



ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Краткое сообщение

УДК 551.351

EDN: JWNZJH

DOI: 10.21285/2686-9993-2023-46-3-315-320



Методика опытно-фильтрационных исследований (выпусков) из высоконапорных межсолевых продуктивных залежей промышленных литиеносных рассолов галогенно-карбонатной гидрогеологической формации Сибирской платформы

Ю.К. Ланкин^а, А.Г. Вахромеев^{бв}

^аТерриториальный центр государственного мониторинга состояния недр по Иркутской области
Сибирского регионального центра государственного мониторинга состояния недр –
филиала ФГБУ «Гидроспецгеология», г. Иркутск, Россия

^аКрасноярский филиал ФГБУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых»
в г. Иркутске, г. Иркутск, Россия

^бИнститут земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

^бИркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

^бИркутский филиал ООО «РН-Бурение», г. Иркутск, Россия

Резюме. По сути все наши знания о промышленных рассолах Сибирской платформы получены попутно при бурении скважин на нефть и газ. Целевые же исследования рассолоносных горизонтов в глубоких скважинах на углеводороды по существу не проводятся. Одной из причин этого является высокая суточная ставка в цикле бурения, и, как следствие, жесткое ограничение в проведении дополнительных работ, не связанных с бурением. Между тем от данных гидродинамических исследований прямо зависят геологические результаты: прогноз, оценка расчетных параметров продуктивных интервалов разреза, методология разведки и последующего освоения залежей и месторождений промышленных металлоносных рассолов с аномально высоким пластовым давлением. Сегодня перед крупными компаниями-недропользователями юга Иркутской области поставлена цель определиться с методикой кратковременных опытных выпусков, обеспечивающей корректные исходные данные к подсчету запасов промышленных рассолов природных межсолевых карбонатных трещинных резервуаров галогенно-карбонатной гидрогеологической формации. Для достоверного определения коэффициента водопроводимости в процессе опытно-фильтрационных работ необходимо добиться квазистационарного режима фильтрации. Оптимальным является прерывистый режим выпуска рассола с постоянным дебитом в одинаковые промежутки времени с постоянной записью изменения давления системой телеметрии. Авторами рассмотрены результаты опытных выпусков, реализованные на Знаменском участке Ангара-Ленского месторождения промышленных литиеносных рассолов. Предложена методика выпусков, которая позволяет выполнить опытно-фильтрационные работы в сжатые сроки и применима в условиях строительства скважин для добычи углеводородов. Исследования по предлагаемой методике могут проводиться недропользователями в случае неожиданного вскрытия забоем скважины рапопроявляющего пласта с аномально высоким пластовым давлением флюидной системы. Реализация опытно-фильтрационных работ по методике позволяет обосновать ресурсную базу промышленных рассолов, а также лития, рубидия, цезия, брома, йода и других редких, рассеянных элементов и минеральных солей в них.

Ключевые слова: гидроминеральное сырье, литий, опытно-фильтрационные работы, запасы промышленных вод

Для цитирования: Ланкин Ю.К., Вахромеев А.Г. Методика опытно-фильтрационных исследований (выпусков) из высоконапорных межсолевых продуктивных залежей промышленных литиеносных рассолов галогенно-карбонатной гидрогеологической формации Сибирской платформы // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 3. С. 315–320. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-3-315-320>. EDN: JWNZJH.

APPLIED MINING AND PETROLEUM FIELD GEOLOGY,
GEOPHYSICS, MINE SURVEYING AND SUBSOIL GEOMETRY

Brief report

**Methodology of experimental filtration studies (releases)
from high-pressure inter-salt productive deposits of industrial
lithium-bearing brines of the hydrogeological halogen-carbonate
formation of the Siberian platform**Yury K. Lankin^a, Andrey G. Vakhromeev^{b,c}

^aTerritorial Center for State Monitoring of the Subsoil State in the Irkutsk Region
of the Siberian Regional Center for State Monitoring of the Subsoil State
(branch of the Federal State Budget Institution "Special Hydrogeology"), Irkutsk, Russia

^aKrasnoyarsk branch of the Federal State Budgetary Institution "State Commission for Mineral Reserves"
in Irkutsk, Irkutsk, Russia

^bInstitute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

^bIrkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

^bLLC "RN-Drilling", Irkutsk Branch, Irkutsk, Russia

Abstract. It is known that all our knowledge about the industrial brines of the Siberian platform was obtained while drilling wells for oil and gas whereas targeted studies of brine-bearing horizons in deep wells for hydrocarbons are hardly conducted. One of the reasons is the high daily rate in the drilling cycle resulting in carrying out strictly limited additional works not related to drilling. Meanwhile, the geological results including the forecast, the estimation of the calculated parameters of the section productive intervals, the exploration and development methodology of deposits of industrial metal-bearing brines with abnormally high reservoir pressure directly depend on the data of the hydrodynamic studies. Today, large companies – subsurface users of the south of the Irkutsk region are tasked to determine the methodology of short-term pilot releases, which provides correct input data for reserve calculation of industrial brines of natural inter-salt carbonate fractured reservoirs of the hydrogeological halogen-carbonate formation. To determine a reliable permeability coefficient under the experimental filtration work, it is necessary to achieve a quasi-stationary filtration mode. The optimal mode is an intermittent one of brine release with a constant flow rate at the same time intervals with a continuous recording of pressure changes by the telemetry system. The results of pilot releases implemented at the Znamenskiy site of the Angara-Lena deposit of industrial lithium-bearing brines have been considered. The release methods enabling the performance of experimental filtration work in a short time, and applicable in well construction for hydrocarbon production have been proposed. Surface users can carry out the research using the proposed methodology in the case when the well bottom unexpectedly opens a brine formation with an abnormally high reservoir pressure of the fluid system. The implementation of experimental filtration work employing the described methods allows the subsoil users to substantiate the resource base of industrial brines and the elements in them including lithium, rubidium, cesium, bromine, iodine and other rare, trace elements and mineral salts.

Keywords: hydromineral raw materials, lithium, experimental filtration works, industrial water reserves

For citation: Lankin Yu.K., Vakhromeev A.G. Methodology of experimental filtration studies (releases) from high-pressure inter-salt productive deposits of industrial lithium-bearing brines of the hydrogeological halogen-carbonate formation of the Siberian platform. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2023;46(3):315-320. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-3-315-320>. EDN: JWNZJH.

Введение

Основным методом гидрогеологических исследований являются опытно-фильтрационные работы, включающие различные виды опытов, откачки и выпуски из скважин [1–4]. Они проводятся с целью определения основных гидрогеологических параметров, изучения граничных условий водоносных горизон-

тов в плане и разрезе, а также определения оптимальной производительности скважин, подсчета запасов подземных вод и др. Непосредственно результатом откачек / выпусков является получение основных гидрогеологических параметров, к которым относятся коэффициенты фильтрации, водопроницаемости, пьезо- и уровнепроводности, водоотдачи,



упругой водоотдачи и упругоэластичности. Основные гидрогеологические параметры отражают фильтрационные, упругие и емкостные свойства водоносных горизонтов в зависимости от запасов и ресурсов подземных вод.

Глубокие горизонты, содержащие богатые литием рассолы (промышленные подземные воды или гидроминеральное сырье) характеризуются скоплением в них упругих запасов¹. Упругие запасы [3] представляют собой объем напорных вод, высвобождающийся при вскрытии водоносного пласта бурением и снижении пластового давления в нем при откачке (либо самоизливе) за счет объемного расширения воды и уменьшения порового пространства самого пласта. В Ангара-Ленском артезианском бассейне залежи гидроминерального сырья локализованы в межсолевых каверново-трещинных [5–7] рассолоносных горизонтах галогенно-карбонатной (соленосной) толщи осадочной толщи с формированием аномально высоких [8–11] пластовых давлений (АВПД). В соответствии с пластовым давлением в водонапорной системе залежи уровень подземных вод (напор) глубоких горизонтов с АВПД устанавливается выше поверхности земли на сотни и первые тысячи метров над поверхностью земли [5, 9, 10]. Глубокие продуктивные рассолоносные горизонты с АВПД не имеют связи как с надсолевыми, так и с подсолевыми горизонтами, куда могло бы осуществляться перетекание рассолов. Они ограничены сверху и снизу водоупорами, однако их граничные условия по латерали обычно неизвестны и могут иметь площадь распространения в десятки и сотни квадратных километров [1–3, 10, 11]. Продуктивные горизонты рассолов обычно имеют небольшую мощность, вскрываются одиночными скважинами, область захвата которыми промышленных подземных вод при их добыче незначительна по сравнению с площадью их распространения [1–3, 8–10, 12]. В связи с этим на этапах поисково-оценочных работ на гидроминеральное сырье природная гидрогеологическая модель участков недр с одиночными скважинами может схематизироваться как неограниченный водоносный пласт [1–3, 12].

Граничные условия пласта по площади определяются наземными геофизическими исследованиями [5].

Материалы и методы исследования

Внешнее питание продуктивных горизонтов рассолов с АВПД сверху и снизу отсутствует. Это значит, что от мощности продуктивного водоносного горизонта зависят область захвата одиночными скважинами промышленных вод, объемы их ресурсов и запасов. При вскрытии высоконапорного водоносного пласта из одиночных скважин может происходить излив рассола с весьма значительным дебитом. При этом через какое-то время он может уменьшиться или прекратиться с падением напора. Так как упругие запасы характеризуются объемом воды, обеспечивающимся снижением пластового давления в нем при откачке (самоизливе), объемным расширением воды и уменьшением пустотного пространства самого пласта, опытно-фильтрационные работы необходимо выполнять на двух-трех ступенях понижения. Это связано с тем, что при значительном падении пластового давления может уменьшаться продуктивность водоносного горизонта [2]. Каждая ступень понижения будет характеризоваться своим коэффициентом водопроводимости на расчетную величину снижения пластового давления, что необходимо учитывать при гидродинамическом подсчете запасов. Перед исследованиями на режимах пишут начальную кривую восстановления давления, после режимов – конечную кривую восстановления давления, а затем отбирают глубинные пробы рассолов. Подсчет запасов также необходимо делать гидравлическим, совместным гидравлическим и гидродинамическим методами [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Для достоверного определения коэффициента водопроводимости в процессе опытно-фильтрационных работ необходимо добиться квазистационарного режима фильтрации [1,

¹ Аузина Л.И., Ланкин Ю.К., Вахромеев А.Г. Опытные-фильтрационные исследования. Основные виды работ. Методы обработки: учеб. пособие. Иркутск: ИРНИТУ, 2016. 120 с.

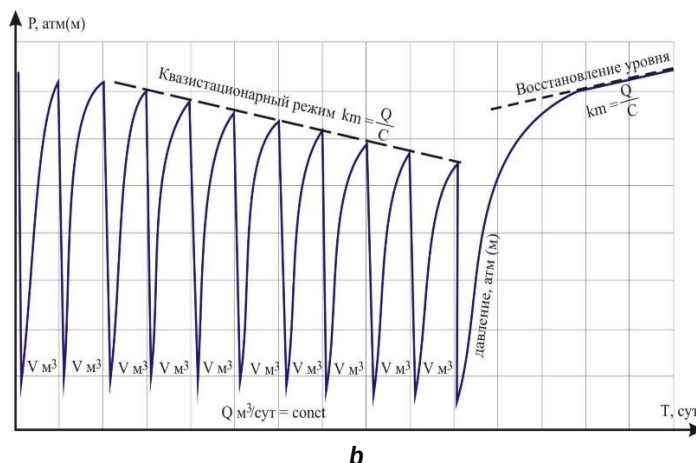
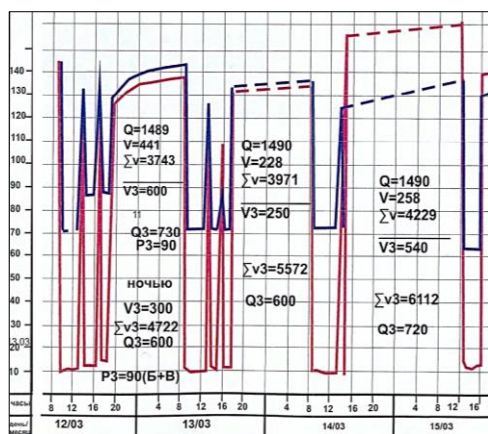


Схема проведения выпуска в прерывистом режиме:

а – на скважине 3А Знаменской площади (по А.Г. Вахромееву, 2015 [5]);

b – рекомендуемая авторами

Diagram of release in the intermittent mode:

a – on the 3A Znamenskaya Square well (according to A.G. Vakhromeev, 2015 [5]);

b – recommended by the authors

3, 4, 12, 13], чего можно достигнуть лишь при постоянном дебите проводимого опыта. В скважинах с АВПД оптимальным вариантом является прерывистый режим экспресс-выпуска рассолов. Необходимо в одинаковые промежутки времени отбирать определенный объем рассолов с постоянной записью изменения давления системой телеметрии. Схема проведения опыта приведена на рисунке.

Заключение

Предложенная методика опытных выпусков требует меньшего времени исследований по сравнению с известными, позволяет добиться квазистационарного режима фильтрации и обеспечивает недропользователям корректные исходные данные к подсчету запасов промышленных металлоносных рассолов Сибирской платформы.

Список источников

1. Бондаренко С.С. Изучение и оценка ресурсов минеральных, термальных и промышленных вод. М.: Недра, 1975. 243 с.
2. Бондаренко С.С., Куликов Г.В. Подземные промышленные воды. М.: Недра, 1984. 358 с.
3. Методы поисков, разведки и оценки прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов промышленных вод / сост. С.С. Бондаренко, Н.В. Ефремочкин, Л.В. Боровский, В.П. Стрепетов. М.: Недра, 1988. 96 с.
4. Боровский Б.В. Самсонов В.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М.: Недра, 1973. 304 с.
5. Вахромеев А.Г. Закономерности формирования и локализации месторождений промышленных рассолов в карбонатных каверново-трещинных резервуарах кембрия юга Сибирской платформы (по данным глубокого бурения, испытания скважин и полевой геофизики: монография). Иркутск: ИРНТУ, 2015. 247 с.
6. Голф-Рахт Т.Д. Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов / пер. с англ. М.: Недра, 1986. 608 с.
7. Денк С.О. Проблемы трещиноватых продуктивных объектов. Пермь: Электронные издательские системы, 2004. 334 с.
8. Алексеев С.В., Алексеева Л.П., Вахромеев А.Г., Владимиров А.Г., Волкова Н.И. Литиевые подземные воды Иркутской области и Западной Якутии // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20. № 1. С. 27–33. EDN: OWLSAT.
9. Алексеев С.В., Вахромеев А.Г., Коцупало Н.П., Рябцев А.Д. Промышленные рассолы Сибирской платформы: гидрогеология, бурение и добыча, переработка, утилизация: монография. Иркутск: Географ, 2014. 162 с.
10. Анциферов А.С. Ресурсы уникальных хлоридных кальциевых рассолов Сибирской платформы и проблемы их промышленного освоения // Разведка и охрана недр. 2004. № 8-9. С. 30–32.
11. Кузьмин С.Б., Вахромеев А.Г. Геоэкологические исследования на Лено-Ангарском плато. Иркутск: ИрГТУ, 2003. 122 с.



12. Методы изучения и оценка ресурсов глубоких подземных вод / ред. С.С. Бондаренко, Г.С. Вартанян. М.: Недра, 1986. 479 с.
13. Боचेвер Ф.М. Расчеты эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра, 1968. 326 с.

References

1. Bondarenko S.S. *Study and assessment of mineral, thermal and industrial water resources*. Moscow: Nedra; 1975, 243 p. (In Russ.).
2. Bondarenko S.S., Kulikov G.V. *Industrial underground waters*. Moscow: Nedra; 1984, 358 p. (In Russ.).
3. Bondarenko S.S., Efremochkin N.V., Borevskii L.V., Strepetov V.P. *Prospecting, exploration and assessment methods of industrial water forecast resources and operational reserves*. Moscow: Nedra; 1988, 96 p. (In Russ.).
4. Borevskii B.V., Samsonov V.G., Yazvin L.S. *Pumping data-based methods to determine aquifer parameters*. Moscow: Nedra; 1973, 304 p. (In Russ.).
5. Vakhromeev A.G. *Patterns of industrial brine deposits formation and localization in Cambrian carbonated vuggy-fractured rocks reservoir of South Siberian Plate (from data of the deep boring drilling, test of mining holes and field geophysics)*. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2015, 247 p. (In Russ.).
6. Van Golf-Racht T.D. *Fundamentals of fractured reservoir engineering*; 1982, 732 p. (Russ. ed.: *Osnovy neftepromyslovoi geologii i razrabotki treshchinovatykh kolektorov*. Moscow: Nedra; 1986, 608 p.).
7. Denk S.O. *Issues of fractured productive objects*. Perm: Elektronnye izdatel'skie sistemy; 2004. 334 p. (In Russ.).
8. Alekseev S.V., Alekseeva L.P., Vakhromeev A.G., Vladimirov A.G., Volkova N.I. Lithium-bearing ground waters of the Irkutsk Region and West Yakutia. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2012;20(1):27-33. (In Russ.). EDN: OWLSAT.
9. Alekseev S.V., Vakhromeev A.G., Kotsupalo N.P., Ryabtsev A.D. *Industrial brines of the Siberian platform: hydrogeology, drilling and production, processing, disposal*. Irkutsk: Geograf; 2014, 162 p. (In Russ.).
10. Antsiferov A.S. Resources of unique calcium chloride brines of the Siberian platform and problems of their industrial development. *Razvedka i okhrana neдр = Prospect and protection of mineral resources*. 2004;8-9:30-32. (In Russ.).
11. Kuz'min S.B., Vakhromeev A.G. *Geoeological research on the Lena-Angara plateau*. Irkutsk: Irkutsk State Technical University; 2003, 122 p. (In Russ.).
12. Bondarenko S.S., Vartanyan G.S. *Research and assessment methods of deep groundwater resources*. Moscow: Nedra; 1986. 479 p. (In Russ.).
13. Bochever F.M. *Calculations of groundwater operational reserves*. Moscow: Nedra; 1968, 326 p. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the authors



Ланкин Юрий Константинович,

руководитель,
Территориальный центр государственного мониторинга состояния недр
по Иркутской области Сибирского регионального центра государственного
мониторинга состояния недр – филиала ФГБУ «Гидроспецгеология»,
г. Иркутск, Россия,
главный геолог,
Красноярский филиал ФГБУ «Государственная комиссия
по запасам полезных ископаемых» в г. Иркутске,
г. Иркутск, Россия,
yur-lankin@yandex.ru

Yury K. Lankin,

Head in Charge,
Territorial Center for State Monitoring of the Subsoil State in the Irkutsk Region
of the Siberian Regional Center for State Monitoring of the Subsoil State
(branch of the Federal State Budget Institution "Special Hydrogeology"),
Irkutsk, Russia,
Chief Geologist,
Krasnoyarsk branch of the Federal State Budgetary Institution
"State Commission for Mineral Reserves" in Irkutsk,
Irkutsk, Russia,
yur-lankin@yandex.ru

**Вахромеев Андрей Гелиевич,**

доктор геолого-минералогических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник,
заведующий лабораторией геологии нефти и газа,
Институт земной коры СО РАН,
г. Иркутск, Россия,
профессор кафедры нефтегазового дела,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
главный специалист геологического отдела,
Иркутский филиал ООО «РН-Бурение»,
г. Иркутск, Россия,

✉ andrey_igp@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0712-6568>**Andrey G. Vakhromeev,**

Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Professor
Leading Researcher,
Head of the Oil and Gas Laboratory,
Institute of the Earth's Crust SB RAS,
Irkutsk, Russia,
Professor of the Department of Oil and Gas Engineering,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
Chief Specialist of the Geology Department,
LLC "RN-Drilling", Irkutsk Branch,
Irkutsk, Russia,

✉ andrey_igp@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0712-6568>**Вклад авторов / Contribution of the authors**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 17.08.2023; одобрена после рецензирования 05.09.2023; принята к публикации 14.09.2023.

The article was submitted 17.08.2023; approved after reviewing 05.09.2023; accepted for publication 14.09.2023.