УДК 504.06:550.822

Опыт и методика определения параметров глубоких водоносных горизонтов для оценки запасов промышленных подземных вод на юге Сибирской платформы

Ю.К. Ланкин[1], **А.Г. Вахромеев**[1,2], М.А. Данилова[2], А.И. Кураничева[1], С.А. Сверкунов[1,2]

[1]*Институт земной коры, Иркутск, Россия*
[2]*Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, Россия*
andrey_igp@mail.ru

Опираясь на опыт испытания гидрогеологических скважин на промышленные рассолы глубоких горизонтов осадочного чехла на юге Сибирской платформы, и анализируя данные выполненных ранее ОФР, авторы рассмотрели методологию опытно-фильтрационных работ на объектах с аномально высоким пластовым давлением (АВПД). Сделан анализ данных гидродинамических исследований скважин в рассолоносных межсолевых сложных карбонатных трещинных коллекторах. Выявлены причины отрицательных результатов освоения скважин в условиях вскрытых бурением рассолоносных АВПД-систем.

Experience and Methodology for Determining the Parameters of Deep Aquifers and Horizons to Assess the Reserves of Industrial Groundwater in the Southern Part of the Siberian Platform

Yuriy K. Lankin[1], **Andrey G. Vakhromeev** [1,2], Maria A. Danilova [2], Anna I. Kuranicheva[1], Sergey A. Sverkunov[1,2]

[1]*Institute of the Earth's Crust, Irkutsk, Russia*
[2]*Irkutsk State Technical University, Irkutsk, Russia*

Based on the experience of testing hydrogeological wells for industrial brines in deep horizons of the sedimentary cover in the south of the Siberian Platform, and by analyzing the data from previously conducted field tests, the authors examined the methodology of experimental filtration work at sites with abnormally high reservoir pressure (AHP). An analysis was carried out of the data from hydrodynamic studies of wells in brine-bearing inter-salt complex carbonate fractured reservoirs. The reasons for the negative results of well development in conditions where brine-bearing AHP systems were encountered during drilling were identified.

Сибирская платформа является крупнейшей гидроминеральной провинцией мира и характеризуется почти повсеместным распространением подземных промышленных рассолов, которые отличаются аномально высокими концентрациями редких элементов, щелочных металлов и минеральных солей. По качеству гидроминеральное сырье является уникальным для России, и не уступает разрабатываемым месторождениям зарубежных стран. Однако целевые исследования рассолоносных горизонтов в глубоких скважинах на углеводородное сырье, по существу, не проводятся. Одной из причин этого является высокая стоимость бурения, и, как следствие, жесткое ограничение в проведении дополнительных работ, не связанных с бурением.

В процессе поисковых и разведочных работ промышленные подземные воды (гидроминеральное сырье) на Юге Сибирской платформы вскрыты значительным количеством скважин в пределах карбонатно-галогенной формации нижнекембрийских отложений (карбонатно-галогенная гидрогеологическая формация). Эти отложения осложнены дислокациями соляной тектоники, и формированием локальных структурно-вещественных неоднородностей, которое вызвано разнонаправленными мощными тектоническими напряжениями осадочной толщи. При этом, кроме образования пликативных дислокаций соляной тектоники, за счет высоких напряжений происходило выдавливание рассолов в карбонатные межсолевые пласты сопровождавшееся природными гидроразрывами [1]. Этот процесс способствовал образованию обновленного трещинного

межсолевого карбонатного коллектора, вмещающего высоконапорные подземные воды (рассолы) в пределах локальных структур с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД). Напоры их практически повсеместно на сотни и даже первые тысячи метров выше поверхности земли. Они являются аномальными по сравнению с напорами ниже залегающей терригенной гидрогеологической формации венда и рифея.

Подземные воды в осадочной толще платформы распространены в виде общих ресурсов, которые слагаются из статических, динамических и упругих запасов подземных вод [2–4]. Упругие запасы представляют собой объем напорных вод, высвобождающийся при вскрытии водоносного пласта и снижении пластового давления в нем при откачке (самоизливе) за счет объемного расширения воды и уменьшении порового пространства самого пласта. Методика проведения опытно-фильтрационных работ (ОФР) продуктивных водоносных горизонтов упругими запасами отработана недостаточно. В основу расчета гидрогеологических параметров заложена обработка данных достижения квазистационарного режима фильтрации к скважинам или восстановления уровня после испытаний, являющегося приближенным его аналогом.

В процессе поисково-оценочных буровых работ на углеводородное сырье при вскрытии рассолов с АВПД изредка фиксировались лишь кратковременные показатели с восстановлением давления. Полученные при этом гидрогеологические параметры являются весьма приближенными. Впервые специализированные испытания межсолевого глубокого продуктивного водоносного горизонта проводились на Иркутском, позже на Ангаро-Ленском месторождении промышленных подземных вод по скважине 3А Знаменской [1]. Позже проведены специализированные испытания еще четырех скважин, вскрывших глубокие горизонты. По некоторым из них во время ОФР получен квазистационарный режим фильтрации. Методика проведения испытаний глубоких горизонтов [2–4, 5, 6] отличается от ОФР, проводимых в скважинах, где приток воды обеспечен статическими и динамическими запасами. При выпусках подземных вод из скважин с АВПД весьма сложно выдержать постоянный дебит. В связи с этим разработана методика проведения выпусков в прерывистом режиме [5], когда за одинаковые промежутки времени предложено отбирать одинаковый объем воды (рис. 1).

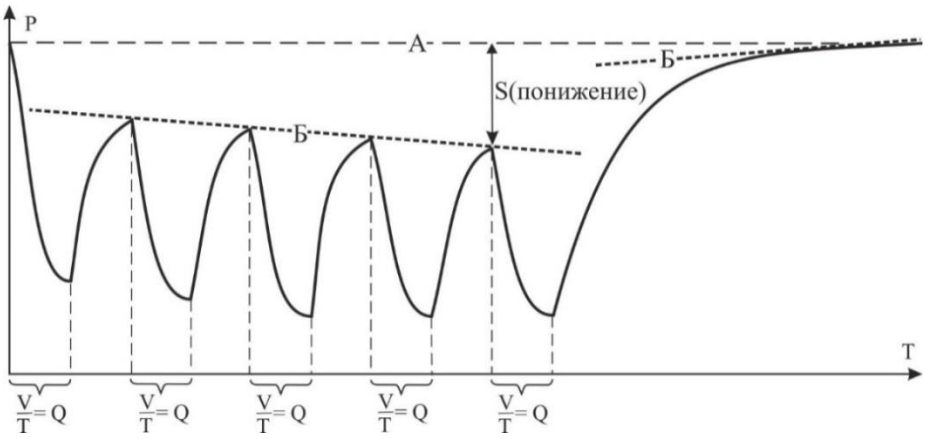


Рисунок 1 – Схема проведения ОФР в прерывистом режиме [5].

Величина не полного восстановления уровня подземных вод до статического при каждом цикле выпуска, показанного на графике линией (А), будет являться понижением (S) при постоянном дебите. Желательно получить квазистационарный режим снижения уровня, показанного линией (Б), приближенным аналогом к которому является линия при восстановлении уровня. На рис. 2 показан расчет коэффициента водопроводимости графоаналитическим методом Тейса-Джейкоба по результатам квазистационарного режима фильтрации, достигнутого при испытании одной из глубоких скважин в течение 6 суток.

По результатам ОФР в глубоких скважинах, вскрывших рассолы, проведенных на разных ступенях снижения давления (понижения уровня), в количестве от двух до пятнадцати, составлялись индикаторные графики зависимости изменения дебита и

коэффициента водопроводимости от понижения уровня. Установлено, что при снижении напора (увеличении понижения уровня) наблюдалось уменьшение дебита и коэффициента водопроводимости (рис. 3).

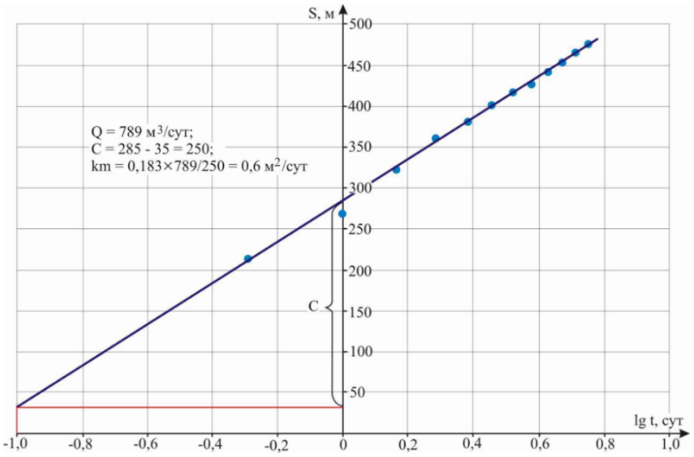


Рисунок 2 – Определение коэффициента водопроводимости графоаналитическим методом

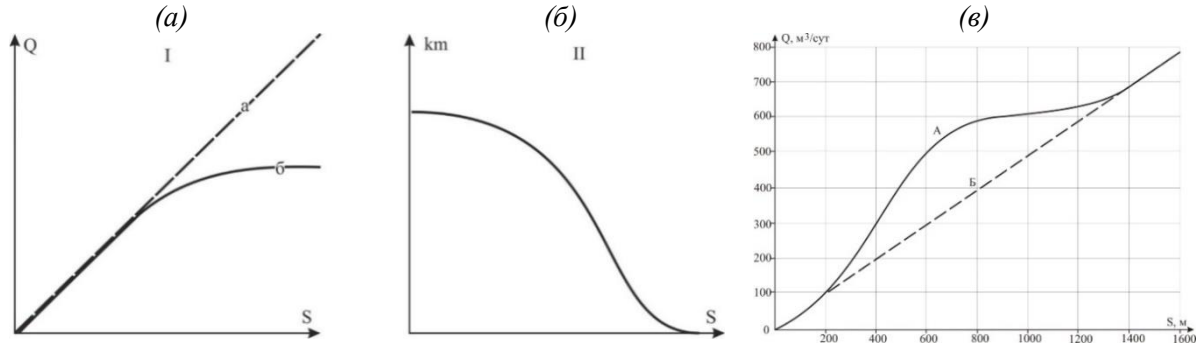


Рисунок 3 – а), б) Индикаторные графики – параметр дебит Q и km от величины понижения S; в) график зависимости дебита Q от понижения S по данным испытания скв. 3А Знаменская

На графике (I) показаны закономерности изменения дебита от понижения уровня воды в процессе ОФР. Прямая линия (а) отражает квазистационарный режим фильтрации подземных вод к скважине, который характерен для напорных вод динамических запасов в зоне интенсивного водообмена. Кривая линия (б) отражает ухудшение емкостных и фильтрационных свойств при эксплуатации скважиной упругих запасов глубоких горизонтов с трещинным типом коллектора.

На графике (II) отражено изменение водопроводимости продуктивного горизонта с упругими запасами рассолов. При увеличении понижения уменьшается водопроводимость продуктивного пласта [7]. Поэтому в процессе проведеня ОФР нельзя добиваться максимального понижения уровня, при котором обновленный трещинный коллектор может «закрыться», либо внедрять новые технологии [8]. Такой печальный опыт уже фиксировался в отдельных случаях. Проведение испытаний глубоких скважин должно проводиться на нескольких ступенях понижения, для того, чтобы определить его критическую величину [7], когда необратимо начнет уменьшаться водопроводимость продуктивного пласта.

Обводненность межсолевых карбонатных отложений карбонатно-галогенной гидрогеологоической формации неоднородна, является спорадической, вероятно связана с обновленным трещинным коллектором природных послойных гидроразрывов. Скважинами вскрываются отдельные зоны гидроразрывов, которые могут имень незначительную мощность. Однако они обычно распространены по всей межсолевой карбонатной толще в зависимости от распределения тектонических напряжений. Зоны гидроразрывов могут быть изолированы друг от друга или иметь гидравлическую связь. Оба этих случая наблюдались в процессе проведения ОФР. Например, при испытании скважины 3А при достижении

определенной величины понижения уровня, резко начал уменьшатся дебит, однако за счет перетекания этот процесс не получил дальнейшего развития (рис. 4).

По результатам интерпретации испытаний скважин, вскрывших глубокие горизонты установлено (см. рис. 4а), что рассолоносный горизонт может иметь коллектор с эффектом «двойной пористости» [9], что также отражается в уменьшении водопроводимости водовмещающих пород [1, 7] от увеличения понижения уровня (рис. 4б).

(а) *(б)*

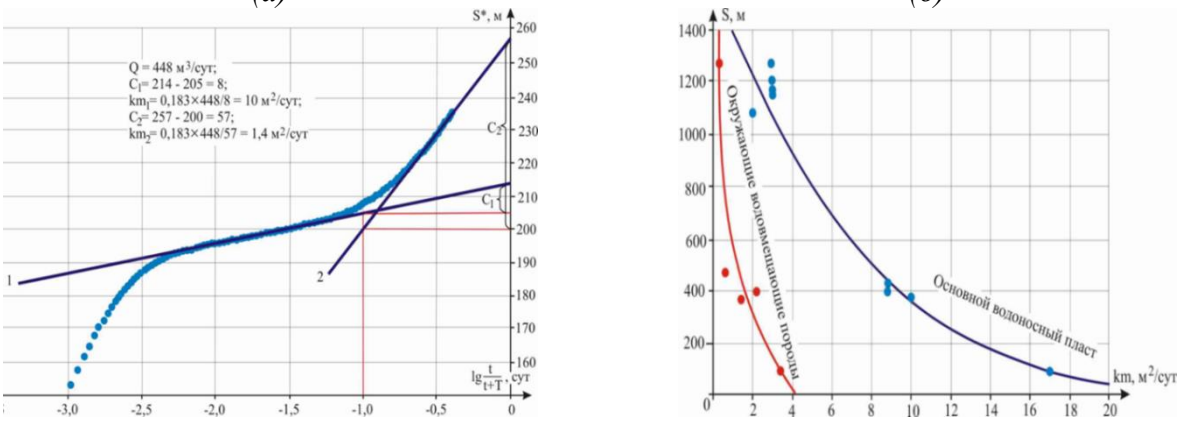


Рисунок – 4 а) Один из графиков, отражающий эффект «двойной пористости» продуктивного рассолоносного горизонта; б) график изменения водопроводимости от увеличения понижения уровня в условиях коллеторра с эффектом «двойной пористости»

Для подсчета запасов и прогнозных ресурсов рассолов по результатам испытания глубоких горизонтов нет необходимости разрабатывать новую методику. Подсчеты выполнялись с комбинацией использования традиционных методов: гидравлического; совместного гидравлического и гидродинамического; гидродинамического [1, 2, 4–6, 10].

Список литературы

1. *Вахромеев А.Г.* Закономерности формирования и локализации месторождений промышленных рассолов в карбонатных кавернозно-трещинных резервуарах кембрия юга Сибирской платформы (по данным глубокого бурения, испытания скважин и полевой геофизики: монография). Иркутск: ИРНИТУ. 2015. 247 с.

2. *Бондаренко С.С., Куликов Г.В.* Подземные промышленные воды. М.: Недра, 1984. 358 с.

3. *Боревский Б.В.* Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек / *Б.В. Боревский, В.Г. Самсонов, Л.С. Язвин* // М.: Недра, 1973. 304 с.

4. Опытно-фильтрационные исследования. Основные виды работ. Методы обработки / *Л.И. Аузина, Ю.К. Ланкин, А.Г. Вахромеев.* Учеб. Пособие. Иркутск: Изд-во ИрНИТУ. 2016. 120 с.

5. *Ланкин Ю.К.* Методика опытно-фильтрационных исследований (выпусков) из высоконапорных межсолевых продуктивных залежей промышленных литиеносных рассолов галогенно-карбонатной гидрогеологической формации Сибирской платформы / *Ю.К. Ланкин, А.Г. Вахромеев* // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 3 (84). С. 315-320.

6. Методические рекомендации по оценке запасов промышленных подземных вод на Ковыктинском участке недр // *А.В. Корзун, А.Г. Вахромеев, О.Л. Павленко, и др.* ЕСОЭН, ООО «Газпром ВНИИГАЗ». 2023. 46 с.

7. *Белонин М.Д.* Аномально высокие пластовые давления. Происхождение, прогноз, проблемы освоения залежей углеводородов. / *М.Д. Белонин, В.И. Славин, Д.В. Чилингар* // СПб.: Недра, 2005. 324 с.

8. Патент РФ № 2755600. Экспрессный способ закрепления естественных и искусственных трещин в призабойной зоне продуктивного пласта в процессе первичного вскрытия бурением. // Опубл. 17.09.2021 Бюл. № 26.

9. *Голф-Рахт Т.Д.* Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов / пер. с англ. М.: Недра. 1986. 608 с.

10. *Бочевер Ф.М.* Расчеты эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра, 1968. 326 с.