



Я. Г. Грибик
канд. геол.-мин. наук
Институт природопользования НАН Беларуси¹
заведующий лабораторией геотектоники и геофизики
yaruslavgribik@tut.by

Оценка взаимосвязи в системе порода-вода-нефть в условиях Припятского прогиба

¹Республика Беларусь, 220114, Минск, ул. Ф. Скорины 10.

В статье приводятся результаты лабораторных исследований соотношения опытных образцов Припятского прогиба в системе «порода – вода – нефть». Установлена прямая зависимость ряда химических микро- и макроэлементов от периода контакта, минерализации флюидов и участия в процессе углеводородной составляющей

Ключевые слова: порода; доломит; пластовая вода; рассол; нефть; микро- и макроэлементы

Ряд вопросов геохимии подземных вод нефтегазоносных бассейнов, и в особенности – обогащения компонентного состава, могут быть решены методом экспериментальных исследований. Особенно важна информация, получаемая при изучении взаимодействия системы «порода – вода». С этой целью нами проведены экспериментальные исследования с использованием горных пород межсолевого и подсолевого комплексов верхнедевонского возраста Припятского прогиба.

В настоящее время в Беларуси выявлено 83 месторождения нефти, и все они связаны с Припятским нефтегазоносным бассейном, являющимся западным замыканием Донецко-Днепровско-Припятской палеорифтовой системы. Припятский прогиб представляет собой крупную отрицательную структуру, выполненную мощным (до 6,5 км) комплексом осадочных докембрийских, палеозойских и мезо-кайнозойских образований. Большую часть разреза осадочного чехла (до 80%) занимают отложения среднего и верхнего девона общей мощностью до 5 км. Нижняя и верхняя соленосные толщи

подразделяют девонский разрез Припятского прогиба на подсолевой, межсолевой и надсолевой комплексы. Основные залежи приурочены к подсолевому карбонатному, межсолевому комплексам и установлены в последний период залежи в верхнесоленосном комплексе. Распространение в разрезе двух солеродных толщ определило гидрогеологические условия осадочного бассейна. Воды подсолевого комплекса относятся к рассолам хлоркальциевого типа с минерализацией 110–440 г/дм³.

По составу хлоридные кальциевые, натриевые с невысоким содержанием сульфатов (0–800, реже 2000 мг/дм³), воды межсолевого комплекса относятся к рассолам хлоркальциевого типа с минерализацией 150–380 г/дм³. По составу хлоридные кальциевые, натриевые. Воды подсолевого и межсолевого комплексов содержат микрокомпоненты в количестве: йода – до 50 мг/дм³, брома – 900–3500 мг/дм³, аммония – до 900 мг/дм³.

Высокая минерализация подземных вод и широкий комплекс компонентного состава определяют специфические особенности использования гидрогеологических показателей

в качестве нефтепоисковых. В процессе выполнения геологоразведочных работ возникают вопросы по решению следующих задач:

- определение временной и количественной динамики засоления пресных вод в процессе их контакта с засоленными пластами-коллекторами;
- особенности засоления пластовых вод различной минерализации от пресных до рассолов в зависимости от литологии, продолжительности контакта, микрокомпонентного состава контактного флюида;
- особенности изменения геохимического состава пластовых вод в зоне водо-нефтяного контакта нефтяных залежей;
- характер распределения радиоактивных элементов в пластовых подошвенных водах нефтяных залежей.

Для решения части поставленных вопросов выполнены экспериментальные исследования горных пород, пластовых вод и нефти межсолевого, подсолевого и верхнесоленосного комплексов Припятского прогиба. Использовались образцы карбонатных пород, в основном доломит из отложений воронежского горизонта скв. 15 Северо-Домановичской площади и задонско-елецкого горизонта скв. 16 Березинского месторождения (*рис. 1*). Анализируемый керн представлен кавернозным доломитом, пустотное пространство которого заполнено кристаллами галита. Засоление пластов-коллекторов межсолевого комплекса широко развито в северной части Припятского прогиба, особенно в Северной прибортовой зоне, где расположено Березинское нефтяное месторождение.

Эти образцы пород использовались при выполнении опытов 1, 1а, 2, 3, 3а (*табл. 1*). Для оценки результатов взаимодействия с терригенными породами использованы образцы глинисто-мергельных пород межсолевого комплекса Южной части Припятского прогиба скв. 1 Западно-Валавская (*рис. 1*). С указанными образцами выполнялись исследования по опытам 4, 4а, 5, 5а, 6, 6а и 7.

В качестве контактного раствора применялся рассол, приготовленный методом растворения галита лебедянской соленосной толщи (скв. Полесская-5, интервал 2618–2632 м). Исходный раствор оказался хлоридно-натриевого состава с минерализацией 314,9 г/дм³ (*табл. 1*, опыт 8), близок по составу к подземным водам Припятского прогиба (опыт 9). Раствор, разбавленный в 2 раза и пресная дистиллированная вода послужили в качестве контактных растворов для опытов с разной минерализацией.

Анализируя образец пластовой воды из скв. 5 (образец 9) по сравнению с исходным при-

готовленным контактным рассолом (образец 8) отмечается несколько большая минерализация – 341 г/дм³ против 314,9 г/дм³, присутствие в составе йода, брома, более высокая обогащенность радием, а также хлоридный кальциево-натриевый состав по сравнению с хлоридным натриевым образца 8. Приготовленный контактный исходный рассол минерализацией 314,9 г/дм³, химического состава, приведенного в таблице по опыту 8 использованы в эксперименте по опытам 1, 1а, 6, 6а, 7.

Для оценки реальной картины взаимодействия с горными породами контактных флюидов разной минерализации кроме рассолов с минерализацией 314,9 г/дм³ использовалась пресная дистиллированная вода (опыты 2, 3, 3а, 4, 4а), а также разбавленный в 2 раза исходный рассол, минерализацией 157 г/дм³ в опытах 5, 5а.

Использованная порода представлена плотная, кристаллическими доломитами (опыты 1–3а) и плотными аргиллитами и мергелями (опыты 4–7). В сосуд объемом 3 дм³ помещалась измельченная порода (фракция не более 0,2–0,3 см) массой 3–3,5 кг и заливался контактный раствор объемом 1,7 дм³.

Содержимое выдерживалось в лабораторных условиях с периодическим встряхиванием при комнатной температуре продолжительностью 50–60 суток (опыты 1, 2, 3, 4, 5, 6) и параллельно с теми же исходными данными продолжительностью в 2 раза большей – 97–120 суток (опыты 1а, 3а, 5а, 6а, 7). Это позволяет более детально проследить отдельные вопросы изменения химического состава контактного раствора.

Во всех опытах определялся общий химический состав раствора, минерализация, плотность, жесткость, содержание радиоактивных элементов. В опыте 7 для изучения воздействия нефти на систему «порода – вода» при таких же исходных данных, как в опытах 6, 6а, добавлялась нефть из скв. 8 Мармовичского месторождения (*рис. 1*). Нефть отобрана из межсолевой залежи из интервала 2684–2636 м. Характеризуется плотностью 0,846 г/см³ с содержанием серы – 0,19%, парафина – 4,82%, смол силикагелевых – 11,14%, вязкостью – 11,27 сСт при 20 °С. Экспериментальный объем в опытных образцах состоял из 3–3,5 кг породы, 1,7 дм³ контактного водного флюида, а в опыте 7 в дополнение добавлено 1,5 дм³ нефти.

Обобщая полученный результат, можно сделать некоторые выводы и отметить закономерности взаимодействия системы «порода – вода». При контактировании кавернозно-порового доломита, засоленного галитом, из воронежского горизонта скв. 15 Северо-Домановичской площади с рассолом минерализацией

314,9 г/дм³ на протяжении 50 и 120 суток (опыты 1, 1а) существенных отличий в их химическом составе не установлено. Незначительное увеличение минерализации на 3,3–3,5 г/дм³ по сравнению с исходным рассолом (опыт 8) связано с увеличением концентрации сульфатов (на 1,6–1,8 г/дм³), хлора (на 0,47 г/дм³), натрия + калия (на 0,3–0,63 г/дм³), кальция (на 0,6 г/дм³). Отмечено некоторое снижение концентрации аммония и магния при увеличении продолжительности контактирования (опыт 1а). Содержание радиоактивных элементов в рассолах увеличилось по сравнению с первоначальной концентрацией, особенно радия, превысившего в 10 раз исходную его концентрацию, а урана – в 2 раза. Следует отметить, что в опытах 1, 1а концентрация радиоактивных элементов, в частности радия, существенно выше по сравнению с остальными опытами, даже в случае контактирования с терригенными породами, характеризующимися большей концентрацией радиоактивных элементов. Это можно объяснить тем, что вторичные образования, выполняющие каверны доломита, по-видимому, содержат радиоактивные элементы в более высоких концентрациях, поскольку в целом карбонатные породы Припятского прогиба характеризуются весьма низкими концентрациями урана и радия [1].

По результатам опыта по определению особенностей взаимодействия пресных вод при

Рис. 1.

Припятский прогиб. Схема распределения участков исследования



контактировании с засоленным доломитом задонско-елецких отложений верхнего девона скв. 16,17 Березинской площади установлено, что пресная вода обогащается солями до минерализации 110–154,7 г/дм³ (продолжительность 54 сут) и 266,4 г/дм³ (98 сут). Полученный рассол в процессе выдержки первого периода (54 сут) характеризуется хлоридно-натриевым составом с содержанием натрия + калия (41–59,6 г/дм³), хлора (63–92,4 г/дм³), сульфатов (1,5–5,3 г/дм³), кальция (0,4–1 г/дм³). Содержание радия в растворе повысилось незначительно и не превышает $1,46 \cdot 10^{-11}$ г/дм³.

При более продолжительной выдержке (98 сут, опыт 3а) контактный раствор засолился в большей мере и минерализация его составила 266 г/дм³. Обогащение происходит пропорционально почти по всем элементам, за исключением радия, концентрация которого незначительно уменьшилась.

Вторая часть опытов выполнена с использованием глинисто-мергельных пород задонско-елецкого горизонта верхнего девона из скв. Западно-Валавская 1 (интервал 3520–3536 м).

Для пресного раствора (опыты 4, 4а) отмечено некоторое уменьшение взаимодействия минерализации раствора с 13,08 г/дм³ (53 сут) до 10,8 г/дм³ (97 сут). Это уменьшение произошло преимущественно за счет таких элементов как натрий + калий и хлор, и в меньшей мере – по остальным элементам, а по радиоактивным элементам отмечается увеличение концентрации, особенно существенно для урана (опыт 4а).

Для раствора средней минерализации (5, 5а) отмечена тенденция ее роста во времени

№ опыта	Площадь	Скважина, горизонт, интервал, порода	Контакты флюида, минерализация	Период взаимодействия, сут	d, г/см ³	M, г/дм ³	Ж, мг-экв дм ³	Содержание, мг/дм ³									Радиоактивные элементы, г/дм ³															
								HCO ₃	SO ₄	Cl	Br	J	Na+K	Ca	Mg	NH ₄	UЧ10 ⁻⁷	Ra Ч10 ⁻¹²														
1	Сев. Домановичская	Скв. 15, D ₃ vr 2377 – 2399 м Доломит	рассол 314,9	50	1,198	318,4	64	191430	сл.	отс.	123719	801,6	291,8	21,6	21	23,2																
1а																	Скв. 15, D ₃ vr 15,2377 – 2399 м Доломит	рассол 314,9	120	1,200	318,2	40	191430	отс.	отс.	124135	801,6	отс.	7,3	62	32,4	
2	Безинская	Скв. 16, D ₃ zd-el 2065–2088 м Доломит	дистиллированная вода	54	1,073	110,1	110	63101	31,9	отс.	40996	401	отс.	7,2	н.опр.	2,51																
3																	Скв. 17 D ₃ zd-el	дистиллированная вода	54	1,10	154,7	50	92453	42,6	отс.	59609	1002	отс.	отс.	14,6		
3а																	1663–1707 м Доломит	дистиллированная вода	98	1,17	266,4	40	160234	63,9	отс.	103792	601	121,6	14,4	7,9	9,05	
4	Зап. Валавская	Скв. 1 D ₃ zd-el 13520–3535 Глинисто-мергельная порода,	дистиллированная вода	53	1,007	13,08	70	5672	71,9	5,0	3353	1122	170,2	7,2	26	1,88																
4а																	дистиллированная вода	97	1,007	10,8	60	195,2	2490	4254	61,3	4,0	2656,5	1002	121,6	7,2	36,5	4,02
5																	рассол 157,7	50	1,005	163,98	170	122	4482,3	95715	79,9	5,1	60388	2805	365	14,4	2,3	7,2
5а																	рассол 157,7	120	1,12	169	200	30,5	4991	99260	69	2,5	61851	2805	729	28,8	26	8,99
6																	рассол 314,9	50	1,199	312,6	150	61	2941	187318	101	4,2	119508	2204	486	28,8	1,8	15,1
6а	рассол 314,9	120	1,203	319,2	160	30,5	2935	191430	отс.	отс.	121900	2405	486	28,8	3,9	11,6																
7	Зап. Валавская	Скв. 5, D ₃ lb, 2618–1632 м Галит	рассол 314,9, нефть	120	1,162	251,2	240	150308	101	1,7	93465	3206	973	43	15	12,8																
8																	растворение галита	–	1,192	314,9	23,3	158	63,8	190958	отс.	отс.	123448	200	162	отс.	2,9	3,24
9	Полеская	Скв. 5, D ₃ zd-el 2734–2799 м	пластовая вода	–	1,243	341	3417	98	213395	29,70	39	59622	7230	912	2	200																

Примечание: d – плотность, г/см³; M – минерализация, г/дм³; Ж – жесткость, мг-экв/дм³

Таблица 1.
Химический состав опытных экспериментальных флюидов, взаимодействовавших с горными породами

от 164 г/дм³ до 169,1 г/дм³ с возрастанием концентрации таких компонентов как сульфаты, хлор, натрий + калий, магний, аммоний, уран и снижением концентрации брома и йода. Для рассолов максимальной концентрации (опыты б, ба) отмечается увеличение минерализации во времени до 319,2 г/дм³ за счет таких компонентов как натрий + калий, хлор, кальций. Отмечается тенденция к уменьшению концентрации таких элементов как йод и бром.

В целом по результатам опытов по взаимодействию терригенной породы с водами различной минерализации можно отметить, что с увеличением периода взаимодействия системы горные «породы – вода» минерализация контактного раствора увеличивается на 4–13 г/дм³ с сохранением тенденции уменьшения интенсивности соленасыщенности при возрастании минерализации. Установлено, что контактные растворы обогащаются такими микрокомпонентами как йод, бром, аммоний. Особенно интересное поведение радиоактивных элементов в процессе опыта. На **рис. 2а** изображено изменение концентрации урана в контактном растворе в зависимости от продолжительности взаимодействия. С увеличением минерализации контактного раствора, обогащенность его ураном уменьшается, как для периода контактирования 50 сут, так и для 90–120 сут. Минерализация вод не способствует процессу обогащенности их ура-

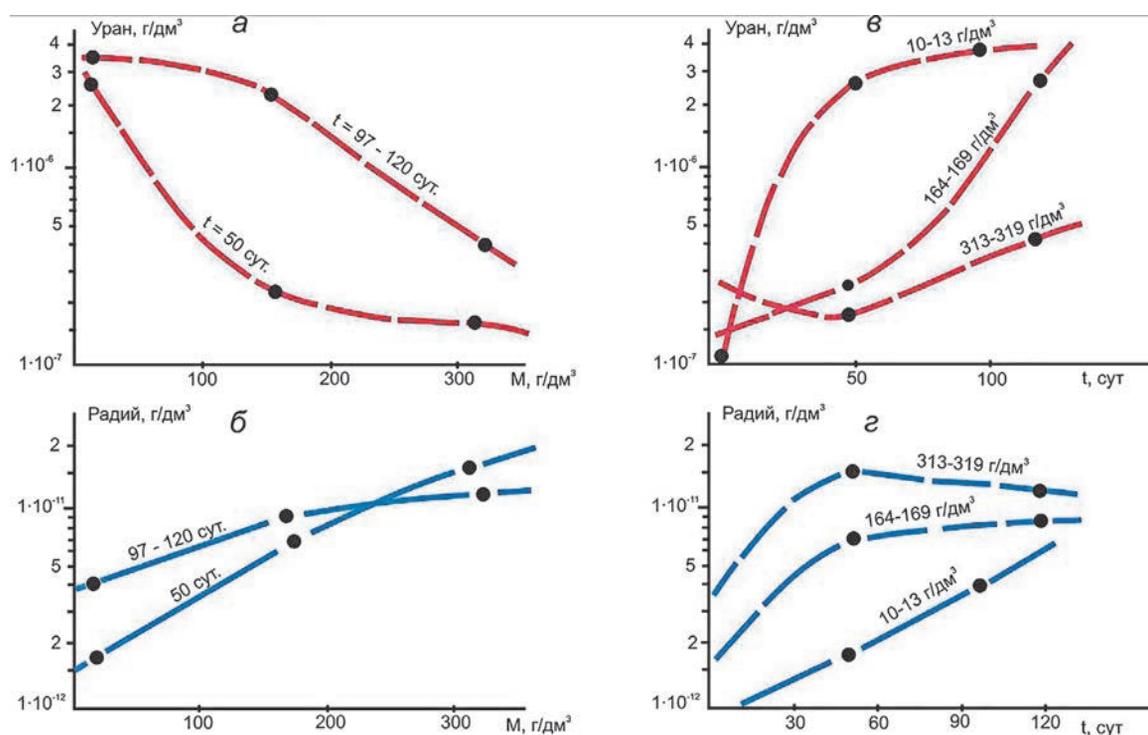
ном, что отмечается также и для пластовых вод Припятского прогиба [1]. Совершенно противоположные закономерности обогащенности контактных растворов радием (**рис. 2б**). С увеличением минерализации растворов концентрация радия возрастает от значений $1,88 \cdot 10^{-12}$ г/дм³ до $15,1 \cdot 10^{-12}$ г/дм³. Следует отметить, что во всех случаях образцы горных пород характеризуются одинаковой фоновой концентрацией радиоактивных элементов, составляющей по данным рентгеноспектрального анализа $2-11 \cdot 10^{-4}\%$ урана и $12-13 \cdot 10^{-4}\%$ тория.

При анализе обогащенности контактных растворов в зависимости от продолжительности взаимодействия тенденция более интенсивного обогащения ураном менее минерализованных и пресных вод сохраняется. Для пресных вод обогащение ураном происходит наиболее интенсивно в первые 50 суток, а в последующий период интенсивность обогащения существенно снижается. Для рассолов с минерализацией 169 и 312 г/дм³ рост концентрации урана в первые 50 суток происходит весьма слабо, а основной рост концентрации происходит в последующие 50 суток (**рис. 2в**).

Интенсивность накопления радия в контактных растворах характеризуется другими особенностями. Для минерализованных растворов основной рост концентрации радия наблюдается в первые 50 суток (**рис. 2**). В последующий пери-

Рис. 2.

Зависимость концентрации урана и радия в экспериментальных растворах от их минерализации и продолжительности взаимодействия



од интенсивность обогащения стабилизируется. Обогащение пресных вод происходит в основном равномерно, однако за тот же период взаимодействия концентрация радия не достигает ее величины в минерализованных растворах, поскольку более минерализованные рассолы более интенсивно обогащаются радием, что характерно и подтверждается фактическим материалом по радиенасыщенности подземных вод Припятского прогиба.

Опыт по изучению взаимодействия системы «порода – вода» был усложнен с целью изучения влияния на взаимопереход элементов добавкой нефти, в соответствии с рассолом примерно в пропорции 1:1. Остальные исходные данные соответствуют опытам б, ба. В результате выполненного опыта установлено, что нефть существенно не изменяет условия обогащения растворов микро- и макроэлементами. Исключение составляют такие элементы, как йод, бром, аммоний и частично уран.

Установлена повышенная обогащенность контактного раствора бромом, составляющая 101 мг/дм³ аммонием, достигшая 43,2 мг/дм³. Несколько повышенными концентрациями аналогичного опыта ба без нефти, однако концентрации радия являются ниже фоновых для рассолов Припятского прогиба.

Выводы

В целом по результатам выполнения работ по изучению взаимодействия системы «порода –

вода – нефть» можно сделать следующие основные выводы.

1. Химический состав контактных растворов незначительно меняется с увеличением минерализации. Интенсивность обогащения растворов солями более контрастна для низкоминерализованных и пресных вод.

2. При контактировании засоленных пород с растворами разных минерализаций происходит закономерное обогащение их хлоридно-натриевыми солями, в отдельных случаях радиоактивными элементами в пределах фона.

3. Обогащение растворов ураном и радием находится в зависимости от их минерализации и продолжительности взаимодействия. С увеличением минерализации растворов миграционные свойства урана уменьшаются, а радия увеличиваются. Продолжительность контактирования оказывает положительное влияние на переход из породы в раствор урана и радия.

4. В опыте «порода – вода – нефть» отмечается некоторое обогащение раствора аммонием, йодом, бромом, увеличение жесткости, незначительное обогащение ураном и радием.

В заключение необходимо отметить, что поскольку условия проведения эксперимента отличаются от естественных, установленные закономерности не могут быть перенесены на природный процесс в полной мере, однако позволяют выяснить отдельные вопросы формирования компонентного состава флюидов в системе «порода – вода – нефть». ❏

Литература

1. Богомолов Г.В., Грибик Я.Г. Радиоактивность подземных вод, как поисковый критерий нефтегазоносности (на примере Припятского прогиба). Минск: Наука и техника. 1982. 148 с.

UDC 551.734(476-13)

Ya.G. Gribik, Head of the Laboratory of Geotectonics and Geophysics of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus¹, yaroslavgribik@tut.by

¹Institute for Nature Management. Republic of Belarus, 220114, Minsk, F. Skoriny street 10.

Evaluation of relationships in the system rock-water-oil in the conditions of the Pripjat trough

Abstract. The article presents the results of laboratory researches of the ratio of test samples of the Pripjat trough in the system rock–water–oil. There is direct dependence of a range of chemical micro – and macroelements from the contact time, mineralization of fluids and participate in the process of hydrocarbon component.

Keywords: rock; dolomite; formation water; brine; oil; micro– and macro–chemical elements.

References

1. Bogomolov G.V., Gribik Ya.G. *Radioaktivnost' podzemnykh vod, kak poiskovyy kriterii neftegazonosnosti (na primere Pripiatskogo progiba)* [Radioactivity of groundwater as a search criterion for oil and gas content (on the example of the Pripjat Trough)]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982, 148 p.