

УДК 556.314:551.762.3(571.1)

НЕФТЕГАЗОВАЯ ГИДРОГЕОХИМИЯ ДОЮРСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Новиков Дмитрий Анатольевич^{1,2},

NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Рыжкова Светлана Владимировна^{1,2},

RizhkovaSV@ipgg.sbras.ru

Дульцев Федор Федорович¹,

DultsevFF@ipgg.sbras.ru

Черных Анатолий Витальевич¹,

ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

Сесь Ксения Валерьевна¹,

SesKV@ipgg.sbras.ru

Ефимцев Николай Андреевич²,

EfimtsevNA@ipgg.sbras.ru

Шохин Андрей Евгеньевич²,

ShokhinAE@ipgg.sbras.ru

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3.

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2.

Актуальность исследования состоит в решении фундаментальных и прикладных вопросов гидрогеологии и гидрогеохимии доюрского основания Западно-Сибирского артезианского бассейна и имеет большое значение для изучения земной коры платформ и складчатых поясов в целом. Уникальность и сложность объекта заключается в том, что Западно-Сибирский бассейн – самый крупный участок молодой платформы, под чехлом которого сочленяются разновозрастные, геодинамически и гидрогеологически разнообразные комплексы. Научных обобщений имеющегося фактического материала не проводилось более 30 лет! Кроме того, актуальность исследований заключается в практической плоскости – оценке современного состояния водонапорных систем доюрских комплексов, разработке гидрогеологических критериев их нефтегазоносности и уточнении направления поисков и разведки углеводородов в доюрском основании Западной Сибири.

Цель работы: выявить особенности химического и газового состава подземных вод и рассолов доюрских комплексов, установить возможные генетические типы подземных вод и рассолов и их пространственное распространение; оценить степень метаморфизации рассолов в сравнении с рядом гидрогеохимических эталонов Сибири.

Методы: основываясь на методических приемах В.А. Сулина, А.А. Карцева, С.Л. Шварцева, Н.М. Кругликова, В.В. Нелюбина, О.Н. Яковлева, В.М. Матусевича и других исследователей выявить особенности геохимии подземных вод и рассолов, установить генетический облик подземных вод и рассолов, используя «генетические» коэффициенты, отражающие отношения различных макро- и микрокомпонентов в их составе: rNa/rCl , Cl/Br , Ca/Cl , $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg)$, V/Br , $Br/Cl \cdot 10^{-3}$, $Sr/Cl \cdot 10^{-3}$ и другие. Применяя интегрированный показатель метаморфизации рассолов (S) по С.Л. Шварцеву и отношения Ca/Cl , $Br/Cl \cdot 10^{-3}$, $Sr/Cl \cdot 10^{-3}$, оценить степень метаморфизации рассолов.

Результаты. Приводятся результаты исследования геохимии подземных вод и рассолов доюрских отложений южных районов Обь-Иртышского междуречья. Установлено, что в исследуемом регионе развиты подземные воды и рассолы с величиной общей минерализации от 4 до 100 г/дм³ $Cl-Na$, $Cl-Na-Ca$ и $Cl-HCO_3-Na$ состава при доминировании первых. Проведя ретроспективу гидрогеологической истории и детальный анализ гидрогеохимических данных, можно предположить доминирование в разрезе седиментогенных рассолов и наличие литогенных (термодегидратационных), древних инфильтрогенных и конденсатогенных вод. Совместное рассмотрение rNa/rCl , Ca/Cl , $Br/Cl \cdot 10^{-3}$, $Sr/Cl \cdot 10^{-3}$ отношений с интегрированным показателем метаморфизации рассолов S подтверждает, что в изучаемом районе рассолы находятся на начальной стадии метаморфизации химического состава.

Ключевые слова:

Нефтегазовая гидрогеохимия, рассол, генетический тип, степень метаморфизации, Обь-Иртышское междуречье, Западная Сибирь.

Введение

С началом ширококомасштабных нефтегазопоисковых работ на юрские и меловые отложения в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции

(ЗСНГП) в 1960-х гг. в своих работах Ф.Г. Гурари, В.Н. Казаринов, М.К. Касьянов, Ю.К. Миронов, И.И. Нестеров, Л.И. Ровнин, Н.Н. Ростовцев, М.Я. Рудкевич, А.А. Трофимук, Ю.Г. Эрвье и дру-

гие рассматривали доюрские комплексы в качестве резерва для будущих открытий [1–5]. В последние годы в связи с высокой степенью геолого-геофизической изученности антиклинального фонда структур мезозойского осадочного чехла значительно возрос интерес недропользователей к этому объекту, что подкрепляется открытием в его границах более 70 залежей нефти и газа [6–10].

Следует отметить, что до настоящего времени гидрогеология и гидрогеохимия доюрских комплексов Западной Сибири остается практически не изученной. Последнее обобщение, где были приведены схематичные данные по доюрским комплексам Западно-Сибирского артезианского бассейна (ЗСАБ), было выполнено в 1985 г. и принадлежит Н.М. Кругликову, В.В. Нелюбину и О.Н. Яковлеву [11]. Позже, в разных научных коллективах Москвы, Новосибирска, Тюмени, Томска, в большей степени в Сибирской научной гидрогеохимической школе вышли в свет работы В.М. Матусевича, А.А. Карцева, С.Л. Шварцева, Н.П. Запывалова, А.Р. Курчикова, Д.А. Новикова и других, затрагивающие отдельные вопросы гидрогеологии и гидрогеохимии доюрских комплексов ряда районов ЗСАБ (Приуральская нефтегазоносная область, южные районы полуострова Ямал, Надым-Тазовское междуречье, Предъенисейская нефтегазоносная субпровинция и другие) [12–26]. Гидрогеология и гидрогеохимия доюрских отложений изучается во многих странах мира, что в основном связано с их промышленной нефтегазоносностью. Наиболее интересные с точки зрения обобщения и полноты представления гидрогеохимического материала публикации вышли в последние годы по Иллинойскому, Мичиганскому, Бофорт-Маккензи, Северо-Аляскинскому и другим бассейнам [27–44]. В этой связи новые сведения и обобщения по гидрогеологии и гидрогеохимии доюрских комплексов ЗСАБ представляют несомненный научный интерес.

Объект, материалы и методы исследований

Район исследований охватывает северо-западную часть Новосибирской области и граничные районы Томской и Омской областей, входящих в состав Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Доюрские комплексы на территории Новосибирской области вскрыты 129 скважинами на 51 локальном поднятии (рис. 1). Изученность глубоким бурением рассматриваемой территории крайне неравномерна. Наибольшая ее плотность характеризует северо-восточные районы. Установлено погружение их кровли с юга на север. В среднем глубины залегания доюрских комплексов составляют 2700–3000 м (Сергеевская, Чековская, Малоичская площади). Максимально изучен бурением разрез доюрских комплексов на Малоичской площади. В скважине № 4 проходка составила более 1700 м.

Докембрийские и кембрийские образования в исследуемом районе, а также ордовикские, силу-

рийские и нижнекаменноугольные (морские) отложения не изучены бурением [45]. Наиболее полно здесь представлены породы девонского возраста. Датировки отложений девонской, каменноугольной и пермской систем обоснованы палеонтологическими данными. Выявлены тела интрузивных пород преимущественно кислого состава [46], наиболее крупным из которых является Межовский гранитоидный массив. На его склонах происходит постепенное выклинивание юрских отложений [47]. На Межовской площади на гранитах залегают нижнемеловые глины. Ультраосновные и основные интрузивные тела среднепалеозойского возраста, а также пластовые тела и дайки ранне-среднетриасовых долеритов, габбро и габбро-долеритов развиты преимущественно в западной части района исследований.

Следует отметить, что на доюрскую поверхность выходят породы разнообразие как по литологическому составу, так и возрасту. На северо-западе Новосибирской области установлено два типа разреза: вулканогенно-осадочный и преимущественно карбонатный. Первый из них развит на территории Туйско-Барабинского структурно-фациального района в западной части изучаемой территории, а второй – Нюрольского в восточной [45]. Особенность эффузивно-терригенной последовательности пород заключается в направленности изменения во времени состава вулканитов от средне-основных к средне-кислым [46]. Вулканиты среднего состава туйской толщии установлены в разрезах скважин Красногорская-1 и Пахомовская-1. Средне-кислые вулканиты, слагающие теверизскую толщю и условно датируемые поздним карбоном – ранней пермью, вскрыты скважинами Бочкаревская-2, Витинская-1, Пустоваловская-1, Сергеевская-5 и 6, Тай-Дасская-3, Тебисская-1 и 2, Чековская-1 и 2 и другими. В пределах новосибирского фрагмента Нюрольского структурно-фациального района развиты в основном девонские рифогенные известняки. Однако на небольших участках здесь фиксируются и вулканиты верхнего палеозоя, а также тонкотерригенные породы нижнего девона [45].

Таким образом, материалы бурения параметрических, поисковых и разведочных скважин глубокого бурения, сейсмические данные и геологическая интерпретация аномальных магнитных и гравитационных полей свидетельствуют о том, что фундамент северной части Новосибирской области сложен метаморфическими, магматическими и осадочными породами. Карбонатные толщии представляют собой тектонические складчатые покровы, а осадочные породы верхнего палеозоя и эффузивно-осадочные породы нижнего-среднего триаса слагают орогенные толщии [48].

Детальный анализ геологических особенностей доюрских комплексов, их вещественного состава, датировок возраста водовмещающих пород, основанных на палеонтологических данных, комплекса каротажных диаграмм ГИС, результатов испы-

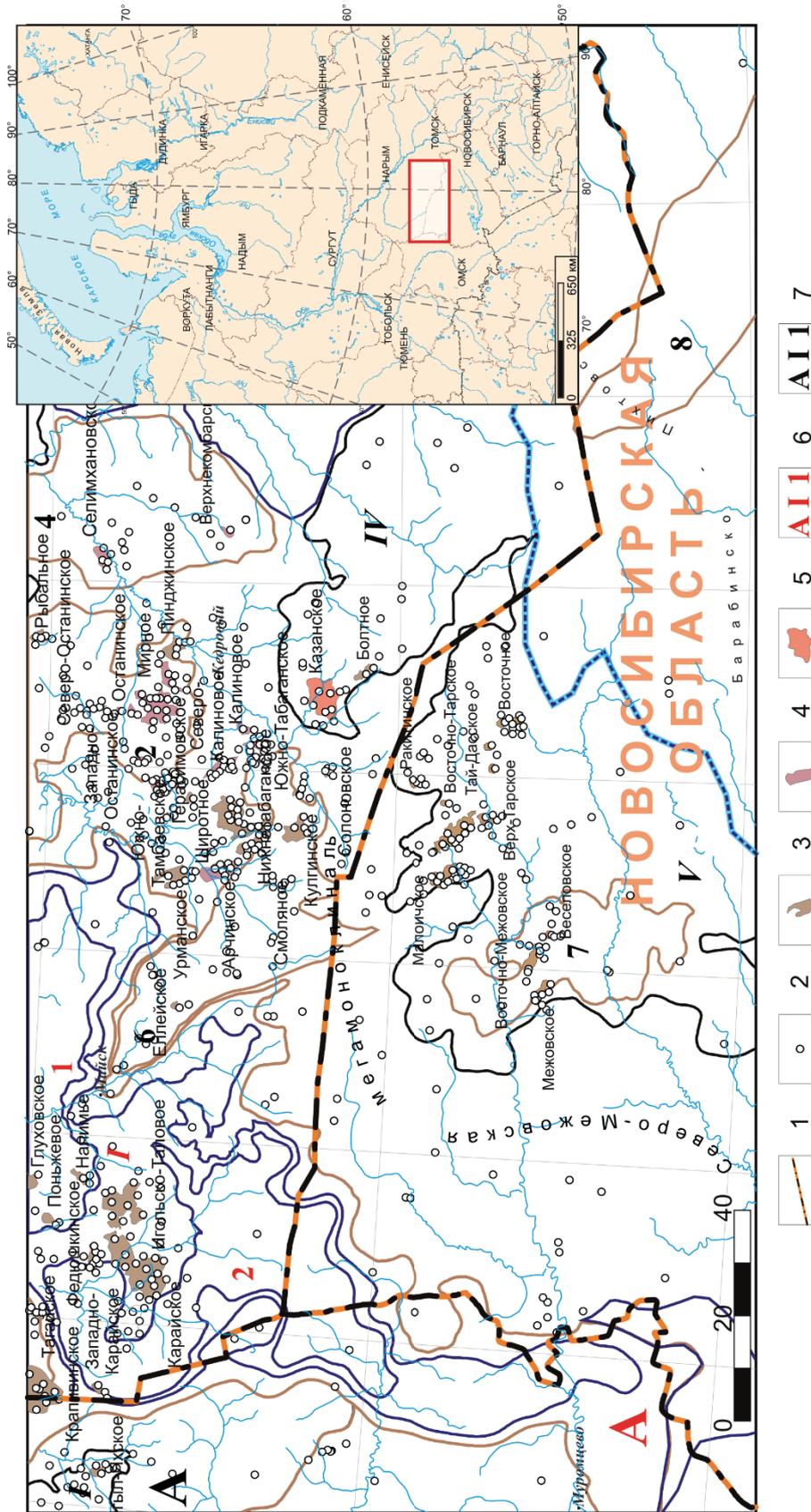


Рис. 1. Обзорная карта района исследований: 1 – административные границы, 2 – скважины, 3 – нефтяные, 4 – нефтегазоконденсатные, 5 – газоконденсатные и газовые; Тектонические элементы: 6 – отрицательные, 7 – положительные. Названия тектонических элементов приведены на карте [47]: **Отрицательные:** А – Колтогорско-Нюрольский жезлоб, I – Нюрольская мезовпадина, 1 – Центральнोनюрольская мезовпадина, 2 – Южно-Нюрольская мезовпадина, 3 – Бакчарская мезовпадина, 5 – Кыштовский наклонный мезопрогиб; **Положительные:** А – Верхневасюганская антеклиза, I – Верхнедемьянский мегавал, II – Парабельский наклонный мегавал, IV – Калгашский наклонный мегавал, V – Межовский структурный мегамыс, 1 – Колпашевский мезовал, 2 – Пудинское куполовидное мезоподняние, 4 – Горелоярское куполовидное мезоподняние, 6 – Лавровский наклонный мезовал, 7 – Западно-Межовское куполовидное мезоподняние, 8 – Верхнегегарский мезовыступ

Fig. 1. Location of the studied area within West Siberia: 1 – administrative boundaries, 2 – fields; 3 – oil, 4 – oil-gas condensate and condensate; Tectonic elements: 6 – Negative; 7 – Positive. Names of tectonic elements are given on the map [47]: **Negative:** A – Koltohorsko-Nyurolsky Trench, I – Nyurol megadepression, 1 – Centralno-Nyurol inclined mesodepression, 2 – Yuzhno-Nyurol mesodepression, 3 – Bakchar mesovladina, 5 – Kyshtov inclined mesofold; **Positive:** A – Verkhnevasyuganskaya antecline, I – Verkhnedemyanskiy megaswell, II – Parabelskiy inclined megaswell, IV – Kalgashskiy inclined megaswell, V – Mezhevskiy structural mega foreland, 1 – Kolpashevskiy megaswell, 2 – Pudinskoye dome-shaped mesozouplift, 4 – Goreloyarskoye dome-shaped mesozouplift, 6 – Lavrovskiy inclined mesozouplift, 7 – Western Mezhevskiy dome-shaped mesozouplift, 8 – Verkhnegegarskiy mezobulge

тания и гидрогеохимического опробования скважин позволил впервые разделить имеющийся массив данных на две гидрогеохимические выборки: 1) подземные воды, распространенные в пределах магматических и метаморфических формаций, и 2) подземные воды и рассолы, распространенные в осадочных, преимущественно карбонатных породах. Всего с учетом территории Новосибирской и граничных районов Томской и Омской областей к первой выборке было отнесено 202 пробы, а ко второй – 131. Для сравнительного анализа степени метаморфизации рассолов нами были привлечены гидрогеохимические данные по доюрским комплексам Предъенисейского осадочного бассейна (122 пробы), прилегающим районам Сибирской платформы (189 проб), Нордвикскому солянокупольному району Анабаро-Хатангского бассейна (97 проб) и структурам горно-складчатого обрамления (94 пробы). Всего электронная база данных для настоящей работы представлена записями по 835 пробам подземных вод и рассолов.

Основываясь на методических приемах В.А. Сулина, А.А. Карцева, С.Л. Шварцева, Н.М. Кругликова, В.В. Нелюбина, О.Н. Яковлева,

В.М. Матусевича и других исследователей, были выявлены особенности геохимии подземных вод и рассолов. С применением «генетических» коэффициентов ($r_{Na/rCl}$, Cl/Br , Ca/Cl , $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg)$, V/Br , $Br/Cl \cdot 10^{-3}$, $Sr/Cl \cdot 10^{-3}$ и другие) предварительно выявлен генетический тип подземных вод и рассолов. Интегрированный показатель метаморфизации рассолов (S) по С.Л. Шварцеву [49] и отношения Ca/Cl , $Br/Cl \cdot 10^{-3}$, $Sr/Cl \cdot 10^{-3}$ позволили оценить степень метаморфизации рассолов. По величине S выполнен сравнительный анализ рассолов осадочных бассейнов Сибири.

Результаты и их обсуждение

Химический состав

Сложность геологических условий доюрских комплексов нашла свое отражение в гидрогеохимических особенностях вод различной солености и состава в зависимости от вещественного состава водовмещающих отложений (табл. 1). Как видно из этой таблицы, общая минерализация пластовых вод изменяется в широких пределах: от 8,62 до 100 г/дм³. Слабые рассолы хлоридного натриевого состава с минерализацией до 99,19 г/дм³ выявля-

Таблица 1. Типовые анализы подземных вод и рассолов доюрских комплексов южных районов Обь-Иртышского междуречья
Table 1. Typical analyzes of underground water and brines of the pre-Jurassic complexes in the south regions of the Ob-Irtysh interfluvium

№ п.п. Sample №	Площадь, № скв. Area, well number	Интервал, м Interval, m	Возраст Age	pH	Элементы, мг/дм ³ Components, mg/dm ³											M, г/дм ³ TDS, g/dm ³
					Cl	HCO ₃	SO ₄	Na+K	Ca	Mg	Br	SiO ₂	B	I		
Магматические и метаморфические формации/Magmatic and metamorphic formations																
1	Буйновская, 1/Buinovskaya, 1	2534–2660	P	6,4	3416	1830	340	2892	80	48	8,4	*	6,2	0,7	8,62	
2	Ягыл-Яхская, 8/Yagyl-Yakhskaya, 8	2478–2798	Pz ₂	7,0	4721	1037	21	3010	208	38	14,2	40	9,9	1,5	9,10	
3	Нижне-Табганская, 17 Nizhne-Tabaganskaya, 17	3110–3121	C ₁	7,7	6390	275	140	3906	352	0	30	33	*	5,7	11,13	
4	Нижне-Табганская, 17 Nizhne-Tabaganskaya, 17	2998–3003	C ₁	6,9	9714	171	15	5590	481	122	*	16	*	*	16,11	
5	Нижне-Табганская, 9 Nizhne-Tabaganskaya, 9	3050–3068	C ₁	8,5	12673	653	328	8300	291	7	54,5	*	*	*	22,31	
6	Нижне-Табганская, 17 Nizhne-Tabaganskaya, 17	3030–3042	C ₁	7,3	13685	525	91	8490	433	68	*	32	*	*	23,32	
7	Кулайская, 1/Kulayskaya, 1	2350–2436	T	7,4	13490	1068	10	8389	597	26	53,3	160	15,3	4,6	23,81	
8	Сергеевская, 4/Sergeevskaya, 4	2890–2915	T	6,6	17331	1281	0	10895	562	97	66,5	60	12,5	12,2	30,32	
9	Горело-Ярская, 5/Gorelo-Yarskaya, 5	2720–2835	P–T	6,7	19074	613	0	10872	1307	122	63,9	28	*	3	32,08	
Осадочные формации/Sedimentsry formations																
10	Верхне-Кенгская, 1/Verkhne-Kengskaya, 1	2614–2616	D ₃	6,2	24480	622	0	13165	2004	340	98,4	16,6	2,1	5,6	40,73	
11	Солоновская, 43/Solonovskaya, 43	3056–3076	D ₃ –C ₁	5,8	27868	500	40	15860	1816	157	114	13,5	4	24,4	46,40	
12	Хылькинская, 1/Khylkinskaya, 1	3068–3076	D ₁₋₂	7,1	33412	732	15	18012	2448	547	133	22,3	1,5	8,6	55,33	
13	Солоновская, 44/Solonovskaya, 44	3036–3043	D ₃ –C ₁	6,8	31950	488	46	18800	1440	288	117	9,8	0,9	1,3	53,14	
14	Тамбаевская, 3/Tambaevskaya, 3	3840–3860	D ₃	6,9	31950	702	10	18810	1635	175	142,6	2,5	20	21,7	53,47	
15	Малоичская, 2/Maloichskaya, 2	2876–3000	D ₁₋₂	5,8	34250	207	13	19890	2035	39	134,4	*	6,3	9,4	56,58	
16	Арчинская, 45/Archinskaya, 45	3093–3102	D ₁₋₂	7,6	38860	763	17	23024	1583	353	163	7	2,5	26,3	64,80	
17	Герасимовская, 2/Gerasimovskaya, 2	2957–2997	D ₂₋₃	6,4	39405	793	0	21905	2520	510	175,6	*	24,6	13	65,35	
18	Малоичская, 8/Maloichskaya, 8	2785–2804	D ₃	5,8	39760	976	0	20702	4358	240	106,8	92	14,2	12,2	66,26	
19	Верх-Тарская, 13/Verkh-Tarskaya, 13	2709–2776	D ₁₋₂	6,9	49203	720	8	28523	2734	279	194,5	*	11,5	13,4	81,69	
20	Крыловская, 1/Krylovskaya, 1	2888–2910	P	6,4	60280	49	0	35220	3206	97	320	*	13,5	7,2	99,19	
Гидрогеохимический фон/Hydrogeochemical background				6,5	25596	700	55	14813	1505	178	110,6	38,1	9,7	10,0	43,0	

Примечание: «*» – нет сведений.

Note: * – lack of data.

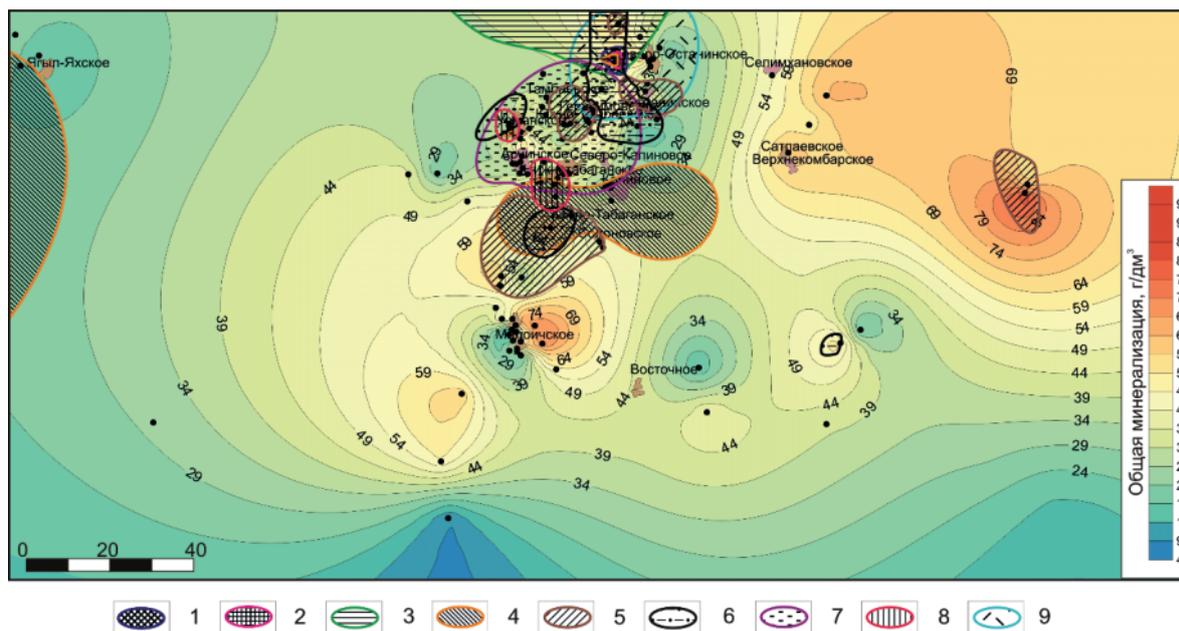


Рис. 2. Гидрогеохимическая карта доюрских комплексов южных районов Обь-Иртышского междуречья. Гидрогеохимические аномалии по содержанию (мг/дм³): 1 – I>25, 2 – Br>150, 3 – B>30, 4 – SiO₂>100, 5 – Rb>1, 6 – Sr>450, 7 – Zn>2, 8 – Mn>2, 9 – Li>7. Остальные условные обозначения см. рис. 1

Fig. 2. Hydrogeochemical map of the pre-Jurassic complexes of the south part of the Ob-Irtys interfluve. For legend, see Fig. 1. Hydrogeochemical anomalies (in mg/dm³): 1 – I>25, 2 – Br>150, 3 – B>30, 4 – SiO₂>100, 5 – Rb>1, 6 – Sr>450, 7 – Zn>2, 8 – Mn>2, 9 – Li>7

ны на Крыловской площади в северо-восточных районах изучаемой территории и до 81,69 г/дм³ на Верх-Тарской и Малоичской площадях в центральных (рис. 2). На западе и юге преобладают хлоридные натриевые воды с минерализацией, не превышающей 30 г/дм³. На остальной территории доминируют воды с величиной общей минерализации 30–60 г/дм³. Доминируют в основном Cl Na воды (по С.А. Щукареву), встречаются проявления вод Cl Na-Ca, Cl-HCO₃ состава на Арчинской и Малоичской площадях соответственно.

Отмечается закономерный рост основных солеобразующих компонентов с увеличением общей минерализации подземных вод. Статистический анализ гидрогеохимических данных позволил установить характеристики гидрогеохимического фона и аномалий. Фоновые воды доюрских комплексов характеризуются хлоридным натриевым составом с величиной общей минерализации 40–45 г/дм³. Содержание HCO₃⁻ не превышает 700 мг/дм³, SO₄²⁻ – 55 мг/дм³, Na⁺ – 14,8 г/дм³, Г – не более 10,0 мг/дм³, брома не выше 110,6 мг/дм³ и т. д. (табл. 1). В пределах доюрских комплексов выявлены и околтурены девять типов гидрогеохимических аномалий по содержанию (мг/дм³) (рис. 2). Большинство аномалий приурочено к локальным поднятиям с выявленными залежами углеводородов. Так, среди «традиционных» микрокомпонентов наибольшие концентрации йода 37,0 мг/дм³ установлены в карбонатах верхнего девона в интервале 3116–3159 м в скважине № 2 Сельвейкинской площади; брома – более

250 мг/дм³ выявлены на Герасимовской и Крыловской площадях; бора – более 40 мг/дм³ встречаются в рассолах на Малоичской, Урманской и Тамбаевской площадях.

Среди щелочных элементов наибольшие концентрации рубидия выше 1 мг/дм³ выявлены на Калганакской, Западно-Останинской, Герасимовской, Южно-Тамбаевской, Широной, Кулгинской, Солонювской и Заречной площадях. Содержание лития более 7 мг/дм³ выявлены на Северо-Останинском, Останинском и Герасимовском месторождениях, а также на Сельвейкинской и Калганакской площадях. Среди щелочноземельных элементов аномальные значения Sr отмечены в рассолах на Урманском и Западно-Останинском месторождениях, а также на Кулгинской, Мирной и Сельвейкинской площадях. В зону повышенных концентраций по цинку попадают рассолы ряда месторождений Чузикско-Чизапской зоны нефтегазонакопления: Тамбаевское, Герасимовское, Южно-Тамбаевское, Урманское, Арчинское, Северо-Калиновое, Нижне-Табаганское. Наибольшие концентрации марганца отмечены в водах Нижне-Табаганского и Урманского месторождений. В целом все выявленные гидрогеохимические аномалии приурочены к центральным и северным районам исследуемого региона.

Одним из ключевых соединений, контролирующей стадию взаимодействия в системе вода – горная порода, является кремнезем [50]. Ранее нами установлено, что в зоне катагенеза его концентрации более 60–80 мг/дм³ приводят к насыщению

подземных вод относительно альбита и даже микроклина [51]. В исследуемом регионе аномальные концентрации SiO_2 выше 100 мг/дм^3 выявлены на Сельвейкинской и Урманской, Кулгинской, Калиновой и Смоляной площадях, а также на Кулайской площади в отложениях триаса, где его содержания составляют 160 мг/дм^3 (табл. 1).

Таким образом, в пределах южных районов Обь-Иртышского междуречья доминируют рассолы хлоридного натриевого состава с величиной общей минерализации $50\text{--}70 \text{ г/дм}^3$, что можно объяснить отсутствием галогенных формаций в геологическом разрезе, которые широко развиты в пределах расположенной восточнее древней Сибирской платформы [52–54] и в Анабаро-Хатангском бассейне [25]. В восточном направлении происходит закономерная смена бессолевого геологического разреза молодой Западно-Сибирской плиты на соленосный в Предъенисейском осадочном бассейне [18], а в прилегающих районах древней Сибирской платформы суммарная мощность солей нередко достигает 400 м и более [55].

Генетические типы подземных вод и рассолов

Согласно классическим работам В.А. Сулина, А.А. Карцева, С.Л. Шварцева, Н.М. Кругликова, В.В. Нелюбина, О.Н. Яковлева, В.М. Матусевича и других исследователей, генетический тип воды можно установить, используя «генетические» коэффициенты, отражающие отношения различных макро- и микрокомпонентов в ее составе: $r\text{Na}/r\text{Cl}$, Cl/Br , Ca/Cl , $r(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)/r(\text{Ca} + \text{Mg})$, V/Br , $\text{Br}/\text{Cl} \cdot 10^{-3}$, $\text{Sr}/\text{Cl} \cdot 10^{-3}$ и другие [11–13, 15–18, 24, 25, 49].

Проведя ретроспективу геологической истории изучаемой территории и детальный анализ гидрогеохимических данных (табл. 2, рис. 3), можно предположить наличие трех основных генетических типов подземных вод и рассолов: 1) седиментогенных, 2) литогенных (термодегидратационных) и древних инфильтрогенных, 3) конденсатогенных. Наибольшим разнообразием химического состава и вариацией всех генетических коэффициентов отличаются конденсатогенные воды. Помимо низкой величины их общей минерализации, которая составляет до 10 г/дм^3 , они отличаются высокой газонасыщенностью – до $2,0 \text{ л/л}$ и более. Эти воды выявлены на локальных участках близ водонефтяных (ВНК) или газоводяных (ГВК) контактов на большинстве изученных месторождений (Ягыл-Яхское, Малоичское, Восточно-Межовское, Северо-Останинское и другие). Они характеризуются высоким отношением $\text{V}/\text{Br} > 0,7$ и $r(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)/r(\text{Ca} + \text{Mg}) > 1,0$, а $r\text{Na}/r\text{Cl}$ и Cl/Br коэффициенты варьируют от $0,90$ до $1,31$ и от 280 до $406,7$ соответственно. Литогенные (на глубинах свыше 2 км) и древние инфильтрогенные воды отличаются от предыдущего типа более высокими значениями солености вод ($10\text{--}35 \text{ г/дм}^3$) и более низкими значениями перечисленных выше коэффициентов. Седиментогенные воды, являющиеся

признаками высокой степени гидрогеологической закрытости недр, зон затрудненного и весьма затрудненного водообмена, в которых создаются условия наиболее благоприятные для процессов миграции и аккумуляции нефти и газа, характеризуются величиной общей минерализации более $25\text{--}30 \text{ г/дм}^3$, более низкими по сравнению с предыдущими типами значениями коэффициента метаморфизации вод $r\text{Na}/r\text{Cl}$ (в среднем $0,87$) и Cl/Br коэффициента (в среднем 256).

Таблица 2. Генетическая характеристика подземных вод и рассолов доюрских комплексов южных районов Обь-Иртышского междуречья

Table 2. Groundwater and brines genetic characteristic of the pre-Jurassic complexes of the south part of the Ob-Irtysh interfluvium

№ п.п. Sample №	$r\text{Na}/r\text{Cl}$	Cl/Br	Ca/Cl	V/Br	$r(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)/r(\text{Ca} + \text{Mg})$	$\text{Br}/\text{Cl} \cdot 10^{-3}$	$\text{Sr}/\text{Cl} \cdot 10^{-3}$	S	Генетический тип ^{xx} Genetic type ^{xx}
Магматические и метаморфические формации Magmatic and metamorphic formations									
1	1,31	406,7	0,02	0,74	3,77	2,46	*	81,89	III
2	0,98	332,5	0,04	0,70	1,26	3,01	*	100,17	III
3	0,94	213,0	0,06	*	0,26	4,69	*	156,35	II
4	0,89	*	0,05	*	0,08	*	*	*	II
5	1,01	232,5	0,02	*	0,71	4,30	0,28	143,21	II
6	0,96	*	0,03	*	0,32	*	*	*	II
7	0,96	253,1	0,04	0,29	0,55	3,95	*	131,58	II
8	0,97	260,6	0,03	0,19	0,58	3,84	*	127,78	II
9	0,88	298,5	0,07	*	0,13	3,35	*	111,57	I
Осадочные формации/Sedimentary formations									
10	0,83	248,8	0,08	0,02	0,08	4,02	*	133,87	I
11	0,88	244,5	0,07	0,04	0,08	4,09	9,47	136,23	I
12	0,83	251,2	0,07	0,01	0,07	3,98	*	132,57	I
13	0,91	273,1	0,05	0,01	0,08	3,66	8,04	121,95	I
14	0,91	224,1	0,05	0,14	0,12	4,46	5,10	148,64	I
15	0,90	254,8	0,06	0,05	0,03	3,92	*	130,68	I
16	0,91	238,4	0,04	0,02	0,12	4,19	*	139,69	I
17	0,86	224,4	0,06	0,14	0,08	4,46	15,84	148,41	I
18	0,80	372,3	0,11	0,13	0,07	2,69	*	89,47	I
19	0,89	253,0	0,06	0,06	0,07	3,95	*	131,65	I
20	0,90	188,4	0,05	0,04	0,00	5,31	*	176,79	I

Примечание: «*» – нет сведений; * – № соответствует пробе в табл. 1; ** – название генетического типа подземных вод и рассолов соответствует рис. 3.

Note: * – lack of data; * – sample number from table 1; ** – for groundwater and brines genetic type see Fig. 3.

Проведенные исследования в комплексе со статистическими методами и палеогидрогеологическими реконструкциями позволили оконтурить области распространения установленных генетических типов подземных вод в пределах доюрских комплексов. Древние инфильтрогенные воды доминируют в южных и северо-восточных районах исследуемого региона, что связано с близостью окраины ЗСАБ (рис. 4). Литогенные воды распространены преимущественно в западных районах на глубинах более 2 км , где проявлены процессы

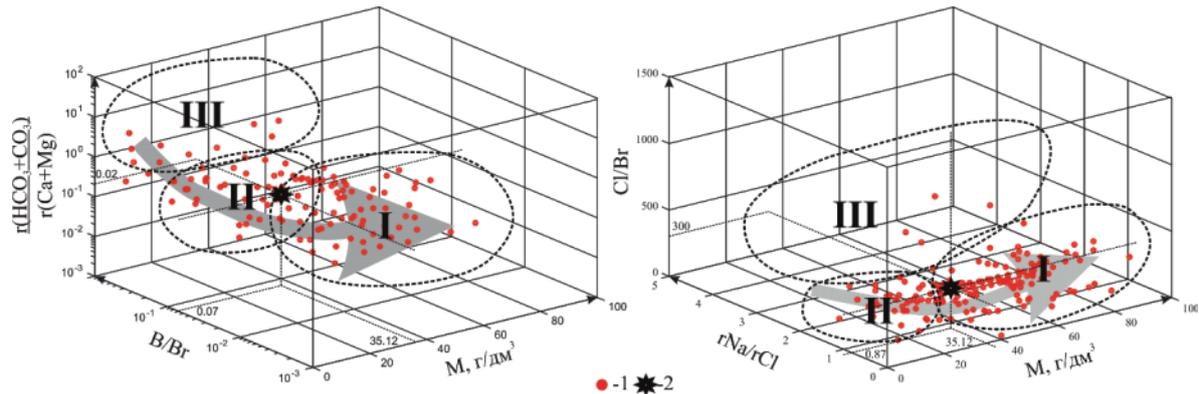


Рис. 3. Схема генетических типов подземных вод и рассолов в пределах доюрских комплексов южных районов Обь-Иртышского междуречья: 1 – точки изученных проб; 2 – точка морской воды. Генетический тип подземных вод и рассолов: I – седиментогенный, II – литогенный, древний инфильтрогенный, III – конденсатогенный

Fig. 3. Scheme of groundwater and brines genetic types of the study area: 1 – data points, 2 – sea-water point. Genetic type: I – sedimentogenic, II – lithogenic, ancient infiltrogenic, III – condensation

термодегидратации глинистых минералов. Седиментогенные воды и слабые рассолы установлены нами на большей части исследуемой территории, что хорошо видно по отношениям $Br/Cl \cdot 10^{-3}$, rNa/rCl , Cl/Br , Ca/Cl , и $Sr/Cl \cdot 10^{-3}$. Конденсатогенные воды выявлены в приконтурных зонах залежей углеводородов на Ягыл-Яхском (нефтяная залежь в пласте М), Малоичском (нефтяные залежи в пластах M_0 и М), Нижнетабаганском (нефтяные залежи в пластах M_1 (M_{1-10})), Южно-Табанган-

ском (нефтяные залежи в пластах M_1^1 , M_1^2 и M_1^3) и других месторождениях.

Степень метаморфизации

Все генетические типы подземных вод и рассолов метаморфизованы в разных направлениях. Для сравнения уровня метаморфизации нами был применен интегрированный показатель метаморфизации рассолов (S) по С.Л. Шварцеву [49], который используется в подобных исследованиях по

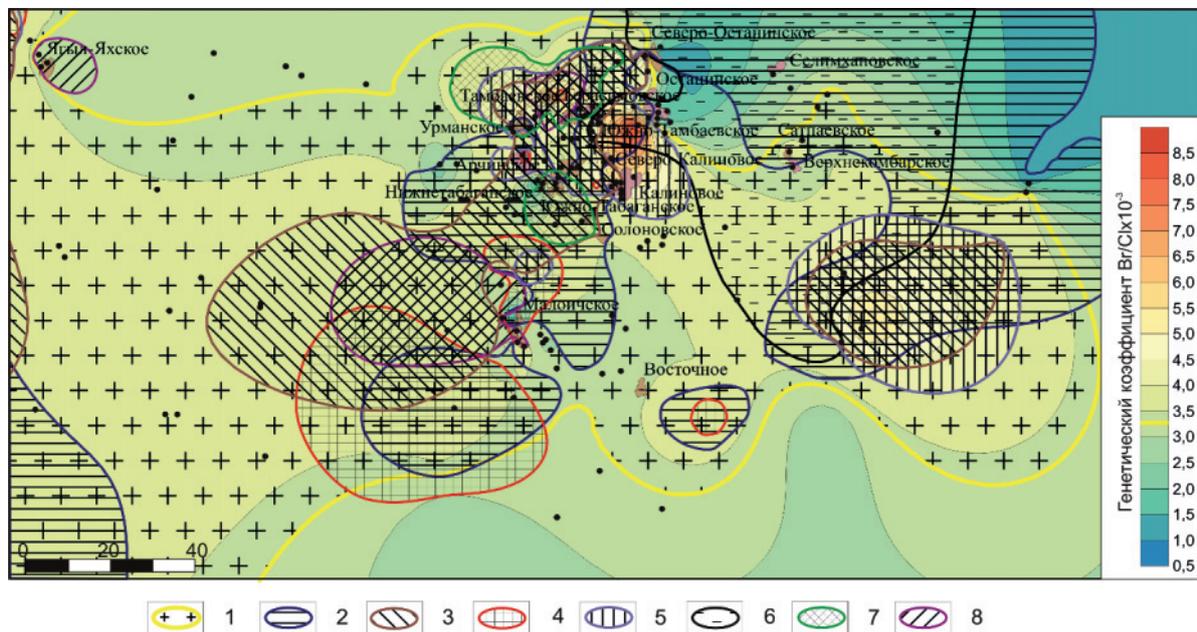


Рис. 4. Карта распространения генетических типов подземных вод в пределах доюрских комплексов южных районов Обь-Иртышского междуречья. Область распространения преимущественно седиментогенных вод – 1; зоны развития: седиментогенных вод по коэффициентам: 2 – rNa/rCl , 3 – Cl/Br , 4 – Ca/Cl , 5 – $Br/Cl \cdot 10^{-3}$, 6 – $Sr/Cl \cdot 10^{-3}$, конденсатогенных вод по: 7 – B/Br , 8 – $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg)$. На остальной территории доминируют древние инфильтрогенные и литогенные воды (на глубинах более 2 км). Остальные условные обозначения см. рис. 1

Fig. 4. Distribution of genetic types of groundwater of the study area. 1 – area of predominantly sedimentogenic waters (by coefficients): 2 – rNa/rCl , 3 – Cl/Br , 4 – Ca/Cl , 5 – $Br/Cl \cdot 10^{-3}$, 6 – $Sr/Cl \cdot 10^{-3}$; condensate waters (by coefficients): 7 – B/Br , 8 – $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg)$. Ancient infiltrogenic and lithogenic waters (at depths of more than 2 km) dominate in the rest of the territory

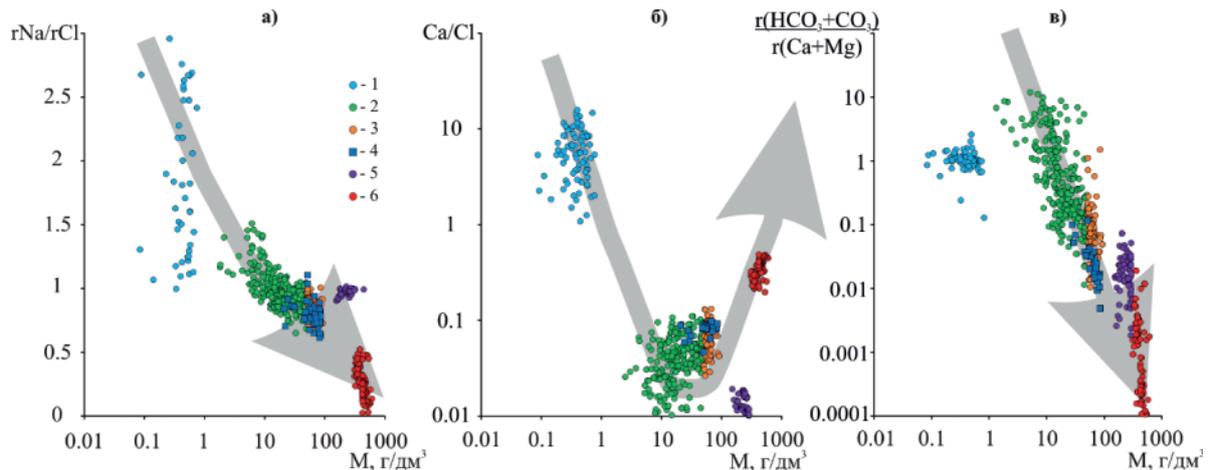


Рис. 5. Зависимость rNa/rCl (а), Ca/Cl (б) и $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg)$ (в) отношений с общей минерализацией подземных вод и рассолов в пределах доюрских комплексов Сибири. Изученные воды: 1 – горно-складчатого обрамления; 2 – зон распространения магматических и метаморфических формаций (район исследований); 3 – зон распространения осадочных формаций (район исследований); 4 – Предъенисейского осадочного бассейна; 5 – солянокупольных структур Анабаро-Хатангского бассейна; 6 – Сибирской платформы. Стрелкой показано направление метаморфизации подземных вод и рассолов

Fig. 5. The rNa/rCl (a), Ca/Cl (б) and $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg)$ (в) ratios relationships with total mineralization of groundwater and brines within the pre-Jurassic complexes of Siberia. The studied waters: 1 – mountain-folded framing; 2 – zones of magmatic and metamorphic formations distribution (Western Siberia); 3 – zones of sedimentary formations distribution (Western Siberia); 4 – Fore-Yenisey sedimentary basin; 5 – salt-dome structures of the Anabar-Khatanga basin; 6 – the Siberian platform. The arrow shows the direction of metamorphism of groundwater and brines

регионам с наличием в гидрогеологическом разрезе рассолов. Степень метаморфизации подземных вод и рассолов во многом определяется по отношениям Ca/Cl , $Br/Cl \cdot 10^{-3}$, $Sr/Cl \cdot 10^{-3}$, поскольку суть метаморфизации наиболее ярко проявляется в увеличении после их захоронения содержаний в них Ca , Sr и Br .

Сравнительный анализ геохимических особенностей подземных вод и рассолов доюрских комплексов Сибири показал, что по rNa/rCl , Ca/Cl и $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg)$ отношениям все изученные воды обособляются в несколько групп (рис. 5). Первая включает пресные инфильтрационные воды горно-складчатого обрамления, которые характеризуются величиной общей минерализации до 1 г/дм^3 и преимущественно гидрокарбонатным кальциевым составом и отношениями rNa/rCl , Ca/Cl и $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg) > 1$.

Вторая группа объединяет современные инфильтрационные рассолы выщелачивания каменной соли в пределах Нордвикского солянокупольного района на Нордвикской, Южно-Тиганской и Илья-Кожевниковской структурах Анабаро-Хатангского бассейна с величиной общей минерализации $153\text{--}312 \text{ г/дм}^3$ хлоридного натриевого состава [56]. Отношение rNa/rCl составляет $0,90\text{--}1,01$; Ca/Cl до $0,02$, $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg)$ от следов до $0,07$, а интегрированный показатель метаморфизации рассолов S закономерно находится около 0 (рис. 6).

В третью группу следует объединить подземные воды и рассолы доюрских комплексов Западной Сибири. Установлены особенности геохимии

подземных вод и рассолов и распределения основных коэффициентов в зависимости от состава вмещающих пород. Так, наиболее низкая минерализация до 35 г/дм^3 и высокие rNa/rCl и $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg)$ отношения характерны для вод, распространенных в пределах магматических и метаморфических формаций, они же отличаются наименьшими значениями Ca/Cl . Рассолы, распространенные в осадочных, преимущественно карбонатных породах, характеризуются минерализацией от $35\text{--}40$ до 100 г/дм^3 хлоридным натриевым и хлоридным натриево-кальциевым составом. Отношение rNa/rCl колеблется от $0,5$ до $0,94$; Ca/Cl от $0,04$ до $0,13$, а $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg)$ составляет $0,01\text{--}0,11$. Таким образом, подтверждается сделанный нами ранее вывод о том, что подземные воды и рассолы Западной Сибири находятся на начальной стадии метаморфизации химического состава [25]. Рассолы венд-кембрийских отложений Предъенисейского осадочного бассейна имеют схожие характеристики, при этом наблюдается незначительный сдвиг в направлении сверхкрепких рассолов Сибирской платформы, ввиду переходного типа гидрогеологической структуры этого района между Западно-Сибирским и Тунгусским артезианскими бассейнами, что отмечалось нами ранее [18, 57–61].

К четвертой, заключительной, группе относятся сверхкрепкие рассолы Сибирской платформы с величиной общей минерализации от 324 до 563 г/дм^3 хлоридного кальциевого состава. Они характеризуются значениями отношения $rNa/rCl < 0,5$; Ca/Cl от $0,22$ до $0,47$, и $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg) < 0,07$.

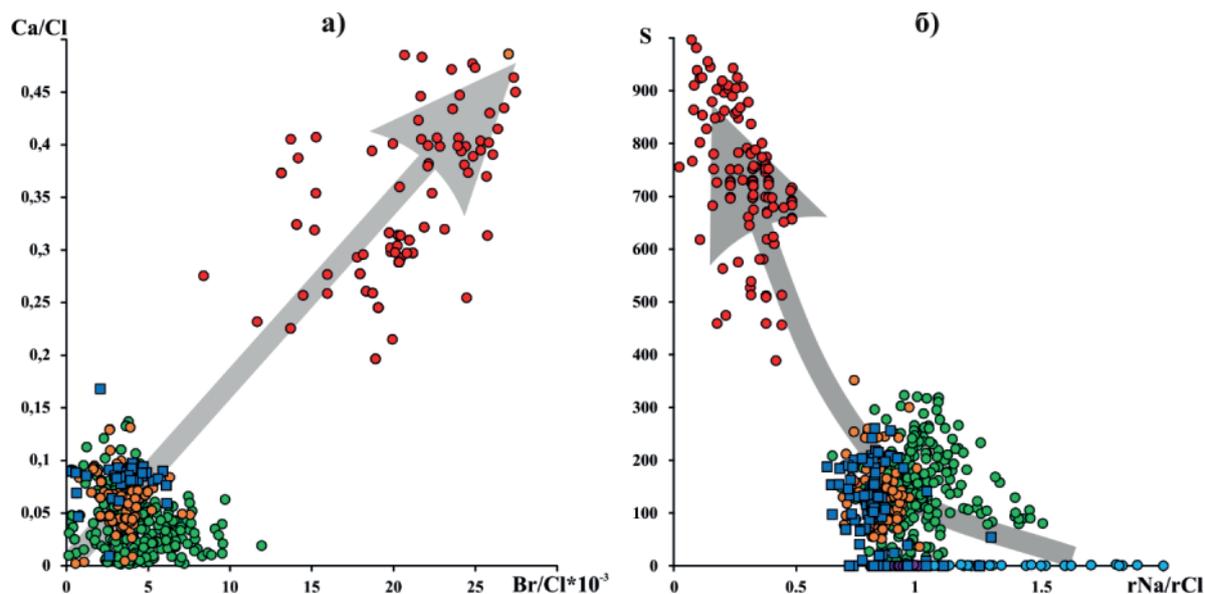


Рис. 6. Расположение точек исследуемых рассолов на диаграммах Ca/Cl – $Br/Cl \cdot 10^{-3}$ (а) и S – rNa/rCl (б). Условные обозначения см. рис. 5

Fig. 6. Points location of the investigated brines on the diagrams of Ca/Cl to $Br/Cl \cdot 10^{-3}$ (a) and S to rNa/rCl (б). For legend, see Fig. 5

Степень их метаморфизации наивысшая по основным отношениям, включая интегрированный показатель метаморфизации рассолов (S), который составляет более 400.

Таким образом, уровень метаморфизации химического состава подземных вод и рассолов Сибири растет в направлении от районов распространения солянокупольных структур к территориям с магматическими и метаморфическими формациями в основании мезозойско-кайнозойского осадочного чехла. Далее следуют области развития осадочных формаций преимущественно девонского возраста, представленных карбонатными породами, и заключительным звеном в этой цепи выступают сверхкрепкие хлоридные кальциевые рассолы. Совместное рассмотрение rNa/rCl , Ca/Cl , $Br/Cl \cdot 10^{-3}$ коэффициентов с интегрированным показателем S подтверждает правильность сделанных выводов

Заключение

В доюрских отложениях южных районов Обь-Иртышского междуречья развиты преимущественно хлоридные натриевые воды и рассолы с общей минерализацией от 8 до 100 г/дм³, при величине минерализации фоновых вод 40–45 г/дм³. Доминируют в изучаемом регионе рассолы хлоридного натриевого состава с величиной общей минерализации 50–70 г/дм³, метаморфизованные в той степени, которая характерна для бессолевого отложения. На основе анализа геологической истории изучаемой территории и гидрогеохимических данных установлено наличие в разрезе доюрских пород трех основных генетических типов подземных вод и рассо-

лов: 1) седиментогенных, 2) литогенных (термодегидратационных) и древних инфильтрационных, 3) конденсатогенных. В южных и северо-восточных районах исследуемого региона доминируют древние инфильтрационные воды. Литогенные воды установлены преимущественно в западных районах в области развития вулканогенно-осадочных пород, где проявлены процессы термодегидратации глинистых минералов. Седиментогенные воды и слабые рассолы развиты на большей части исследуемой территории. Конденсатогенные воды выявлены в приконтурных зонах залежей углеводородов. Сравнительный анализ геохимических особенностей подземных вод и рассолов доюрских комплексов Сибири показал, что по rNa/rCl , Ca/Cl , $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg)$ и другим отношениям доюрские рассолы южных районов Обь-Иртышского междуречья находятся на начальной стадии метаморфизации химического состава.

Исследования проводились при финансовой поддержке Проекта IX.131.3.2. «Геохимия, генезис и механизмы формирования состава подземных вод арктических районов осадочных бассейнов Сибири», Программы IX.131.3. «Эволюция гидрогеологических систем осадочных бассейнов Сибири», Приоритетного направления IX.131. «Геология месторождений углеводородного сырья, фундаментальные проблемы геологии и геохимии нефти и газа, научные основы формирования сырьевой базы традиционных и нетрадиционных источников углеводородного сырья», Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук Российской Федерации на 2013–2020 годы, Российского Фонда Фундаментальных исследований и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 17–45–540086-р_а и № 17–45–543249-р_мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочкарев В.С. Строение фундамента Западно-Сибирской плиты и некоторые общие вопросы тектоники платформенных областей // Проблемы тектоники нефтегазоносных областей Сибири: Тр. ЗапСибНИГНИ. – 1977. – Вып. 125. – С. 5–12.
2. Геология нефти и газа Западной Сибири / А.Э. Конторович, И.И. Нестеров, Ф.К. Салманов, В.С. Сурков, А.А. Трофимук, Ю.Г. Эрвье. – М.: Недра, 1975. – 680 с.
3. Конторович А.Э., Стасова О.Ф. Геохимия юрских и палеозойских нефтей юго-восточных районов Западно-Сибирской плиты // Проблемы геологии и нефтегазоносности доюрских отложений Западно-Сибирской плиты: Тр. СНИИГГиМСа. – 1977. – Вып. 255. – С. 46–62.
4. Порфилов В.П., Ключко В.П. Геологические аспекты нефтегазоносности фундамента (на примере Западной Сибири) // Особенности глубинного строения земной коры. – Киев: Наукова думка, 1982. – С. 5–15.
5. Сурков В.С., Жеро О.Г. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. – М.: Недра, 1981. – 143 с.
6. Абросимова О.О., Рыжкова С.В. Некоторые особенности ловушек, коллекторов и залежей углеводородов в доюрских породах Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 1997. – № 3. – С. 22–25.
7. Воронов В.Н., Коркунов В.К., Ивашкина Д.А. Палеозойские рифогенные постройки – новые нефтегазоносные объекты Ямала // Геология нефти и газа. – 1997. – № 6. – С. 4–9.
8. Гиршгорн Л.Ш., Кабалык В.Г., Соседков В.С. Окраины Сибири как объекты нефтегазопоисковых работ // Геология нефти и газа. – 1988. – № 4. – С. 7–12.
9. Максимов С.П., Самолетов М.В., Немченко Н.Н., Клемина Л.Н., Копеев В.Д. Палеозойский карбонатный комплекс – перспективный объект поисков залежей УВ на Ямале // Геология нефти и газа. – 1987. – № 10. – С. 30–36.
10. Фомин А.Н. Катагенез и перспективы нефтегазоносности палеозойских отложений Среднего Приобья // Геология и геофизика. – 1994. – Т. 35. – № 11. – С. 63–70.
11. Кругликов Н.М., Нелюбин В.В., Яковлев О.Н. Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна и особенности формирования залежей углеводородов. – Л.: Недра, 1985. – 279 с.
12. Карцев А.А., Абукова Л.А. Нефтегазовая гидрогеология на современном этапе // Известия вузов. Нефть и газ. – 1998. – № 4. – С. 12–17.
13. Шварцев С.Л., Новиков Д.А. Природа вертикальной гидрогеохимической зональности нефтегазоносных отложений (на примере Надым-Газовского междуречья, Западная Сибирь) // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45. – № 8. – С. 1008–1020.
14. Запывалов Н.П., Богатырева О.А. Гидродинамика рифогенных массивов среднего палеозоя (на примере Пермского Приуралья и юга Западной Сибири) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – № 5. – С. 8–19.
15. Новиков Д.А. Геолого-гидрогеологические условия палеозойского фундамента Новопортовского нефтегазоконденсатного месторождения // Известия вузов. Нефть и газ. – 2005. – № 5. – С. 14–20.
16. Новиков Д.А., Лепокуров А.В. Гидрогеологические условия нефтегазоносных отложений на структурах южной части Ямало-Карской депрессии // Геология нефти и газа. – 2005. – № 5. – С. 21–30.
17. Новиков Д.А., Сухорукова А.Ф. Гидрогеологические условия нефтегазоносных отложений Березовского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) // Известия вузов. Геология и разведка. – 2009. – № 5. – С. 45–56.
18. Новиков Д.А., Шварцев С.Л. Гидрогеологические условия Предьенисейской нефтегазоносной субпровинции // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 10. – С. 1131–1143.
19. Захаров С.Б., Новиков Д.А. Особенности водных ореолов рассеяния углеводородных залежей в пределах палеозойского комплекса Томской области // Известия вузов. Нефть и газ. – 2010. – № 3. – С. 9–17.
20. Матусевич В.М., Рыльков А.В., Абдрашитова Р.Н. Литогидрогеохимия – методологическая основа наращивания ресурсной базы углеводородов // Известия вузов. Нефть и газ. – 2011. – № 5. – С. 10–17.
21. Матусевич В.М., Абдрашитова Р.Н. Геодинамическая концепция в современной гидрогеологии (на примере Западно-Сибирского мегабассейна) // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4–5. – С. 1157–1160.
22. Матусевич В.М., Абдрашитова Р.Н. Гидрогеологическое поле зоны сочленения Урала и Западной Сибири // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–3. – С. 590–596.
23. Новиков Д.А. Оценка современного состояния нефтегазоносной системы по результатам изучения водно-газовых равновесий (на примере палеозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири) // Отечественная геология. – 2015. – № 3. – С. 7–32.
24. Novikov D.A., Sukhorukova A.F. Hydrogeology of petroleum deposits in the northwestern margin of the West Siberian Artesian Basin // Arabian Journal of Geosciences. – 2015. – V. 8. – № 10. – P. 8703–8719.
25. Novikov D.A., Saraev M.M. Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins // Shiyou Kantan Yu Kaifa/Petroleum Exploration and Development. – 2017. – V. 44. – № 5. – P. 737–744.
26. Дульцев Ф.Ф., Новиков Д.А. Геотермическая зональность Предьенисейского осадочного бассейна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 11. – С. 6–15.
27. Connolly C.A., Walter L.M., Baadsgaard H. Origin and evolution of formation waters, Alberta Basin, Western Canada Sedimentary Basin: I: Chemistry // Applied Geochemistry. – 1990. – № 5 (4). – P. 375–395.
28. Grasby S.E., Chen Z., Dewing K. Formation water geochemistry of the Sverdrup Basin: Implications for hydrocarbon development in the High Arctic // Applied Geochemistry. – 2012. – V. 27. – № 8. – P. 1623–1632.
29. Hitchon B., Sauveplane C.M., Underschlutz J.R. Hydrogeology, geopressures and hydrocarbon occurrences, Beaufort-Mackenzie Basin // Bulletin of Canadian Petroleum Geology. – 1990. – № 38 (2). – P. 215–235.
30. Paleohydrogeology of the Cretaceous sediments of the Williston Basin using stable isotopes of water / M.J. Hendry, S.L. Barbour, K. Novakowski, L.I. Wassenaar // Water resources research. – 2013. – V. 49. – № 8. – P. 4580–4592.
31. Formation waters from Cambrian-age strata, Illinois Basin, USA: Constraints on their origin and evolution / S.V. Panno, K.C. Hackley, R.A. Locke, I.G. Krapac, B. Wimmer, A. Iranmanesh, W.R. Kelly // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2013. – V. 122. – P. 184–197.
32. Iampen H.T., Rostron B.J. Hydrogeochemistry of pre-Mississippian brines, Williston Basin, Canada-USA // Journal of Geochemical Exploration. – 2000. – V. 69–70. – P. 29–35.
33. Panno S.V., Askari Z., Kelly W.R. Recharge and Groundwater Flow within an Intracratonic Basin, Midwestern United States // Groundwater. – 2018. – V. 56. – № 1. – P. 32–45.
34. Synthetic saline-aqueous and hydrocarbon fluid inclusions trapped in calcite at temperatures and pressures relevant to hydrocarbon basins: a reconnaissance study / Y. Chen, M. Steele-MacInnis, Y. Ge, Z. Zhou, Y. Zhou // Marine and Petroleum Geology. – 2016. – № 76. – P. 88–97.
35. Identification and quantification of regional brine and road salt sources in watersheds along the New York/Pennsylvania border,

- USA / J.D. Johnson, J.R. Graney, R.C. Capo, B.W. Stewart // Applied Geochemistry. – 2015. – № 60. – P. 37–50.
36. Tikhomirov V. Paragenesis of fluids under evaporates in the Volga-Ural Basin // Marine and Petroleum Geology. – 2015. – № 64. – P. 334–346.
37. Al-Hajeri M.M., Bowden S.A. Application of formation water geochemistry to assess seal integrity of the Gotnia Formation, Kuwait // Arab J Geosci. – 2017. – V. 10. – № 56. – P. 10.
38. Geochemical characteristics of water-dissolved gases and implications on gas origin of Sinian to Cambrian reservoirs of Anyue gas field in Sichuan Basin, China / S. Qin, F. Li, Z. Zhou, G. Zhou // Marine and Petroleum Geology. – 2018. – № 89. – P. 83–90.
39. Gupta I., Wilson A.M., Rostron B.J. Cl/Br compositions as indicators of the origin of brines: Hydrogeologic simulations of the Alberta Basin, Canada // Bulletin of the Geological Society of America. – 2012. – № 124 (1–2). – P. 200–212.
40. Organic geochemical identification of reservoir oil-gas-water layers in the Junggar Basin, NW China / M. Wu, J. Cao, X. Wang, Y. Tang, B. Xiang, B. Wang // Marine and Petroleum Geology. – 2014. – № 57. – P. 594–602.
41. Comparison of fluid geochemistry and microbiology of multiple organic-rich reservoirs in the Illinois Basin, USA: Evidence for controls on methanogenesis and microbial transport / M.E. Schlegel, J.C. McIntosh, B.L. Bates, M.F. Kirk, A.M. Martini // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2011. – № 75. – P. 1903–1919.
42. Fluid evolution in the Dabei Gas Field of the Kuqa Depression, Tarim Basin, NW China: Implications for fault-related fluid flow / X. Guo, K. Liu, C. Jia, Y. Song, M. Zhao, Q. Zhuo, X. Lu // Marine and Petroleum Geology. – 2016. – № 78. – P. 1–16.
43. McIntosh J.C., Walter L.M. Paleowaters in Silurian-Devonian carbonate aquifers: Geochemical evolution of groundwater in the Great Lakes region since the Late Pleistocene // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2006. – № 70. – P. 2454–2479.
44. Demir I., Seyler B. Chemical composition and geologic history of saline waters in Aux Vases and Cypress Formations, Illinois Basin // Aquatic Geochemistry. – 1999. – V. 5. – № 3. – P. 281–311.
45. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Палеозой Западной Сибири / Е.А. Елкин, В.И. Краснов, Н.К. Бахарев, Е.В. Белова, В.Н. Дубатов, Н.Г. Изох, А.Г. Клец, А.Э. Конторович, Л.Г. Перегоедов, Н.В. Сенников, И.Г. Тимохина, В.Г. Хромых. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. Филиал «Гео», 2001. – 163 с.
46. Палеозойские фациальные мегазоны в структуре фундамента Западно-Сибирской геосинеклизы / Е.А. Елкин, А.Э. Конторович, Н.К. Бахарев, С.Ю. Беляев, А.И. Варламов, Н.Г. Изох, А.В. Каныгин, В.А. Каштанов, Н.П. Кирда, А.Г. Клец, В.А. Конторович, В.И. Краснов, В.А. Кривин, С.А. Моисеев, О.Т. Обут, С.В. Сараев, Н.В. Сенников, В.М. Тищенко, Ю.Ф. Филиппов, А.В. Хоменко, В.Г. Хромых // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48. – № 6. – С. 633–650.
47. Тектоническое строение и история развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое / В.А. Конторович, С.Ю. Беляев, А.Э. Конторович, В.О. Красавчиков, А.А. Конторович, О.И. Супруненко // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42. – № 11–12. – С. 1832–1845.
48. Геология и полезные ископаемые России. Западная Сибирь. В шести томах. Т. 2 // Гл. ред. В.П. Орлов. Ред. 2-го тома: А.Э. Конторович, В.С. Сурков. – СПб.: Изд-во «ВСЕГЕИ», 2000. – 477 с.
49. Шварцев С.Л. Химический состав и изотопы стронция рассолов Тунгусского бассейна в связи с проблемой их формирования // Геохимия. – 2000. – № 11. – С. 1170–1184.
50. Шварцев С.Л. Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами. Обзор // Геология и геофизика. – 1991. – № 12. – С. 16–50.
51. Новиков Д.А. Гидрогеохимия процессов катагенетического преобразования осадочных пород нефтегазоносных отложений арктических районов Западно-Сибирского мегабассейна // Известия ВУЗов. Нефть и газ. – 2016. – № 6. – С. 19–25.
52. Букаты М.Б. Гидрогеологическое строение западной части Сибирской платформы (в связи с поисками, разведкой и разработкой месторождений нефти и газа) // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 11. – С. 1201–1217.
53. Особенности геохимической эволюции хлоридных кальциевых рассолов Оленекского криоартезианского бассейна в позднем кайнозое / С.В. Алексеев, Л.П. Алексеева, С.Л. Шварцев, Н.С. Трифионов, Е.С. Сидкина // Геохимия. – 2017. – № 5. – С. 429–444.
54. Novikov D.A., Trifonov N.S. Hydrogeologic Implications of Industrial Effluent Disposal of the Yurubcheno-Tokhomo Field (Siberian Craton, Russia) // Arabian Journal of Geosciences. – 2016. – V. 9. – № 1. – P. 1–14.
55. Novikov D.A. Distribution of Cambrian salts in the western Siberian Craton (Yurubcheno-Tokhomo field, Russia) // Arabian Journal of Geosciences. – 2017. – V. 10. – № 1. – P. 1–8.
56. Черных А.В., Новиков Д.А. Палеогидрогеология Анабаро-Хатангского бассейна // Известия Вузов. Нефть и газ. – 2018. – № 4. – С. 27–33.
57. Novikov D.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F. Geochemistry of brines in Vendian deposits of the Siberian platform // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – № 193 (1). – 012052. – 7 p.
58. Novikov D.A. Genetic classification of subsurface waters and brines of Arctic regions of Siberia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – № 193 (1). – 012049. – 8 p.
59. Дульцев Ф.Ф., Новиков Д.А., Черных А.В., Рыжкова С.В. Водные ореолы рассеяния палеозойских залежей углеводородов в пределах южных районов Обь-Иртышского междуречья // Подземные воды Востока России: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием). – Новосибирск: ИПЦ НГУ. – 2018. – С. 183–189.
60. Дульцев Ф.Ф., Новиков Д.А. Особенности гидрогеохимии доюрских комплексов Предъенсейского осадочного бассейна // Подземные воды Востока России: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием). – Новосибирск: ИПЦ НГУ. – 2018. – С. 190–197.
61. Новиков Д.А., Черных А.В., Юрчик И.И., Дульцев Ф.Ф., Хилько В.А. Гидрогеохимия терригенного комплекса венда Сибирской платформы // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Материалы третьей Всероссийской научной конференции с международным участием. – Улан-Уде: БНЦ СО РАН, 2018. – С. 456–460.

Поступила 24.04.2018 г.

Информация об авторах

Новиков Д.А., кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук; доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа Новосибирского национального исследовательского государственного университета.

Рыжкова С.В., кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геологии нефти и газа Западной Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук; ассистент кафедры геологии месторождений нефти и газа Новосибирского национального исследовательского государственного университета.

Дульцев Ф.Ф., младший научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

Черных А.В., младший научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

Сесь К.В., младший научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.

Ефимцев Н.А., магистрант кафедры геологии месторождений нефти и газа Новосибирского национального исследовательского государственного университета.

Шохин А.Е., бакалавр кафедры геологии месторождений нефти и газа Новосибирского национального исследовательского государственного университета.

UDC 556.314:551.762.3(571.1)

OIL AND GAS HYDROGEOCHEMISTRY OF THE PRE-JURASSIC DEPOSITS IN THE SOUTHERN AREAS OF OB-IRTYSH INTERFLUVES

Dmitry A. Novikov^{1,2},
NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Svetlana V. Ryzhkova^{1,2},
RizhkovaSV@ipgg.sbras.ru

Fedor F. Dultsev¹,
DultsevFF@ipgg.sbras.ru

Anatoliy V. Chernykh¹,
ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

Ksenia V. Ses¹,
SesKV@ipgg.sbras.ru

Nikolay A. Efimtsev²,
EfimtsevNA@ipgg.sbras.ru

Andrey E. Shokhin²,
ShokhinAE@ipgg.sbras.ru

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
3, Academician Koptyug avenue, Novosibirsk, 630090, Russia.

² Novosibirsk State University,
2, Pirogov street, Novosibirsk, 630090, Russia.

The relevance of the research is in solving the fundamental and applied problems of hydrogeology and hydrogeochemistry of the pre-Jurassic basement of the West Siberian artesian basin and is of great importance for studying the crust of the platforms and folded belts in general. The uniqueness and complexity of the facility lies in the fact that the West Siberian basin is the largest section of the young platform, under the cover of which the complexes with different age and different geodynamical and hydrogeological characteristics are articulated. Scientific generalizations of the available factual data have not been conducted for more than 30 years! In addition, the relevance of the research is to assess the current state of the water-pressure systems of the pre-Jurassic complexes, and in developing the hydrogeological criteria for their oil and gas content and refinement of the search and exploration of hydrocarbons in the pre-Jurassic base of Western Siberia.

The aim of the research is to reveal chemical and gas compound of groundwaters and brines of the pre-Jurassic complexes, to establish the possible genetic types of groundwaters and brines and their spatial distribution; to assess the metamorphic degree of brines in comparison with a hydrogeochemical standards of Siberia.

Methods: using the methods of V.A. Sulin, A.A. Kartsev, S.L. Shvartsev, N.M. Kruglikov, V.V. Nelyubin, O.N. Yakovlev, V.M. Matushevich and other researchers to identify the features of geochemistry of groundwater and brines, to establish the genetic type of groundwater and brines, by using the ratio-coefficient of macro- and micro-compounds such as: Na/rCl , Cl/Br , Ca/Cl , $r(HCO_3+CO_3)/r(Ca+Mg)$, B/Br , $Br/Cl \cdot 10^{-3}$, $Sr/Cl \cdot 10^{-3}$ and others. Using the integrated-coefficient S (by S.L. Shvartsev) and ratio of Ca/Cl , $Br/Cl \cdot 10^{-3}$, $Sr/Cl \cdot 10^{-3}$ to estimate the degree of metamorphism of brines.

Results. The paper introduces the geochemical studies of groundwaters and brines of the pre-Jurassic sediments in the southern regions of the Ob-Irtysh interfluvium. It is established that underground waters and brines with a total mineralization of 4 to 100 g/dm³ of Cl-Na, Cl-Na-Ca and Cl-HCO₃-Na composition are developed in the region, with dominance of the first type. Carrying out a retrospective of hydrogeological history and a detailed analysis of hydrogeochemical data it is possible to assume the dominance of sedimentogenic brines in the section and the presence of lithogenic (thermodegradation), ancient infiltrogenic and condensate waters. A combined consideration of the ratio-coefficient (rNa/rCl , Ca/Cl , $Br/Cl \cdot 10^{-3}$, $Sr/Cl \cdot 10^{-3}$) with the integrated indicator of brines metamorphism (S) confirms that in this area the brines are at the initial stage of metamorphism of the chemical composition.

Key words:

Oil and gas hydrogeochemistry, brine, genetic type, metamorphism degree, Ob-Irtysh interfluvium, Western Siberia.

The research was financially supported by the project IX.131.3.2. «Geochemistry, genesis and mechanisms of formation of underground water composition in the Arctic regions of the sediment basins in Siberia», program IX.131.3. «Evolution of hydrogeological systems of sediment basins in Siberia», priority area IX.131. «Geology of hydrocarbon raw material fields, fundamental issues in geology and geochemistry of oil and gas, scientific bases for formation of raw material base of conventional and unconventional sources of hydrocarbon raw materials», Program of fundamental scientific researches of the State science academies of the Russian Federation for 2013–2020, Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Novosibirsk region within the scientific project no. 17–45–540086 and no. 17–45–543249.

REFERENCES

- Bochkarev V.S. Stroeniye fundamenta Zapadno-Sibirskoy plity i nekotorye obshchie voprosy tektoniki platformnykh oblastey [The structure of the basement of the West Siberian plate and some general questions of the tectonics of platform regions]. *Problemy tektoniki neftegazonosnykh oblastey Sibiri: Tr. ZapSibNIGNI*, 1977, no. 125, pp. 5–12.
- Kontorovich A.E., Nesterov I.I., Salmanov F.K., Surkov V.S., Trofimuk A.A., Ervye Yu.G. *Geologiya nefti i gaza Zapadnoy Sibiri* [Geology of oil and gas in Western Siberia]. Moscow, Nedra Publ., 1975. 680 p.
- Kontorovich A.E., Stasova O.F. Geokhimiya yurskikh i paleozoy-skikh neftey yugo-vostochnykh rayonov Zapadno-Sibirskoy plity [Geochemistry of Jurassic and Paleozoic oils of the southeastern regions of the West Siberian plate]. *Problemy geologii i neftegazonosnosti doyrskikh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy plity: Tr. SNI-IGGIMSa*, 1977, no. 255, pp. 46–62.
- Porfilev V.P., Klochko V.P. Geologicheskie aspekty neftegazonosnosti fundamenta (na primere Zapadnoy Sibiri) [Geological aspects of oil and gas bearing basement (on the example of Western Siberia)]. *Osobennosti glubinnogo stroeniya zemnoy kory* [Features of deep crustal structure]. Kiyev, Naukova dumka Publ., 1982. pp. 5–15.
- Surkov V.S., Zhero O.G. *Fundament i razvitie platformnogo chekhla Zapadno-Sibirskoy plity* [Foundation and development of the platform cover of the West Siberian plate]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 143 p.
- Abrosimova O.O., Ryzhkova S.V. Some features of traps, reservoirs and hydrocarbon deposits in the pre-Jurassic rocks of Western Siberia. *Oil and gas geology*, 1997, no. 3, pp. 22–25. In Rus.
- Voronov V.N., Korkunov V.K., Ivashkeeva D.A. Paleozoic reef building – new oil and gas prospecting facilities of Yamal. *Oil and gas geology*, 1997, no. 6, pp. 4–9. In Rus.
- Girshgorn L.Sh., Kabalyk V.G., Sosedkov V.S. Okrainy Sibiri kak obyekty neftegazoposkovykh rabot [Outskirts of Siberia as objects of oil and gas exploration]. *Geologia nefti i gaza*, 1988, no. 4, pp. 7–12.
- Maksimov S.P., Samoletov M.V., Nemchenko N.N., Klenina L.N., Kopeev V.D. Paleozoy-skiy karbonatny kompleks – perspektivnyy obyekts poiskov zalezhey UV na Yamale [The Paleozoic carbonate complex is a promising object for the search for hydrocarbon deposits in the Yamal]. *Geologia nefti i gaza*, 1987, no. 10, pp. 30–36.
- Fomin A.N. Katagenez i perspektivy neftegazonosnosti paleozoy-skikh otlozheniy Srednego Priobya [Katagenesis and prospects of oil and gas content of Paleozoic deposits of the Middle Ob region]. *Geologia i Geophisica*, 1994, vol. 35, no. 11, pp. 63–70.
- Kruglikov N.M., Nelyubin V.V., Yakovlev O.N. *Gidrogeologiya Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo basseyna i osobennosti formirovaniya zalezhey uglevodorodov* [Hydrogeology of the West Siberian oil and gas bearing basin and features of formation of hydrocarbon deposits]. Leningrad, Nedra Publ., 1985. 279 p.
- Kartsev A.A., Abukova L.A. Neftegazovaya gidrogeologiya na sovremennom etape [Oil and gas hydrogeology at the present stage]. *Izvestia vusov. Neft i gas*, 1998, no. 4, pp. 12–17.
- Shvartsev S.L., Novikov D.A. The nature of the vertical hydrogeochemical zonation of oil and gas bearing deposits (on the example of the Nadym-Tazov interfluvium, Western Siberia). *Russian Geology and Geophysics*, 2004, vol. 45, no. 8, pp. 1008–1020. In Rus.
- Zapivalov N.P., Bogatyreva O.A. Hydrodynamics of Reefogenic Massifs of the Middle Paleozoic (on the Example of Perm Urals and South of Western Siberia). *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2005, no. 5, pp. 8–19. In Rus.
- Novikov D.A. Geological and hydrogeological conditions of the Paleozoic basement of the Novoportovskoe oil and gas condensate field. *Higher Educational Institutions News. Oil and Gas*, 2005, no. 5, pp. 14–20. In Rus.
- Novikov D.A., Lepokurov A.V. Hydrogeological conditions of oil and gas bearing deposits on the structures of the southern part of the Yamal-Kara depression. *Oil and gas geology*, 2005, no. 5, pp. 21–30. In Rus.
- Novikov D.A., Sukhorukova A.F. Hydrogeological conditions of oil and gas bearing deposits of the Berezovsky oil and gas bearing region (Western Siberia). *Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration*, 2009, no. 5, pp. 45–56. In Rus.
- Novikov D.A., Shvartsev S.L. Hydrogeological conditions of the Predeniseisk oil and gas bearing subprovince. *Russian Geology and Geophysics*, 2009, vol. 50, no. 10, pp. 1131–1143. In Rus.
- Zakharov S.B., Novikov D.A. Peculiarities of aquatic haloes in the dispersion of hydrocarbon deposits within the Paleozoic complex of the Tomsk region. *Higher Educational Institutions News. Oil and Gas*, 2010, no. 3, pp. 9–17. In Rus.
- Matusevich V.M., Rylkov A.V., Abdrashitova R.N. Lithohidrogeochemistry is the methodological basis for increasing the resource base of hydrocarbons. *Higher Educational Institutions News. Oil and Gas*, 2011, no. 5, pp. 10–17. In Rus.
- Matusevich V.M., Abdrashitova R.N. Geodynamic concept in modern hydrogeology (on the example of the West Siberian megabasin). *Fundamental research*, 2013, no. 4–5, pp. 1157–1160. In Rus.
- Matusevich V.M., Abdrashitova R.N. Hydrogeological field of the junction zone of the Urals and Western Siberia. *Fundamental research*, 2014, no. 9–3, pp. 590–596. In Rus.
- Novikov D.A. Estimation of the current state of the oil and gas bearing system based on the results of studying water-gas equilibria (on the example of the Paleozoic deposits of the southeastern regions of Western Siberia). *Otechestvennaya geologiya*, 2015, no. 3, pp. 7–32. In Rus.
- Novikov D.A., Sukhorukova A.F. Hydrogeology of petroleum deposits in the northwestern margin of the West Siberian Artesian Basin. *Arabian Journal of Geosciences*, 2015, vol. 8, no. 10, pp. 8703–8719.
- Novikov D.A., Saraev M.M. Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins. *Petroleum Exploration and Development*, 2017, vol. 44, no. 5, pp. 737–744.
- Dultsev F.F., Novikov D.A. Geothermal zoning of the Predenisey sedimentary basin. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2017, vol. 328, no. 11, pp. 6–15. In Rus.
- Connolly C.A., Walter L.M., Baadsgaard H. Origin and evolution of formation waters, Alberta Basin, Western Canada Sedimentary Basin: I. Chemistry. *Applied Geochemistry*, 1990, no. 5 (4), pp. 375–395.
- Grasby S.E., Chen Z., Dewing K. Formation water geochemistry of the Sverdrup Basin: Implications for hydrocarbon development in the High Arctic. *Applied Geochemistry*, 2012, vol. 27, no. 8, pp. 1623–1632.
- Hitchon B., Sauveplane C.M., Underschlutz J.R. Hydrogeology, geopressures and hydrocarbon occurrences, Beaufort-Mackenzie Basin. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 1990, no. 38 (2), pp. 215–235.
- Hendry M.J., Barbour S.L., Novakowski K., Wassenaar L.I. Paleohydrogeology of the Cretaceous sediments of the Williston Basin using stable isotopes of water. *Water resources research*, 2013, vol. 49, no. 8, pp. 4580–4592.
- Panno S.V., Hackley K.C., Locke R.A., Krapac I.G., Wimmer B., Iranmanesh A., Kelly W.R. Formation waters from Cambrian-age strata, Illinois Basin, USA: Constraints on their origin and evolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2013, vol. 122, pp. 184–197.
- Iampen H.T., Rostrom B.J. Hydrogeochemistry of pre-Mississippian brines, Williston Basin, Canada–USA. *Journal of Geochemical Exploration*, 2000, vol. 69–70, pp. 29–35.

33. Panno S.V., Askari Z., Kelly W.R. Recharge and Groundwater Flow within an Intracratonic Basin, Midwestern United States. *Groundwater*, 2018, vol. 56, no. 1, pp. 32–45.
34. Chen Y., Steele-MacInnis M., Ge Y., Zhou Z., Zhou Y. Synthetic saline-aqueous and hydrocarbon fluid inclusions trapped in calcite at temperatures and pressures relevant to hydrocarbon basins: A reconnaissance study. *Marine and Petroleum Geology*, 2016, no. 76, pp. 88–97.
35. Johnson J.D., Graney J.R., Capo R.C., Stewart B.W. Identification and quantification of regional brine and road salt sources in watersheds along the New York/Pennsylvania border, USA. *Applied Geochemistry*, 2015, no. 60, pp. 37–50.
36. Tikhomirov V. Paragenesis of fluids under evaporates in the Volga-Ural Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 2015, no. 64, pp. 334–346.
37. Al-Hajeri M.M., Bowden S.A. Application of formation water geochemistry to assess seal integrity of the Gotnia Formation, Kuwait. *Arab J Geosci*, 2017, vol. 10, no. 56, 10 p.
38. Qin S., Li F., Zhou Z., Zhou G. Geochemical characteristics of water-dissolved gases and implications on gas origin of Sinian to Cambrian reservoirs of Anyue gas field in Sichuan Basin, China. *Marine and Petroleum Geology*, 2018, no. 89, pp. 83–90.
39. Gupta I., Wilson A.M., Rostron B.J. Cl/Br compositions as indicators of the origin of brines: Hydrogeologic simulations of the Alberta Basin, Canada. *Bulletin of the Geological Society of America*, 2012, no. 124 (1–2), pp. 200–212.
40. Wu M., Cao J., Wang X., Tang Y., Xiang B., Wang B. Organic geochemical identification of reservoir oil-gas-water layers in the Junggar Basin, NW China. *Marine and Petroleum Geology*, 2014, no. 57, pp. 594–602.
41. Schlegel M.E., McIntosh J.C., Bates B.L., Kirk M.F., Martini A.M. Comparison of fluid geochemistry and microbiology of multiple organic-rich reservoirs in the Illinois Basin, USA: Evidence for controls on methanogenesis and microbial transport. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2011, no. 75, pp. 1903–1919.
42. Guo X., Liu K., Jia C., Song Y., Zhao M., Zhuo Q., Lu X. Fluid evolution in the Dabai Gas Field of the Kuqa Depression, Tarim Basin, NW China: Implications for fault-related fluid flow. *Marine and Petroleum Geology*, 2016, no. 78, pp. 1–16.
43. McIntosh J.C., Walter L.M. Paleowaters in Silurian-Devonian carbonate aquifers: Geochemical evolution of groundwater in the Great Lakes region since the Late Pleistocene. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2006, no. 70, pp. 2454–2479.
44. Demir I., Seyler B. Chemical composition and geologic history of saline waters in Aux Vases and Cypress Formations, Illinois Basin. *Aquatic Geochemistry*, 1999, vol. 5, no. 3, pp. 281–311.
45. Elkin E.A., Krasnov V.I., Bakharev N.K., Belova E.V., Dubatolov V.N., Izokh N.G., Klets A.G., Kontorovich A.E., Peregodov L.G., Sennikov N.V., Timokhina I.G., *Khromykh V.G. Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Paleozoy Zapadnoy Sibiri* [Stratigraphy of oil and gas bearing basins of Siberia. Paleozoic of Western Siberia]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2001. 163 p.
46. Elkin E.A., Kontorovich A.E., Bakharev N.K., Belyaev S.Yu., Varlamov A.I., Izokh N.G., Kanygin A.V., Kashtanov V.A., Kirida N.P., Klets A.G., Kontorovich V.A., Krasnov V.I., Krivin V.A., Moiseev S.A., Obut O.T., Saraev S.V., Sennikov N.V., Tishchenko V.M., Filippov Yu.F., Khomenko A.V., Khromykh V.G. Paleozoic facies megazones in the structure of the basement of the West Siberian geosyncline. *Russian Geology and Geophysics*, 2007, vol. 48, no. 6, pp. 633–650. In Rus.
47. Kontorovich V.A., Belyaev S.Yu., Kontorovich A.E., Krasavchikov V.O., Kontorovich A.A., Suprunenko O.I. Tectonic structure and history of development of the West Siberian geosyncline in the Mesozoic and Cenozoic. *Russian Geology and Geophysics*, 2001, vol. 42, no. 11–12, pp. 1832–1845. In Rus.
48. *Geologiya i poleznye iskopayemye Rossii. Zapadnaya Sibir. T. 2* [Geology and minerals of Russia. Western Siberia. Vol. 2]. Ed. by V.P. Orlov. Eds. Of the 2nd vol. A.E. Kontorovich, V.S. Surkov. St-Petersburg, VSEGEI Publ., 2000. 477 p.
49. Shvartsev S.L. Chemical composition and isotopes of strontium brines of the Tunguska basin in connection with the problem of their formation. *Geochemistry International*, 2000, no. 11, pp. 1170–1184. In Rus.
50. Shvartsev S.L. Vzaimodeystvie vody s alyumosilikatnymi gornymi porodami. Obzor [Interaction of water with aluminosilicate rocks. Review]. *Geologia i Geofisika*, 1991, no. 12, pp. 16–50.
51. Novikov D.A. Hydrogeochemistry of the processes of catagenetic transformation of sedimentary rocks of oil and gas bearing deposits in the Arctic regions of the West Siberian megabasin. *Higher Educational Institutions News. Oil and Gas*, 2016, no. 6, pp. 19–25. In Rus.
52. Bukaty M.B. Hydrogeological structure of the western part of the Siberian platform (in connection with the search, exploration and development of oil and gas fields). *Russian Geology and Geophysics*, 2009, vol. 50, no. 11, pp. 1201–1217. In Rus.
53. Alekseev S.V., Alekseeva L.P., Shvartsev S.L., Trifonov N.S., Sidkina E.S. Peculiarities of the geochemical evolution of chloride calcium brines of the Olenek cryo-artesian basin in the Late Cenozoic. *Geochemistry International*, 2017, no. 5, pp. 429–444. In Rus.
54. Novikov D.A., Trifonov N.S. Hydrogeologic Implications of Industrial Effluent Disposal of the Yurubcheno-Tokhomo Field (Siberian Craton, Russia). *Arabian Journal of Geosciences*, 2016, vol. 9, no. 1, pp. 1–14.
55. Novikov D.A., Distribution of Cambrian salts in the western Siberian Craton (Yurubcheno-Tokhomo field, Russia). *Arabian Journal of Geosciences*, 2017, vol. 10, no. 1, pp. 1–8.
56. Chernykh A.V., Novikov D.A. Paleohydrogeology of the Anabaro-Khatanga basin. *Higher Educational Institutions News. Oil and Gas*, 2018, no. 4, pp. 27–33. In Rus.
57. Novikov D.A., Chernykh A.V., Dultsev F.F. Geochemistry of brines in Vendian deposits of the Siberian platform. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, no. 193 (1), 012052, 7 P.
58. Novikov D.A. Genetic classification of subsurface waters and brines of Arctic regions of Siberia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, no. 193 (1), 012049, 8 P.
59. Dultsev F.F., Novikov D.A., Chernykh A.V., Ryzhkova S.V. Vodnyye oreoly rasseyaniya paleozoyskikh zalezhey uglevodorodov v predelakh yuzhnykh rayonov Ob-Irtyshskogo mezhdurechya [Water dispersion halos of Paleozoic hydrocarbon deposits within the southern regions of the Ob-Irtysh interfluvial]. *Podzemnye vody Vostoka Rossii: Materialy Vserossiyskogo soveshchaniya po podzemnym vodam Vostoka Rossii (XXII Soveshchanie po podzemnym vodam Sibiri i Dalnego Vostoka s mezhdunarodnym uchastiem)* [Underground waters of the East of Russia. Proc. of the All-Russian meeting on underground waters of the East of Russia (XXII meeting on underground waters of Siberia and the far East with International participation)]. Novosibirsk, IPTS NGU. 2018. pp. 183–189.
60. Dultsev F.F., Novikov D.A. Osobennosti gidrogeokhimii doyruskikh kompleksov Predyeniyskogo osadochnogo basseyna [Features of the hydrogeochemistry of the pre-Jurassic complexes of the Pre-Yenisei sedimentary basin]. *Podzemnye vody Vostoka Rossii: Materialy Vserossiyskogo soveshchaniya po podzemnym vodam Vostoka Rossii (XXII Soveshchanie po podzemnym vodam Sibiri i Dalnego Vostoka s mezhdunarodnym uchastiem)* [Underground waters of the East of Russia. Proc. of the All-Russian meeting on underground waters of the East of Russia (XXII meeting on underground waters of Siberia and the far East with International participation)]. Novosibirsk, IPTS NGU, 2018. pp. 190–197.
61. Novikov D.A., Chernykh A.V., Yurchik I.I., Dultsev F.F., Khilko V.A. Hidrogeokhimiya terrigenogo kompleksa venda Sibir-

skey platformy [Hydrogeochemistry of the terrigenous complex of the Vendian of the Siberian platform]. *Geologicheskaya evolyutsiya vzaimodeystviya vody s gornymi porodami: Materialy tret'yey Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunar. Uchastiyem* [Geological evolution of water-rock interaction.

Proc. of the third All-Russian scientific conference with International Participation]. Ulan-Ude, BSC SB RAS. 2018, pp. 456–460.

Received: 24 April 2018.

Information about the authors

Dmitry A. Novikov, Cand. Sc., head of the laboratory of sedimentary basins hydrogeology of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; associate professor, Novosibirsk State University.

Svetlana V. Ryzhkova, Cand. Sc., senior researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; assistant, Novosibirsk State University.

Fedor F. Dultsev, junior researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.

Anatoliy V. Chernykh, junior researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.

Ksenia V. Ses, junior researcher, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.

Nikolay A. Efimtsev, master's student, Novosibirsk State University.

Andrey E. Shokhin, student, Novosibirsk State University.