

## СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ С ЗАСОЛОНЕННЫМИ КОЛЛЕКТОРАМИ (НА ПРИМЕРЕ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ РЕГИОНОВ БЕЛАРУСИ И РОССИИ)

**В.Д. Порошин**

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь  
e-mail: poroshin-52@mail.ru*

*Рассмотрены состояние и проблемы разработки нефтяных месторождений в засоленных коллекторах Припятского прогиба и Сибирской платформы. Показана роль гидрохимического мониторинга при разработке таких залежей, сформулированы актуальные задачи по освоению скважин и регулированию разработки нефтяных месторождений в засоленных коллекторах.*

**Ключевые слова:** нефть, месторождения, засоленные коллекторы, Припятский прогиб, Сибирская платформа.

## THE STATE AND PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF HYDROCARBON FIELDS IN SALINIZED RESERVOIRS (ON THE EXAMPLE OF OIL-AND-GASBEARING REGIONS OF BELARUS AND RUSSIA)

**V.D. Poroshin**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus*

*The state and problems of development of oil fields in salinized reservoirs of the Pripyat Trough and the Siberian Platform have been considered. The role of hydrochemical monitoring in the development of such deposits is shown, and actual tasks are formulated for the development of wells and the regulation of the development of oil deposits in salinized reservoirs.*

**Keywords:** oil, fields, salinized reservoirs, the Pripyat Trough, the Siberian Platform.

Под засоленными коллекторами понимаются горные породы, пустотное пространство которых частично заполнено вторичным (катагенетическим) галитом. При взаимодействии с закачиваемыми для поддержания пластового давления в нефтегазонасыщенные пласты пресными или слабоминерализованными водами галит интенсивно растворяется. В результате этого процесса емкостные, фильтрационные и некоторые другие петрофизические свойства пород претерпевают существенные изменения, что необходимо учитывать при освоении скважин, а также при подсчете запасов углеводородов (далее – УВ), контроле, моделировании и регулировании разработки месторождений нефти и газа.

На территории Беларуси засоленные породы-коллекторы широкое распространение получили в подсолевых, межсолевых и внутрисолевых отложениях девона и верхнего протерозоя Припятской нефтегазонасыщенной области (далее – НГО), на территории Российской Федерации – в подсолевых отложениях венда и нижнего кембрия Лено-Тунгусской нефтегазонасыщенной провинции (далее – НГП) юга Сибирской платформы. Припятский прогиб, как известно, является единственным нефтегазонасыщенным регионом в Беларуси, а Восточно-Сибирский регион занимает по концентрации в нем углеводородов второе место в Российской Федерации (после Западно-Сибирского); извлекаемые запасы и ресурсы углеводородов (далее – УВ) в нем оцениваются в несколько десятков миллиардов тонн условного топлива [4].

Начальные этапы активного проведения геологоразведочных работ и открытия месторождений углеводородов в названных регионах связаны с шестидесятыми-восемидесятыми годами прошлого столетия, но степень освоенности ресурсов нефти и газа к настоящему времени в них существенно различается. Так, Припятская НГО характеризуется высокой степенью освоенности. В настоящее время все крупные и средние по запасам месторождения здесь находятся на поздних стадиях разработки, введено в разработку большинство высоко- и среднепродуктивных мелких месторождений и залежей нефти. Открытые в последние два десятилетия месторождения и залежи относятся к категории мелких, а их извлекаемые запасы,

как правило, не превышают одного миллиона тонн. Освоенность же начальных суммарных ресурсов Лено-Тунгусской НГП остается крайне низкой, что можно объяснить отсутствием до недавнего времени развитой нефтегазотранспортной системы. К настоящему времени здесь введен в действие магистральный нефтепровод Восточная Сибирь – Тихий океан, активно ведутся работы по строительству аналогичного газопровода Сила Сибири, на первой стадии разработки находятся несколько крупных месторождений, и только одно, Верхнечонское, нефтегазоконденсатное месторождение соответствует второй стадии освоения. Вместе с этим активно проводятся поисково-разведочные работы на нефть и газ, открываются все новые и новые залежи и месторождения, в том числе крупные по запасам

Для рассматриваемых регионов характерна определенная схожесть геолого-гидрогеологических условий, определивших региональное развитие в продуктивных комплексах засоленных пород. Это наличие в осадочном разрезе мощных и достаточно выдержанных по простиранию соленосных толщ, а также повсеместное распространение в нефтегазоносных комплексах и горизонтах высокоминерализованных хлоркальциевых рассолов с предельной степенью их насыщенности по галиту [8]. Вместе с этим укажем на более высокую минерализацию пластовых рассолов продуктивных горизонтов и более значительную степень галитизации флюидовмещающих пород юга Сибирской платформы.

Данные о наличии засоленных коллекторов в продуктивных отложениях Припятского прогиба известны с начальных этапов освоения региона. Первые сведения об этом опубликованы Сахибгареевым Р.С. еще в 1974 и 1976 годах. Дальнейшие исследования Тюменцева В.А. и Каратаева А.А. не только подтвердили факт засоления коллекторов Припятского прогиба, но и позволили установить особенности их распространения на Березинском нефтяном месторождении. В последующие годы наиболее полно этот вопрос рассмотрен в работах Махнач А.А. и ряда других исследователей [5]. Гидрохимические исследования, проводимые автором данной статьи, начиная с девяностых годов прошлого века, позволили установить масштабы галитизации продуктивных пород в пределах большинства разрабатываемых залежей нефти [7, 8]. В настоящее время в отчетах по подсчету запасов нефти и газа, проектных документах на разработку месторождений, других геологических материалах при описании продуктивных горизонтов и комплексов конкретных площадей и месторождений приводятся сведения о наличии галита в порах, трещинах и кавернах. Практически по всем разрабатываемым месторождениям отмечается значительное содержание в попутно добываемых с нефтью водах избыточного количества хлористого натрия, что связывается с процессом растворения галитовых выделений. Однако более обстоятельно засоленные коллекторы, как правило, не исследуются. Поэтому необходимо отметить, что закономерности локализации вторичного галита в пределах белорусских нефтяных залежей изучены явно недостаточно, что связано, как нам представляется, с отсутствием специальных целенаправленных программ исследований по данной проблеме на республиканском и отраслевом уровнях, в том числе по вопросу создания петрофизических моделей засоленных коллекторов, разработки и внедрения промыслово-геофизических и сейсмических методов их выделения и прогнозирования.

В последние годы с многочисленными проблемами, связанными с разведкой и разработкой залежей УВ в засоленных коллекторах Восточной Сибири, столкнулись специалисты ряда российских нефтегазовых компаний (ПАО «НК «Роснефть», ПАО «Газпром», ПАО «Сургутнефтегаз», ПАО «Газпромнефть», Иркутская нефтяная компания и др.). Переход к активной фазе освоения открытых здесь месторождений обнажил целый ряд проблем в добыче нефти, проектировании и моделировании разработки залежей УВ в целом. В России эти проблемы начали активно обсуждаться в периодической печати в связи с началом эксплуатации Верхнечонского, Талаканского, Ярактинского, Среднеботуобинского и других месторождений, а также с подготовкой к разработке уникального по запасам Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения. В целях изучения возникших проблем специалистами крупнейших нефтегазовых компаний Российской Федерации и других организаций с привлечением результатов исследований специалистов ОАО «Иркутскгеофизика», ЦГЭ, ТННЦ, ТомскНИПИнефть, Иркутского государственного университета, РГУНГ им. И.М. Губкина, ВНИГРИ, ВНИГНИ, СибНИИИП, СибНИИГГиМС, других научных, учебных и производственных центров ведутся работы по прогнозированию зон развития засоленных коллекторов с помощью обобщения результатов геологических, промыслово-геофизических

и полевых сейсмических методов исследования. Реализуется ряд методов по защите скважин от солеотложений. Проводятся лабораторные работы по выяснению особенностей изменения фильтрационно-емкостных свойств (далее – ФЕС) пород в процессе рассоления образцов керна, делаются попытки моделирования этих процессов в продуктивных пластах конкретных залежей с помощью известных теоретических разработок и применения специализированных программных продуктов [5].

В последнее десятилетие во всех названных направлениях исследований достигнуты заметные успехи. Более того, объемы этих исследований постоянно растут, а полученные при этом материалы приносят все более и более интересные результаты, имеющие не только существенное теоретическое, но и огромное практическое значение. Проводимые работы включают литолого-фациальные, петрографические исследования, стадийный анализ литогенеза, оценку ФЕС пород, определение содержания в образцах галита, прочностных и других свойств засоленных и обессоленных пород. При этом установлен характер изменения структуры порового пространства, коэффициента вытеснения нефти, относительных фазовых проницаемостей, смачиваемости пород в зависимости от степени засоленности коллектора. На значительной части образцов проведены потоковые лабораторные эксперименты (с созданием природных термобарических условий) по изучению изменения ФЕС пород в процессе их рассоления. Для этого широко используются самые современные установки по исследованию керна, методы компьютерной томографии, ртутной порометрии, растровой электронной микроскопии, микроскопии в шлифах и т. д. [1–3, 6, 9, 12–14].

Прежде всего были разработаны и внедрены в практику лабораторных исследований методы определения степени засоления образцов пород, проведены массовые определения этого показателя, а также ряда других петрофизических параметров на керне из различных месторождений, в том числе отобранном из скважин, пробуренных на растворе с нефтяной основой [11]. Результаты этих и дальнейших исследований [1–3, 12–14] свидетельствуют о существенном увеличении емкостных (в разы) и фильтрационных (на 1–3 порядка) свойств пород в процессе их рассоления, а также о завышении имевшихся данных по пористости засоленных пород (в среднем на 1,4 % абс.), что было вызвано определением этого показателя на частично либо полностью отмытых образцах керна [10]. Впервые установлено, что граничные значения пористости незасоленных коллекторов кратно превышают таковые значения засоленных (табл. 1), что объясняется особенностями заполнения солью порового пространства: при засолении тупиковых и боковых пор, где фильтрации флюида не происходит либо она замедляется, остаются каналы активной фильтрации.

Таблица 1

Граничные значения коэффициентов пористости ( $K_p$ ) и проницаемости ( $K_{пр}$ ) коллекторов Чайядинского нефтегазоконденсатного месторождения [6]

Горизонт	Порода			
	засоленная		незасоленная	
	$K_p$ , д. ед.	$K_{пр}$ , мД	$K_p$ , д. ед.	$K_{пр}$ , мД
Ботубинский	0,013	0,8	0,039	0,8
Хамакинский	0,02	0,5	0,04	0,5
Талахский	0,045	0,5	0,065	0,7

Массовые лабораторные исследования керна продуктивных терригенных и карбонатных пластов способствовали созданию петрофизических моделей засоленных и незасоленных участков, разработке методов промыслово-геофизических и сейсмических исследований по выделению и прогнозированию зон и интервалов засоления. Использование этих методов позволило установить определенные закономерности локализации галита в поровом пространстве, построить схемы и карты распространения засоленных коллекторов по основным продуктивным горизонтам для Верхнечонского, Чайядинского, Ярактинского и ряда других крупных месторождений УВ [3, 6, 9, 12–14]. С учетом новых данных по исследованию керна, промыслово-геофизической и сейсмической информации о степени засоленности

пород проведено районирование территории отдельных залежей и месторождений, уточнены граничные значения коэффициентов пористости и проницаемости, оценены эффективные нефтенасыщенные толщины, что позволило произвести и утвердить в Государственной комиссии по запасам результаты подсчета отдельно по участкам распространения засоленных пород и зонам отсутствия галита в поровом пространстве. Полученные материалы привели к существенной корректировке существовавших геологических моделей залежей.

Учет накопившихся сведений о степени засоления терригенных и карбонатных пород способствовал установлению более тесных связей между их пористостью и проницаемостью по отдельным нефтегазоносным горизонтам. Для целого ряда месторождений построены зависимости, отражающие увеличение проницаемости коллекторов с ростом их пористости в процессе их рассоления, в том числе с учетом объемов вымытого галита [1–3, 6, 12–14]. Используя эти наработки, специалисты нефтяных компаний производят прогноз рабочих дебитов добывающих скважин и добывных возможностей залежей в целом.

В процессе обработки данных лабораторных исследований получены материалы, указывающие на меньшую степень начальной нефтенасыщенности, более высокие значения коэффициентов вытеснения, относительных фазовых проницаемостей по нефти и смачиваемости засоленных коллекторов по сравнению с незасоленными при прочих равных условиях [3, 13]. Использование этих результатов и уточненных геологических моделей позволяет российским нефтяникам создавать гидродинамические модели залежей, которые более адекватно отражают происходящие в продуктивных пластах процессы перемещения пластовых флюидов к забоям добывающих скважин, рекомендовать мероприятия по повышению степени извлечения УВ из залежей, а также более надежно прогнозировать технологические показатели дальнейшей разработки нефтяных и газовых месторождений.

Краткий сравнительный анализ результатов проводимых работ по изучению засоленных коллекторов юга Сибирской платформы и Припятского прогиба свидетельствует, что их результаты, безусловно, имеют важное значение для разьяснения возникших вопросов, особенно на начальной стадии поисков, разведки и эксплуатации нефтяных залежей. Однако, как показывает многолетний опыт разработки белорусских нефтяных месторождений, этого явно недостаточно для корректного решения целого ряда задач, связанных с разработкой залежей нефти в засоленных коллекторах на следующих этапах. Происходящие в продуктивных пластах процессы рассоления пород-коллекторов заметно отличаются от прогнозируемых с помощью использования результатов лабораторных исследований, теоретических расчетов и схем, заложенных в программных продуктах.

Многие из возникающих задач могут быть решены с помощью гидрохимических методов анализа и контроля разработки. Накопленный в Республике Беларусь опыт ведения гидрохимического мониторинга, разработанные и применяемые методические подходы к анализу и контролю эксплуатации залежей в засоленных коллекторах представляют несомненный интерес для нефтяных компаний, занимающихся вопросами освоения углеводородных ресурсов Восточной Сибири.

Автором предложены, апробированы и внедрены в производство гидрохимические методы, которые показали высокую эффективность при анализе и контроле разработки залежей нефти в засоленных коллекторах и хорошо зарекомендовали себя на практике [5, 7, 8]. Для количественной оценки влияния протекающих процессов на ФЕС пород были разработаны методики и компьютерные программы, основанные на интерпретации данных о составе и плотностях закачиваемых и попутных вод [7, 8]. Используя предложенные технологии, проведен расчет баланса хлористого натрия в пластовых, закачиваемых и попутных водах за весь срок эксплуатации обводнившихся добывающих скважин на всех разрабатываемых белорусских месторождениях. В качестве примера приведем отдельные результаты таких расчетов. Так, в пределах межсолевой залежи Осташковичского месторождения наибольший объем галита вынесен попутными водами скважины 55; он составил 107,7 тыс. м<sup>3</sup>. В различные годы из залежи с попутными водами выносилось до 111 тыс. м<sup>3</sup> галита в год, а в целом за весь срок ее разработки извлечено более 1,6 млн м<sup>3</sup>. Кроме того, в закачанной воде, остающейся в залежи, растворилось до 7 млн м<sup>3</sup> данного минерала. За счет этого увеличение относительной пористости по залежи оценивается в 15–20 %.

Скважины различаются по своему вкладу в увеличение объема сети фильтрационных каналов. При этом величина избыточного содержания в попутных водах хлористого натрия, как

и объемы выносимого галита, заметно различались в процессе эксплуатации разных скважин, что необходимо учитывать при проектировании, контроле, моделировании и регулировании разработки месторождений нефти и газа [5, 7, 8].

Вышеизложенное свидетельствует о целесообразности организации на Верхнечонском, Среднеботуобинском, Талаканском, Чаяндинском, Ярактинском и других месторождениях Восточной Сибири гидрохимического мониторинга, что позволит проводить оперативную оценку изменения объемов сети фильтрационных каналов в различных участках разрабатываемых залежей, решать ряд других не менее важных нефтепромысловых задач [7, 8]. Установленные при этом особенности будут способствовать усовершенствованию геолого-технологических моделей и проектных документов, контролю, регулированию и повышению эффективности разработки залежей углеводородов.

Представленные в настоящей статье сведения позволяют также внести предложения по детальному ознакомлению белорусскими нефтяниками с опытом исследований засоленных коллекторов, накопленным российскими специалистами на материалах восточно-сибирских месторождений, проведению аналогичных лабораторных и научно-исследовательских работ по белорусским месторождениям, созданию своих или адаптации созданных в российских нефтегазовых компаниях лабораторных, промыслово-геофизических и сейсмических методов изучения засоленных коллекторов и внедрению этих методов в практику освоения остаточных запасов и ресурсов УВ республики. Реализация данных предложений будет способствовать открытию новых залежей, повышению эффективности разработки нефтяных месторождений и стабилизации показателей добычи нефти в Республике Беларусь.

#### Список литературы

1. Григорьев, Б.А. Особенности фильтрационного течения через нестационарные дисперсные среды, представленные засоленными терригенными породами-коллекторами / Б.А. Григорьев, Е.А. Рыжов, Д.М. Орлов и др. // Вести газовой науки. – 2014. – № 2. – С. 90–97.
2. Гринченко, В.А. Численные исследования процессов рассоления при заводнении засоленных коллекторов пресной водой / В.А. Гринченко, И.А. Виноградов, А.С. Тимчук, Я.И. Гордеев // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 8. – С. 85–89.
3. Мухидинов, Ш.В. Методические особенности петрофизического изучения засоленных терригенных пород нефтегазовых месторождений Чонской группы / Ш.В. Мухидинов, В.С. Воробьев // PRОнефть. Научно-технический журнал «Газпромнефти». – 2017. – № 1. – С. 32–37.
4. Перспективные лицензионные участки Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) / Отв. ред. Д.В. Мильев. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2017. – 203 с.
5. Повжик, П.П. К проблеме разработки залежей нефти в засоленных коллекторах (на примере нефтяных месторождений Припятского прогиба и Сибирской платформы / П.П. Повжик [и др.] // Літасфера. – 2018. – № 1(48). – С. 3–14.
6. Поляков, Е.Е. Решение научных проблем при подсчете запасов углеводородов Чаяндинского нефтегазо-конденсатного месторождения / Е.Е. Поляков, Е.А. Рыжов, А.В. Ивченко и др. // Вести газовой науки. – 2017. – 3 (31). – С. 172–186.
7. Порошин, В.Д. Методы обработки и интерпретации гидрохимических данных при контроле разработки нефтяных месторождений / В.Д. Порошин, В.В. Муляк. – М.: Недра, 2004. – 220 с.
8. Порошин, В.Д. Ионно-солевой состав вод эвапоритсодержащих осадочных бассейнов в связи с поисками, разведкой и разработкой нефтяных и газовых месторождений: автореф. дис. ... д. г-м. н. – М.: ГАНГ им И.М. Губкина, 1997. – 44 с.
9. Савченко, С.И. Петрофизическое обоснование интерпретации данных ГИС по Даниловскому месторождению / С.И. Савченко, И.В. Сабанчин, А.Н. Афракос и др. // Горные ведомости. – 2013. – № 6. – С. 36–49.
10. Теленков, В.М. Возможности методов ГИС при исследовании засоленных коллекторов / В.М. Теленков, Н.В. Козар, А.Н. Волнухин // Каротажник. – 2016. – Вып. 9. – № 267. – С. 55–63.
11. Турицин, К.С. Статьи по петрофизике / К.С. Турицин. – Иркутск: Изд-во «Папирус», 2016. – 116 с.
12. Черемисин, А.Н. Картирование зон солеотложений, влияние рассоления продуктивного пласта на разработку Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Н. Черемисин, А.А. Горланов, Д.Д. Романова и др. // Нефтепромысловое дело. – 2017. – № 12. – С. 66–72.
13. Чиргун, А. Теория и практика разработки сложнопостроенных коллекторов Восточной Сибири на примере Верхнечонского месторождения / А. Чиргун, А. Ливанов, Я. Гордеев и др. // Доклад SPE -189301 – RU. – 2017. – 42 с.
14. Щетинина, Н.В. История развития петрофизической модели верхнечонского горизонта / Н.В. Щетинина, Я.И. Гильманов, Д.А. Анурьев, Е.С. Бусуек // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – 2015. – № 3. – С. 30–38.