Thiothrix lacustris* sp. nov. – новые представители рода *Thiothrix*, и роль восстановленных соединений серы в диссимиляционных процессах / Е. Ю. Черноусова, В. В. Дорохова, Е. В. Гриднева, М. Ю. Грабович, Г. А. Дубинина, В. Н. Акимов // Симбиоз Россия 2009 : мат-лы II Всерос. конгресса студентов и аспирантов-биологов. – Пермь, 2009. – С. 84–85.

14. Яроцкий Л. А. Основные закономерности образования сероводородных вод / Л. А. Яроцкий // Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. – Москва : Министерство здравоохранения СССР, 1960. – С. 141–168.

15. Яхонтова Л. К. Механизм окисления пирита / Л. К. Яхонтова, А. П. Грубев, Л. Г. Нестерович // Геол. рудн. месторожд. – 1979. – Т. 21, № 2. – С. 63–68.

References

1. Berri I. L., Shklovskiy O. A., Avdeev A. F. Tekhnologicheskaya skhema razrabotki Psekupskogo mestorozhdeniya mineralnykh vod [Development plan Psekupskogo mineral water]. *Kurort Goryachiy Klyuch Krasnodarskogo kraya* [Hot Spring Resort Krasnodar region], Moscow, Lechminvod, 1999.

2. Voprosy izucheniya lechebnykh mineralnykh vod, gryazey i klimata [Of the study of mineral waters, mud and climate]. Tsentralnyy NII kurortologii i fizioterapii [Central Research Institute of Balneology and Physiotherapy], Moscow, 1979, Vol. 39.

3. Gridneva Ye. V., Chernousova Ye. Yu., Frolov Ye. N., Grabovich M. Yu. Vydelenie, kultivirovanie i sernyy metabolizm novogo vida *Thioflexothrix dubinini* gen.nov [Isolation, cultivation and sulfur metabolism is a new kind of *Thioflexothrix dubinini* gen.nov.]. *Organizat-*

siya i regulyatsiya fiziologo-biokhimicheskikh protsessov [Organization and regulation of physiological and biochemical processes], VGU, 2009, issue 11, pp. 65–73.

4. Gridneva Ye. V., Chernousova Ye. Yu., Grabovich M. Yu., Dubinina G. A., Akimov V. N. Novyy podvid *Shaerotilus natans* subsp. *sulfidivorans*, vydelenyy iz termalnogo sulfidnogo istochnika Severnogo Kavkaza [New subspecies *Shaerotilus natans* subsp. *sulfidivorans*, selected from a thermal source of sulfide North Caucasus]. *Simbioz* [Symbiosis], Perm, 2009, pp. 16–17.

5. Korolev V. N., Koroleva S. Z. Otchet o razvedke mineralnykh vod Levoberezhnogo uchastka Psekupskogo mestorozhdeniya po sostoyaniyu i revizii zapasov Pravoberezhnogo uchastka [Report on the exploration of mineral waters of Left Bank area Psekupskogo deposits and auditing reserves right-gentle land]. Geominvod, Pyatigorsk, 1982.

6. Mashukova L. I., Bzhasso S. Kh. Otchet o vedenii obektnogo monitoringa mineralnykh vod i lechebnykh gryazey na mestorozhdeniyakh, razrabatyvaemykh OOO «Krasnodarskoy GGRES» [Report on the conduct of objective monitoring of mineral water and mud in the fields developed by LLC "Krasnodar GGRES"]. *Psekupskoe mestorozhdenie mineralnykh vod* [Psekupskoe mineral waters], GGRES, 1968.

7. Mashukova L. I., Bzhasso S. Kh. Otchet o vedenii obektnogo monitoringa mineralnykh vod i lechebnykh gryazey na mestorozhdeniyakh, razrabatyvaemykh OOO «Krasnodarskoy GGRES» [Report on the conduct of objective monitoring of mineral water and mud in the fields developed by LLC "Krasnodar GGRES"]. *Psekupskoe mestorozhdenie mineralnykh vod* [Psekupskoe mineral waters], GGRES, 1980.

8. Mashukova L. I., Bzhasso S. Kh. Otchet o vedenii obektnogo monitoringa mineralnykh vod i lechebnykh gryazey na mestorozhdeniyakh, razrabatyvaemykh OOO «Krasnodarskoy GGRES» [report on the conduct of objective monitoring of mineral water and mud in the fields developed by LLC "Krasnodar GGRES"]. *Psekupskoe mestorozhdenie mineralnykh vod* [Psekupskoe mineral waters], GGRES, 1990.

9. Mashukova L. I., Bzhasso S. Kh. Otchet o vedenii obektnogo monitoringa mineralnykh vod i lechebnykh gryazey na mestorozhdeniyakh, razrabatyvaemykh OOO «Krasnodarskoy GGRES» [Report on the conduct of objective monitoring of mineral water and mud in the fields developed by LLC "Krasnodar GGRES"]. *Psekupskoe mestorozhdenie mineralnykh vod* [Psekupskoe mineral waters], GGRES, 2010.

10. Perelman A. I. Geokhimiya [Geochemistry]. Moscow, Vysshaya shkola, 1989, 528 p.

11. Plotnikova G. N. Zakonomernosti rasprostraneniya i formirovaniya sulfidnykh vod SSSR [Patterns of distribution and the formation of sulfide waters of the USSR]. *Voprosy gidrogeologii mineralnykh vod* [Questions hydrogeology of mineral water], Moscow, 1977, pp. 59–95.

12. Stoyanov T. F., Pankova A. A. Otchet po rezultatam gidrogeologicheskikh rabot, provedennykh na kurorte Goryachiy klyuch v 1964–66 gg. s podschetom zapasov po sostoyaniyu na 14. 04. 66. [Report on hydrogeological work conducted on the Hot Spring Resort in 1964–66 years. with reserves estimated at 14. 04. '66], Moscow, 1967.

13. Chernousova Ye. Yu., Dorokhova V. V., Gridneva Ye. V., Grabovich M. Yu., Dunina G. A., Akimov V. N. *Thiothrix caldifontis* sp. nov. i *Thiothrix lacustris* sp. nov. – novye predstaviteli roda *Thiothrix*, i rol vosstanovlennykh soedineniy sery v dissimilyatsionnykh protsessakh [*Thiothrix caldifontis* sp. nov. and *Thiothrix lacustris* sp. nov. – new members of the genus *Thiothrix*, and the role of sulfur compounds in dissimilyatsionnykh processes]. *Simbioz Rossiya 2009* [Symbiosis Russia 2009], Perm, 2009, pp. 84–85.

14. Yarotskiy L. A. Osnovnye zakonomernosti obrazovaniya serovodorodnykh vod [Basic laws sulfide waters]. *Voprosy formirovaniya i rasprostraneniya mineralnykh vod SSSR* [Problems of formation and distribution of mineral waters of the USSR], Moscow, Ministerstvo zdravookhraneniya SSSR [Ministry of Health], 1960, pp. 141–168.

15. Yakhontova L. K., Grubev A. P., Nesterovich L. G. Mekhanizm okisleniya pirita [Mechanism of oxidation of pyrite]. *Geol. rudn. Mestorozhd* [Geol. PFUR. deposits], 1979, Vol. 21, no. 2, pp. 63–68.