

ГИДРОГЕОХИМИЯ ДОЮРСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Д.А. Новиков^{1,2}, Ф.Ф. Дульцев¹, А.В. Черных¹, В.А. Хилько¹, И.И. Юрчик¹, А.Ф. Сухорукова¹

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия

Впервые за последние 35 лет проведено обобщение гидрогеохимических данных по доюрским комплексам Западной Сибири. Установлено, что в исследуемом регионе развиты подземные воды и рассолы с величиной общей минерализации от 4 до 330 г/дм³ Cl-Na и Cl-HCO₃-Na состава при доминировании первых. На основе детального анализа гидрогеохимических данных можно предположить наличие в гидрогеологическом разрезе трех генетических групп подземных вод и рассолов: 1) седиментогенных, 2) литогенных (возрожденных) и древних инфильтрогенных, 3) конденсатогенных. Совместное рассмотрение rNa/rCl , Ca/Cl , $(Br/Cl) \cdot 10^{-3}$, $(Sr/Cl) \cdot 10^{-3}$ соотношений с интегрированным показателем метаморфизации рассолов S по осадочным бассейнам Сибири подтверждают, что подземные воды и рассолы Западной Сибири находятся на начальной стадии метаморфизации химического состава. Уровень метаморфизации (катагенетических изменений) химического состава подземных вод и рассолов изученных бассейнов Сибири растет в направлении от районов распространения магматических и метаморфических формаций в основании мезозойско-кайнозойского осадочного чехла молодого Западно-Сибирского осадочного бассейна к структурам древней Сибирской платформы, где развиты сверхкрепкие хлоридные кальциево-натриевые и кальциевые рассолы.

Нефтегазовая гидрогеохимия, подземные воды, рассолы, степень метаморфизации, генетический тип, осадочные бассейны Сибири, Западная Сибирь

HYDROGEOCHEMISTRY OF PRE-JURASSIC AQUIFERS IN WEST SIBERIA

D.A. Novikov, F.F. Dultsev, A.V. Chernykh, V.A. Khilko, I.I. Yurchik, and A.F. Sukhorukova

For the first time in the last 35 years, hydrogeochemical data on pre-Jurassic complexes in West Siberia have been generalized. Groundwater and brines of Cl-Na and Cl-HCO₃-Na types with total salinity (TDS) varying from 4 to 330 g/L are found to be widespread in the area under study, with the former type dominating. A detailed analysis of the hydrogeochemical data allowed us to assume the presence of three genetic groups of groundwater and brines in the hydrogeologic section: (1) sedimentogenic, (2) lithogenic (revived) and ancient infiltrogenic, and (3) condensatogenic. An integrated analysis of coefficients rNa/rCl , Ca/Cl , $(Br/Cl) \cdot 10^{-3}$, and $(Sr/Cl) \cdot 10^{-3}$ and integrated index S of brine metamorphization in the Siberian sedimentary basins has corroborated the fact that groundwater and brines in West Siberia are at the initial stage of metamorphization of their chemical composition. Groundwater and brines in the studied Siberian sedimentary basins show an increase in the degree of metamorphization (catagenetic changes) of their chemical composition in transition from the areas of igneous and metamorphic deposits at the base of the Meso-Cenozoic sedimentary cover of the young West Siberian sedimentary basin to the structures of the ancient Siberian Platform, where ultrastrong Ca-Na and Ca chloride brines are spread.

Petroleum hydrogeochemistry, underground water, brines, degree of metamorphization, genetic type, Siberian sedimentary basins, West Siberia

ВВЕДЕНИЕ

В конце тридцатых годов прошлого столетия в доюрских отложениях краевых районов Западно-Сибирского артезианского бассейна (ЗСАБ) были установлены признаки нефтегазоносности. Долгое время, до постановки широкомасштабных поисковых работ на нефть и газ в будущей Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (ЗСНГП), они считались наиболее перспективными. Эта точка зрения отстаивалась в трудах М.К. Коровина, Н.А. Кудрявцева, Д.Л. Степанова, Н.П. Туаева, М.М. Чарьгина и других. В дальнейшем, когда стало ясно, что основной нефтегазоносный этаж — мезозойский, интерес к доюрским комплексам значительно снизился. С началом широкомасштабных нефтегазопроисловых работ на юрские и меловые отложения в ЗСНГП в 1960-х годах 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 другие рассматривали доюрские комплексы в качестве резерва для будущих открытий [Конторович и др., 1975; Бочкарев, 1977; Конторович, Стасова, 1977; Порфильев, Клочко, 1982; Сурков, Жеро, 1981]. В последние годы в связи с высокой степенью геолого-геофизической изученности мезозойского осадочного чехла интерес недропользователей к этому объекту значительно возрос, что подкрепляется открытием в его границах более 70 залежей нефти и газа [Максимов и др., 1987; Фомин, 1994; Абросимова, Рыжкова, 1997].

Особый интерес исследователей связан с Предъенисейской зоной Западной Сибири или Предъенисейским осадочным бассейном (ПОБ). В 30-60-е годы XX в. о наличии в левобережье Енисея погребенных структур Сибирской платформы писали многие исследователи [Наливкин, 1933; Белоусов, 1948; Фомичев, 1948; Косыгин, Лучицкий, 1960; Соколов, 1960; Накаряков, 1961; Боголепов, 1963; Яншин, 1965]. В 1970-е годы оценку перспектив нефтегазоносности этой территории дали А.Э. Конторович, В.С. Сурков, А.А. Трофимук [Конторович и др., 1975]. В дальнейшем об этом писали В.А. Бененсон, Н.Н. Дашкевич, В.А. Каштанов, С.А. Степанов [Дашкевич, 1985; Бененсон и др., 1987; Дашкевич, Каштанов, 1990; Дашкевич и др., 1992] и другие. Наиболее полными работами, отражающими существующие взгляды на геологическое и тектоническое строение этого района, являются сводные публикации А.Э. Конторовича, В.А. Конторовича, Ю.Ф. Филиппова, С.Ю. Беляева, В.А. Каштанова, А.В. Хоменко и других [Конторович и др., 2006; Конторович, Конторович, 2006; Филиппов, 2016, 2017].

Следует отметить, что до настоящего времени гидрогеология и гидрогеохимия доюрских комплексов Западной Сибири остается слабоизученной. Последнее обобщение, где были приведены схематичные данные по доюрским комплексам ЗСАБ, было выполнено в 1985 г. и принадлежит Н.М. Кругликову, В.В. Нелюбину и О.Н. Яковлеву [1985]. Позже в 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 п-ова Ямал, Надым-Газовское междуречье, Предъенисейская нефтегазоносная субпровинция и другие) [Шварцев, Новиков, 2004; Запывалов, Богатырева, 2005; Новиков, 2005, 2015, 2018а,б; Новиков, Лепокуров, 2005; Новиков, Шварцев, 2009; Захаров, Новиков, 2010; Матусевич и др., 2011; Матусевич, Абдрашитова, 2013, 2014; Novikov, Sukhorukova, 2015; Novikov, 2017а, 2018а; Дульцев, Новиков, 2017, 2018; Дульцев и др., 2018; Novikov et al., 2018; Новиков и др., 2018]. В этой связи новые сведения и обобщения по гидрогеологии и гидрогеохимии доюрских комплексов ЗСАБ представляют несомненный научный интерес в свете разработки гидрогеологических критериев их нефтегазоносности.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

На территории Западной Сибири доюрские отложения изучены в более чем 800 скважинах. В настоящее время в меньшей степени исследована северная часть осадочного бассейна. Доюрские комплексы представлены осадочными и вулканогенными породами. Палеонтологические находки в породах фундамента на большей части ЗСАБ достаточно редки, при этом часть имеет плохую сохранность. Определение абсолютного возраста вулканогенных пород или их значительной примеси в осадках выполнялось К-Аг методом [Бочкарев, Погорелов, 1973; Конторович и др., 1975; Сурков, Жеро, 1981; Бочкарев, Криночкин, 1988]. Максимальная мощность изученных бурением палеозойских отложений (на севере изучаемой территории) достигает 3.0—3.5 км. В структурном плане осевая часть бассейна имеет тенденцию погружения с юга на север. Таким образом, в центральной части глубина погружения фундамента достигает 3—5 км, в то время как на севере — до 6—9 км. Следует отметить, что на доюрскую поверхность выходят породы, разнообразные как по литологическому составу, так и по возрасту. Изученные глубоким бурением доюрские отложения фундамента ЗСАБ представлены тремя типами пород: осадочные (29 %), магматические и метаморфические (суммарно 71 %). Сложность геологических условий доюрских комплексов ЗСАБ нашла свое отражение в гидрогеохимических особенностях вод различной солености и состава в зависимости от вещественного состава водовмещающих отложений [Новиков, 2005, 2020; Новиков, Шварцев, 2009; Novikov, Sukhorukova, 2015; Новиков и др., 2018; Dultsev, 2019; Novikov, 2020].

Детальный анализ геологических особенностей доюрских комплексов, их вещественного состава, датировок возраста водовмещающих пород, основанных на палеонтологических данных, комплексе каротажных диаграмм ГИС, результатов испытания и гидрогеохимического опробования скважин позволил впервые отнести имеющиеся гидрогеохимические данные к восьми водоносным комплексам: 1) вендскому (13 проб); 2) кембрийскому (116 проб); 3) ордовикскому (56 проб); 4) силурийскому (32 пробы); 5) девонскому (143 пробы); 6) каменноугольному (62 пробы); 7) триасовым отложениям (22 пробы) и 8) нефтегазоносному горизонту зоны контакта (65 проб) (табл. 1, 2).

Таблица 1. Гидрогеохимическая характеристика доюрских комплексов Западной Сибири

Элемент	Единица измерения	Водоносный комплекс							
		НГГЗК	T	C	D	S	O	Є	V
HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	36.6—1311.9 (650.4)	18.3—2391.0 (816.0)	91.5—1866.0 (642.1)	55.0—2391.0 (631.5)	122.0— 2208.0 (952.3.)	122.0— 2965.0 (1053.8)	12.3—976.3 (371.0)	73.0—432.0 (263.1)
SO ₄ ²⁻	»	0.4—625.0 (94.6)	4.0—504.9 (162.5)	1.2—930.4 (94.2)	0.8—2456.0 (187.9)	1.2—671.0 (93.9)	1.6—295.0 (52.9)	7.0—2664.0 (200.1)	42.5—163.0 (78.6)
Cl ⁻	г/дм ³	1.2—55.3 (27.4)	0.4—30.1 (10.2)	0.1—48.3 (23.0)	2.7—52.4 (22.1)	1.5—17.6 (8.7)	0.8—24.4 (6.8)	7.5—12.7 (42.8)	34.9—55.1 (48.3)
Br ⁻	мг/дм ³	8.6—255.2 (109.1)	1.6—190.5 (51.7)	4.9—186.5 (73.9)	2.1—212.8 (76.7)	5.9—89.7 (40.5)	3.6—106.2 (35.7)	8.0—480.0 (161.5)	190.0—237.1 (210.9)
I ⁻	»	0.2—28.3 (10.3)	1.7—56.0 (13.8)	0.7—37.0 (6.8)	0.5—32.9 (8.4)	0.8—30.4 (11.5)	0.4—20.1 (7.1)	0.03—11.37 (3.38)	0.8—5.9 (2.9)
F ⁻	»	0.1—110.0 (13.2)	—	0.3—1.6 (1.1)	0.2—120.0 (21.4)	—	—	0.1—2.3 (0.8)	0.8—5.4 (3.9)
Na ⁺	г/дм ³	1.2—32.7 (15.7)	0.5—17.1 (0.6)	0.8—26.1 (13.1)	2.4—31.0 (12.7)	1.1—11.1 (5.6)	0.6—15.0 (4.5)	2.1—62.6 (21.9)	17.6—35.8 (24.8)
Ca ²⁺	»	0.04—3.27 (1.45)	0.01—2.56 (0.47)	0.02—4.21 (1.53)	0.03—4.35 (1.27)	0.01—0.74 (0.30)	0.01—2.27 (0.24)	0.05—12.80 (3.65)	2.8—5.4 (3.8)
Mg ²⁺	»	0.04—0.53 (0.19)	0.002—0.295 (0.057)	0.004—0.461 (0.153)	0.003—0.949 (0.187)	0.001—0.261 (0.061)	0.001—0.184 (0.031)	0.03—2.20 (0.56)	0.5—0.8 (0.7)
K ⁺	»	0.2—8.6 (3.7)	0.004—0.347 (0.157)	0.01—1.96 (1.12)	82.0—13.9 (2.1)	0.02—0.24 (0.07)	0.01—0.17 (0.09)	0.1—26.4 (8.7)	0.3—0.6 (0.4)
Sr ²⁺	мг/дм ³	3.5—1350.0 (391.9)	—	71.5—625.0 (451.9)	1.4—795.0 (245.3)	—	—	11.2—622.0 (302.4)	224.0—412.6 (344.7)
Li ⁺	»	1.5—18.8 (6.3)	—	1.9—7.1 (5.4)	0.04—12.90 (4.10)	—	—	1.1—6.4 (3.2)	1.8—6.7 (3.3)
Rb ⁺	»	0.2—1.3 (0.6)	—	0.2—1.0 (0.7)	0.05—1.52 (0.75)	—	—	0.3—1.3 (0.4)	0.55—0.71 (0.65)
Cs ⁺	»	0.1	—	—	—	—	—	0.10—0.11 (0.10)	0.1—4.9 (0.8)
Zn ²⁺	»	0.2	—	0.9—2.9 (2.2)	0.03—7.80 (1.48)	—	—	—	2.3—54.9 (21.7)
Mn ²⁺	»	0.1—4.3 (1.7)	—	1.4—2.9 (1.9)	0.03—9.85 (2.86)	—	—	1.0—6.9 (2.7)	0.6—3.5 (2.2)
NH ₄ ⁺	»	4.5—250.0 (87.9)	60	23.0—240.0 (98.9)	0.1—300.0 (77.2)	—	—	0.2—160.0 (72.7)	—
SiO ₂	»	1.5—500.0 (51.3)	76	14.0—84.0 (35.7)	0.2—300.0 (38.0)	—	—	0.3—40.0 (16.3)	5.4—26.8 (10.5)
B ⁺	»	5.4—100.0 (23.5)	—	3.2—38.0 (12.9)	0.5—50.0 (10.1)	1.9—26.7 (12.9)	0.6—42.6 (13.9)	3.6—93.5 (17.1)	7.9—10.7 (9.4)
M	г/дм ³	3.8—90.9 (46.5)	1.4—52.9	2.5—82.2 (38.6)	6.7—86.6 (38.0)	3.0—29.3 (15.2)	1.8—40.7 (12.8)	13.0—209.3 (70.4)	57.7—97.3 (78.0)
rNa/rCl	доли ед.	0.61—1.71 (0.90)	0.83—1.67 (1.04)	0.75—1.43 (0.93)	0.42—1.62 (0.90)	0.87—1.45 (1.05)	0.80—1.51 (1.07)	0.4—1.30 (0.80)	0.71—1.00 (0.79)
Cl/Br	»	131—508 (279)	104—397 (228)	123—951 (338)	37—803 (301)	133—551 (253)	83—932 (205)	81—940 (303)	148—267 (236)
Ca/Cl	»	0.01—0.10 (0.05)	0.02—0.09 (0.04)	0.01—0.10 (0.06)	0.01—0.13 (0.06)	0.01—0.16 (0.04)	0.01—0.10 (0.03)	0.01—0.18 (0.08)	0.07—0.10 (0.08)
(Sr/Cl)·10 ⁻³	»	0.3—88.5 (16.3)	—	2.5—23.7 (14.8)	0.1—19.9 (8.4)	—	—	0.2—11.9 (7.7)	6.1—7.9 (7.1)
(Br/Cl)·10 ⁻³	»	19.0—72.2 (6.1)	3.1—9.6 (5.1)	0.6—7.5 (3.4)	0.2—27.0 (3.8)	1.8—7.5 (4.5)	0.2—11.9 (5.8)	0.3—12.3 (3.9)	3.7—6.8 (4.4)
S	»	109—676 (238)	—	65—377 (261)	21—305	—	—	52—228 (163)	138—173 (156)
Химический состав вод (по С.А. Шукареву)		Cl Na	Cl Na, Cl—HCO ₃ Na	Cl Na	Cl Na	Cl Na, Cl—HCO ₃ Na	Cl Na, Cl—HCO ₃ Na	Cl Na	Cl Na
Кол-во анализов	шт.	65	22	62	143	32	56	116	13

Примечание: Прочерк — нет сведений. В скобках — среднее значение.

Таблица 2. Типовые анализы подземных вод и рассолов доюрских комплексов Западной Сибири

Площадь, № скв.	Интервал, м	pH	Элемент, мг/дм ³										M, г/дм ³
			Cl	HCO ₃	SO ₄	Na+K	Ca	Mg	Br	SiO ₂	I	B	
НГГЗК													
Пугламынская, 86	2630—2690	8.0	5532	610	254	3515	249	73	15.2	—	—	2	10.2
Квартовая, 3	3000—2986	6.6	6430	915	393	4477	168	19	19.2	54	2	3	11.9
Калиновая, 9	3006—3057	8.2	19941	1220	16	10000	872	158	79.8	500	—	3	33.7
Останинская, 436	2740—2772	6.3	33507	189	—	16000	2244	199	161.6	10	—	16	54.9
Нижнетабаганская, 1	2995—3005	6.0	35705	567	—	14040	1499	457	156.5	36	20	19	60.3
Герасимовская, 2	2892—2924	6.4	36565	793	—	18800	2400	222	173.0	5	15	13	61.1
Триасовый комплекс													
Инжегорская, 155	2588—2611	8.1	6737	1232	30	4210	320	24	20.6	—	20	2	12.7
Малоатлымская, 1	2799—2804	8.4	8597	427	320	5682	193	24	30.4	—	6	3	15.3
Лянторская, 17	2962—3200	6.4	8636	964	—	5653	172	29	29.6	—	11	6	15.5
Чворовая, 3	3252—3270	7.5	12054	18	505	8340	40	—	30.3	—	—	3	21.4
Западно-Калгачская, 1	2153—2238	6.2	29917	357	—	16036	2565	296	118.6	—	9	8	49.2
Каменноугольный комплекс													
Никольская, 1	3273—3284	6.8	4661	794	10	2695	444	49	4.9	—	5	—	8.7
Новопортовская, 218	3002—3404	7.4	3546	1866	17	3200	22	13	9.9	—	17	4	9.0
Верхнекомбарская, 291	2790—2902	8.2	10992	823	8	6759	337	151	35.8	—	6	2	18.6
Сельвейкинская, 2	3116—3159	7.3	36588	519	—	20610	2571	185	182.0	24	—	37	60.2
Верхнекомбарская, 293	2794—2799	6.8	44245	763	—	23995	385	306	179.1	36	—	36	72.8
Девонский комплекс													
Еллей-Игайская, 2	4165—4180	7.5	12070	683	826	8519	560	—	25.0	13	1	2	23.2
Северо-ореховская, 560	3050—3167	7.4	28368	305	6	15334	2615	79	107.0	—	8	8	46.9
Западно-Лугинецкая, 183	2708—2727	5.9	39050	488	39	18700	2160	504	168.5	16	—	12	60.7
Герасимовская, 2	2980—2997	6.4	39405	793	—	18800	2520	510	175.6	—	25	13	65.7
Калиновая, 1	2849—2860	5.8	44505	757	1	12000	2180	302	155.2	—	—	15	73.4
Силурийский комплекс													
Новопортовская, 210	3240—3248	7.0	3612	1964	88	2900	40	17	11.9	—	18	3	8.8
Новопортовская, 91	2720—2736	6.4	4468	1708	12	3636	26	10	13.3	—	12	4	10.0
Викуловская, 1	1940—2049	6.8	11540	665	2	6506	681	182	36.0	—	18	9	12.7
Варьеганская, 99	3455—3608	8.6	8333	207	132	5290	174	2	15.1	—	2	3	14.2
Кулайская, 1	2350—2436	6.4	13490	1068	10	8389	597	26	53.3	—	15	5	23.8
Ордовикский комплекс													
Южная, 402	2635—2652	8.1	4964	891	—	3500	120	13	8.6	—	2	3	9.5
Талинская, 110	2387—2441	8.2	8936	1037	123	5968	136	11	9.6	—	13	3	16.4
Ем-Еговская, 126	2576—2584	8.2	10990	2965	33	7691	382	6	72.3	—	16	20	22.3
Талинская, 123	2462—2474	8.0	13652	610	—	7114	1000	97	33.0	—	1	5	23.0
Няргинская, 1	2660—2768	7.4	14183	976	62	8392	842	122	87.0	—	8	2	24.1
Кембрийский комплекс													
Вездеходная, 2	3152—3204	6.4	31344	409	16	16241	286	516	81.5	12	2	8	51.2
Вездеходная, 4	3442—3564	6.8	31047	329	37	21000	2670	433	117.9	6	5	2	57.8
Вездеходная, 3	3515—3563	8.1	50500	244	35	23900	4168	657	283.3	—	—	3	82.3
Восток, 4	3520—3532	6.7	49700	29	2070	27020	3800	840	210.0	—	24	—	84.2
»	4993—5036	6.6	126913	220	698	62576	12800	1800	430.0	—	94	—	209.3
Вендский комплекс													
Восток, 3	4552—4656	6.4	36920	432	127	17600	3100	600	200.0	11	—	1	58.7
»	4190—4200	6.3	50320	342	—	23250	3351	597	190.0	27	—	6	69.1
»	4956—4962	6.4	52520	305	50	25500	4500	780	237.1	10	—	1	83.7
»	4673—4683	6.1	51480	323	—	27250	5393	615	192.5	9	—	4	85.4
»	4720—4734	5.6	54200	177	—	28750	3536	630	205.0	6	—	4	89.8

В рамках настоящей работы нами были детально проанализированы все гидрогеохимические материалы по центральным и южным районам ЗСАБ. Наиболее полные сведения по гидрогеохимии доюрских комплексов в последние годы были получены под руководством академика А.Э. Конторовича по Предьенисейскому осадочному бассейну при научном сопровождении параметрического бурения в рамках проекта «Восток». Для сравнительного анализа степени метаморфизации рассолов нами были привлечены гидрогеохимические данные по прилегающим районам Сибирской платформы (189 проб) и Нордвикскому соляно-купольному району Анабаро-Хатангского бассейна (97 проб). Всего электронная база данных для настоящей работы представлена записями по 795 пробам подземных вод и рассолов.

Для сравнения уровня метаморфизации нами был применен интегрированный показатель метаморфизации рассолов (S), по С.Л. Шварцеву [2000], который используется в подобных исследованиях по 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 за счет взаимодействия с вмещающими горными породами содержания Ca , Sr и Br .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности состава подземных вод и рассолов. В целом в доюрских отложениях Западной Сибири установлены подземные воды и рассолы с величиной общей минерализации от 1.4 до 209.3 г/дм³. По химическому составу подземные воды и рассолы относятся к хлоридным натриевым (по С.А. Щукареву) [Самарина, 1977] (рис. 1). Наименее изученной в гидрогеохимическом отношении является север-

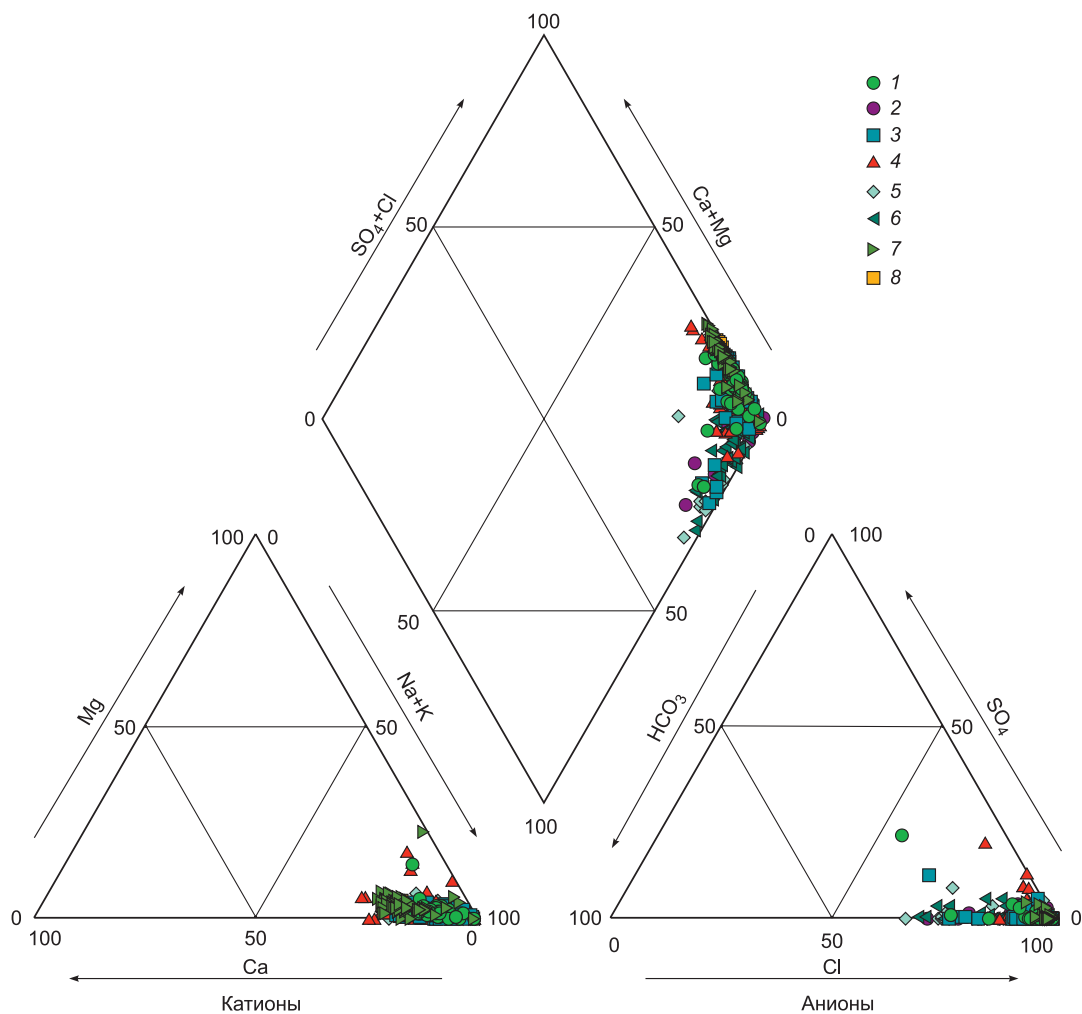


Рис. 1. Диаграмма Пайпера состава подземных вод и рассолов доюрских комплексов Западной Сибири.

Водоносный комплекс: 1 — нефтегазоносный горизонт зоны контакта; 2 — триасовый; 3 — каменноугольный; 4 — девонский; 5 — силурийский; 6 — ордовикский; 7 — кембрийский; 8 — вендский.

ная часть Западной Сибири, где минерализация подземных вод доюрских отложений редко превышает 15—20 г/дм³. Так, на Новопортовском месторождении в юго-восточной части п-ова Ямал выявлены воды Cl-HCO₃-Na состава с величиной общей минерализации до 12 г/дм³ [Новиков, 2005].

В пределах ЗСАБ с гидрогеологической точки зрения наиболее древние отложения представлены вендом и изучены бурением в пределах Предъенисейского осадочного бассейна в скв. Восток-3. Слабые рассолы *вендского водоносного комплекса* характеризуются хлоридным натриевым составом и величиной общей минерализации, варьирующей от 57.7 г/дм³ в интервале 4552—4656 м до 97.7 г/дм³ в интервале 4895—4903 м [Новиков, Шварцев, 2009]. Микрокомпонентный состав изученных рассолов характеризуется высокими содержаниями брома (до 237.1 г/дм³), стронция (до 412.6 г/дм³), цинка (до 54.9 г/дм³). Другие компоненты (I, Li, Rb, Cs, Mn, B, F) содержатся в меньших количествах (см. табл. 1).

Воды хлоридного натриевого состава *кембрийского водоносного комплекса* отличаются более высокой минерализацией, изменяющейся от 13.3 (интервал 2234—2244 м, скв. 1 Северо-Лымбельской площади) до 209.3 г/дм³ (скв. Восток 4, инт. 4993—5036 м). Среди микрокомпонентного состава наибольшими концентрациями обладают бор (до 93.5 мг/дм³), аммоний (до 160 мг/дм³) и стронций (до 622 мг/дм³) (см. табл. 1). Также отмечается рост величины общей минерализации в западном (Ем-Еговская площадь) и юго-восточном (Вездеходная площадь) направлениях и уменьшение в северо-восточном.

В *ордовикском водоносном комплексе* распространены воды хлоридного натриевого состава с величиной общей минерализации, изменяющейся от 1.8 (инт. 2619—2636 м, скв. Талинская 144) до 40.7 г/дм³ (инт. 2598—3080 м, скв. Южная 396), составляя в среднем 12.8 г/дм³ (см. табл. 1). Наиболее минерализованные воды характеризуют центральную часть ЗСАБ, снижение значений общей минерализации отмечается в северном и западном направлениях.

Подземные воды *силурийского комплекса* имеют хлоридный и хлоридно-гидрокарбонатный натриевый состав и характеризуются величиной общей минерализации от 3.0 (инт. 1794—1800 м, скв. Менделеевская 2) до 29.3 г/дм³ (инт. 1779—1786 м, скв. Карабашская 5) при среднем значении 15.2 г/дм³ (см. табл. 1). Наиболее минерализованные воды установлены в южной и западной частях ЗСАБ, за исключением Менделеевской площади. Отмечается снижение значений величины общей минерализации в северном направлении к скважинам Новопортовской площади.

Подземные воды и слабые рассолы в *девонском водоносном комплексе* имеют хлоридный натриевый состав и величину общей минерализации, варьирующей в широком диапазоне от 6.7 г/дм³ (скв. Новопортовская 217, инт. 3046—3101 м) до 86.6 г/дм³ (скв. Верх-Тарская 3, инт. 2692—2704 м), составляя в среднем 38.0 г/дм³. Среди микрокомпонентов доминируют стронций (до 795 мг/дм³), аммоний и кремнезем (до 300 мг/дм³), содержания остальных микрокомпонентов не превышают, как правило, первых десятков мг/дм³, за исключением бора (до 50 мг/дм³) и лития (до 12.9 мг/дм³) (см. табл. 1). Наиболее минерализованные рассолы приурочены к центральным районам ЗСАБ, а снижение значений общей минерализации происходит по направлению к границам бассейна.

В *каменноугольном комплексе* распространены воды хлоридного натриевого состава с величиной общей минерализации, изменяющейся от 2.5 (инт. 2673—2864 м, скв. Новопортовская 102) до 82.2 г/дм³ (инт. 2765—2788 м, скв. Верхнекомбарская 293), составляя в среднем 38.6 г/дм³. В микрокомпонентном составе установлены высокие значения аммония (до 240 мг/дм³) и стронция (до 625 мг/дм³), наименьшие концентрации отмечены у рубидия, цинка, марганца и лития (см. табл. 1). Наиболее минерализованы подземные воды северо-западных и юго-восточных регионов ЗСАБ, наименьшие значения минерализации установлены в северных и южных частях.

Пермский водоносный комплекс на территории ЗСАБ распространен весьма ограниченно из-за протекавших с конца карбона до начала триаса процессов эрозии и с гидрогеохимической точки зрения не изучен.

Подземные воды *триасового комплекса* представлены хлоридным и хлоридно-гидрокарбонатным натриевым составом и характеризуются величиной минерализации от 1.4 г/дм³ (скв. Талинская 963, инт. 2390—2517 м) до 52.9 г/дм³ (скв. Галяновская 2, инт. 2623—2922 м) (см. табл. 1). Рост величины минерализации по латерали происходит от западной окраины ЗСАБ в юго-восточном направлении.

В *нефтегазоносном горизонте зоны контакта (НГТЗК)* доминируют подземные воды и слабые рассолы хлоридного натриевого состава с величиной общей минерализации, варьирующей от 3.8 (инт. 2773—2787 м, скв. 438 Останинской площади) до 90.9 г/дм³ (инт. 1733—1791 м, скв. Чачанская 2), составляя в среднем 46.5 г/дм³. Наибольшие концентрации (мг/дм³) в микрокомпонентном составе установлены у стронция (до 1350), кремнезема (до 500), аммония (до 250), бора (до 100) (см. табл. 1).

Отмечается закономерный рост концентрации основных макро- и микрокомпонентов с увеличением общей минерализации подземных вод всех доюрских комплексов. Так, среди катионов и анионов преобладает Na⁺ и Cl⁻, достигая 63 и 127 г/дм³ соответственно. Макрокомпоненты не превышают: Ca²⁺ — 12.8, Mg²⁺ — 2.2, SO₄²⁻ — 0.5, HCO₃⁻ — 3.0 г/дм³. Содержания основных микрокомпонентов варьируют в широких пределах: I — 0.2—56.0, Br — 1.6—480, B — 0.5—100, F — 0.1—14.4, SiO₂ —

0.2—500 и NH_4 — 0.1—300 мг/дм³. Фоновые воды доюрских комплексов характеризуются хлоридным натриевым составом с величиной общей минерализации 40—50 г/дм³. Содержание HCO_3^- не превышает 700 мг/дм³, SO_4^{2-} — 55 мг/дм³, Na^+ — 14.8 г/дм³, I^- — не более 10.0 мг/дм³, Br не выше 110.6 мг/дм³ и т.д.

В пределах доюрских комплексов выявлены и околтурены гидрогеохимические аномалии по содержанию микрокомпонентов (мг/дм³) (рис. 2): $\text{I} > 12$, $\text{Br} > 120$, $\text{B} > 60$, $\text{NH}_4 > 100$. Большинство аномалий приурочено к структурам с выявленными залежами углеводородов. Ранее этот вопрос исследован при изучении водных ореолов рассеяния залежей [Новиков, 2005; Захаров, Новиков, 2010; Новиков и др., 2018; Chernykh, 2019]. Так, среди «традиционных» микрокомпонентов наибольшие концентрации йода установлены на Галяновской — 42.3—49.9 мг/дм³ (скв. 2, инт. 2623—2922 м), Лянторской — 56.0 мг/дм³ (скв. 17, инт. 2874—2893), Верхнекомбарской — 36.4 мг/дм³ (скв. 293, инт. 2794—2799) и Сельвейкинской — 37.0 мг/дм³ (скв. 2, инт. 3116—3159). Аномальные значения брома (>120 мг/дм³) выявлены в пределах Красноленинского свода (Красноленинская и Галяновская площади), Обь-Иртышского междуречья (Верхнекомбарская, Герасимовская, Заречная, Малоичская и другие площади), Предьенисейского осадочного бассейна (Вездеходная, Калиновая и другие площади). Аномальные значения бора (>60 мг/дм³) характеризуют рассолы на Останинской, Северо-Останинской площадях и скв. Восток-4. Концентрации аммония (>100 мг/дм³) установлены на 14 площадях в южной части ЗСАБ (Речная, Верхнекомбарская, Герасимовская и другие). К южным и юго-восточным районам Западной Сибири приурочены комплексные гидрогеохимические аномалии по содержанию (мг/дм³) рубидия (>1), лития (>7), стронция (>450), цинка (>2) и марганца (>2). В зону повышенных концентраций попадают рассолы ряда месторождений Чузикско-Чизапской зоны нефтегазоаккумуляции (Тамбаевское, Герасимовское, Южно-Тамбаевское, Урманское, Арчинское, Северо-Калиновое, Нижнетабаганское) и Предьенисейского осадочного бассейна. Одним из ключевых соединений, контролирующих стадию взаимодействия в системе вода—горная порода является кремнезем [Шварцев, 1991]. Ранее нами установлено, что в зоне катагенеза его концентрации более 60—80 мг/дм³ приводят к насыщению подземных вод относительно альбита и даже микроклина [Новиков, 2016; Novikov, 2019; Новиков и др., 2019]. В исследуемом регионе аномальные концентрации SiO_2 выше 100 мг/дм³ выявлены на Урманской, Калиновой, Нижнетабаганской, Северо-Калиновой и Северо-Останинской площадях.

Таким образом, в пределах ЗСАБ доминируют рассолы хлоридного натриевого состава с величиной общей минерализации 50—70 г/дм³, что можно объяснить отсутствием галогенных формаций в геологическом разрезе, широко развитых в прилегающих районах древней Сибирской платформы, суммарная мощность которых нередко достигает 400 м и более [Novikov, 2017b].

Генетические типы подземных вод и рассолов. Вопросы выявления генезиса подземных вод — одни из ключевых в современной гидрогеохимии. С начала прошлого века и по настоящее время были предложены и применяются в гидрогеологических исследованиях несколько классификационных схем генетических типов подземных вод и рассолов, развитых в пределах осадочных бассейнов (В.А. Сулин, А.А. Карцев, Е.В. Пиннекер, С.Л. Шварцев и другие). Согласно классическим работам С.А. Щукарева, В.А. Сулина, Н.М. Кругликова, А.А. Розина, Я.А. Ходжакулиева, С.Б. Вагина, А.А. Карцева, М.И. Субботы, В.В. Нелюбина, О.Н. Яковлева, В.М. Матусевича [Сулин, 1948; Карцев, 1972; Пиннекер, 1979; Шварцев, 1996] и других исследователей, генетический тип воды предварительно можно установить, используя «генетические» коэффициенты, отражающие отношения различных макро- и микрокомпонентов в ее составе: $r\text{Na}/r\text{Cl}$, Cl/Br , Ca/Cl , $r(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)/r(\text{Ca} + \text{Mg})$, B/Br , $(\text{Br}/\text{Cl}) \cdot 10^{-3}$, $(\text{Sr}/\text{Cl}) \cdot 10^{-3}$, $r\text{Na}/(r\text{Ca} + r\text{Mg})$, $r\text{Na} + r\text{Mg}/r\text{Ca}$, $r\text{Ca}/r\text{Mg}$, $r\text{SO}_4 \cdot 100/r\text{Cl}$, $r\text{HCO}_3 \cdot 100/r\text{Cl}$, $\text{Br} \cdot 10^3/\text{M}$, $\text{I} \cdot 10^3/\text{M}$, $\text{NH}_4 \cdot 10^3/\text{M}$, Br/I , HCO_3/SO_4 , $(\text{M}/\text{H}) \cdot 100$, $(r\text{Ca}/r\text{Na}) \cdot 100$ и другие [Кругликов и др., 1985; Шварцев, 2000; Шварцев, Новиков, 2004; Новиков, 2005, 2018a; Новиков, Лепокуров, 2005; Новиков, Шварцев, 2009; Novikov, Sukhrukova, 2015; Novikov, 2017a].

Разработкой генетической классификации подземных вод занимались Э. Зюсс (нем. Eduard Suess), Р.А. Дали (R.A. Daly), А.А. Козырев, Г.Н. Каменский, Н.И. Толстихин, А.М. Овчинников, Э.Т. Дэггенс (E.T. Degens), Х. Шоллер (H. Schoeller), А.А. Карцев, Д.Е. Уайт (D.E. White), Е.В. Пиннекер и другие [Каменский, 1947; White, 1971; Пиннекер, 1979; Карцев и др., 1986; Карцев, 1992; Zekster, Dzhamalov, 2007]. Как известно, Г.Н. Каменский в 1947 г. [1947] выделил три генетических цикла подземных вод: 1) инфильтрационный, или континентальный, связанный с инфильтрацией атмосферных вод и комплексом геохимических процессов, идущих в верхней зоне земной коры; 2) морской, или осадочный, связанный с захоронением морских вод в процессе осадконакопления и с дальнейшей их метаморфизацией; 3) метаморфический, или магматический, связанный с формированием глубинных вод. В силу того, что до настоящего времени различить магматические и метаморфические воды практически невозможно, имеет смысл объединить рассматриваемые два цикла в один — метаморфогенно-магматический. Конкретные проявления того или иного цикла не всегда можно выделить в чистом виде, т. е. циклы взаимодействуют между собой, что приводит к смешению различных генетических типов вод.

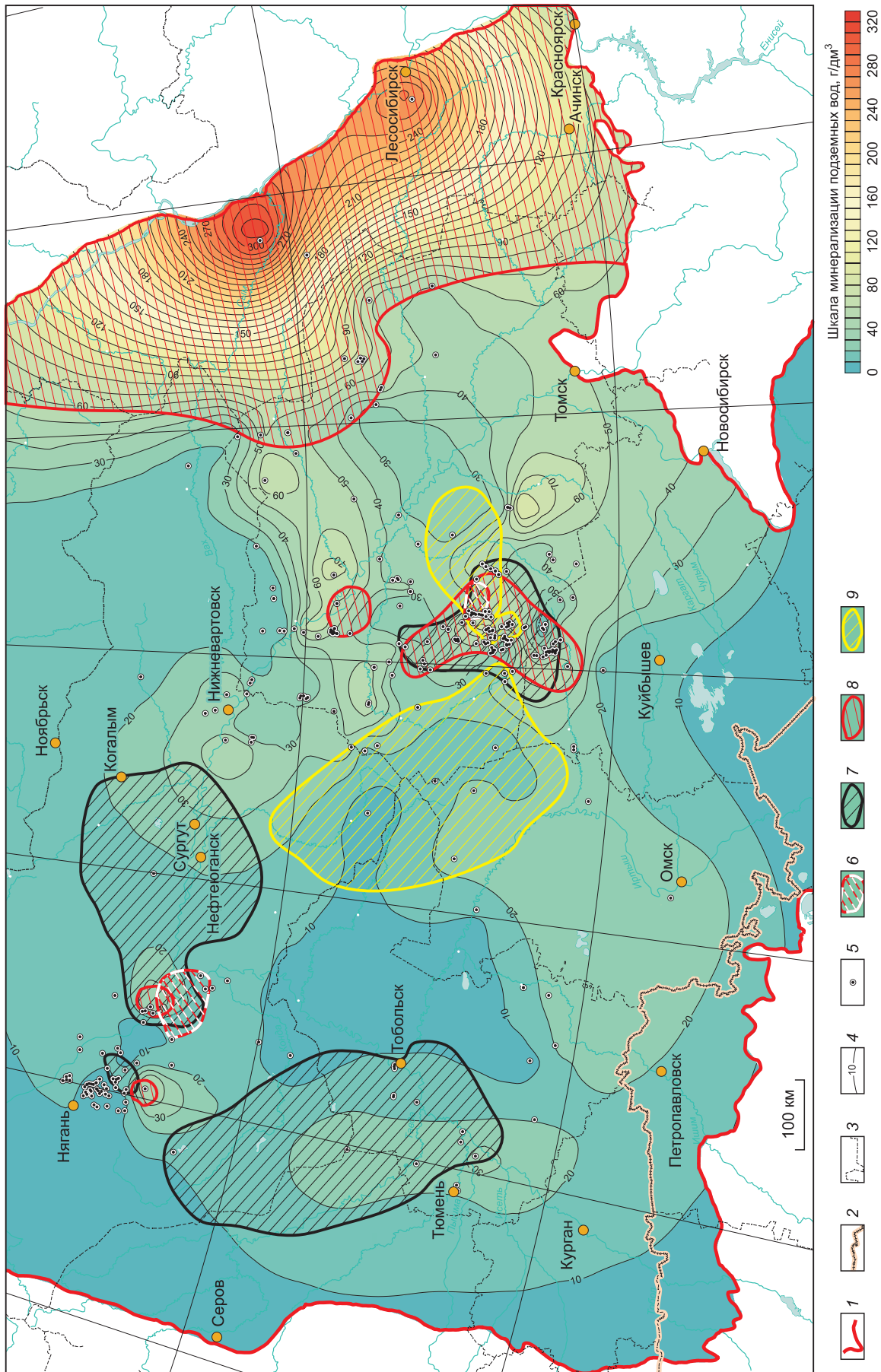


Рис. 2. Карта общей минерализации подземных вод и гидрогеохимических аномалий в пределах доюрских комплексов Западной Сибири.

Границы: 1 — Западно-Сибирского осадочного бассейна, 2 — государственные, 3 — административные; 4 — изоминеры общей минерализации подземных вод и рассолов, г/дм³; 5 — глуконие скважины. Гидрогеохимические аномалии по содержанию (мг/дм³): 6 — $V > 60$; 7 — $I > 12$; 8 — $Br > 120$; 9 — $NH_4 > 100$.

Примером такого взаимодействия циклов может служить вытеснение седиментогенных вод инфильтрогенными [Основы..., 1982]. К сказанному следует добавить, что во многих классификациях среди генетических типов вод выделяются такие, как метаморфические, вулканогенные и другие. Однако под этими терминами фактически кроются не генетические, а смешанные воды разного генезиса.

В настоящей работе мы использовали термины и определения генезиса и генетических типов подземных вод, приведенные в классификациях А.А. Карцева и С.Л. Шварцева [Карцев и др., 1986, 2015; Карцев, 1992; Шварцев, 1996; Novikov, 2017a] и результаты собственных исследований по осадочным бассейнам Сибири [Шварцев, Новиков, 2004; Новиков, 2005; Новиков, Лепокуров, 2005; Novikov, Sukhorukova, 2015; Novikov, 2017a, 2018b], которые сводятся к следующему.

Генезис подземных вод — совокупность процессов формирования подземных вод под влиянием естественно-исторических факторов, а также производственной деятельности человека. Происхождение вод как природного образования в литосфере может быть обусловлено конденсацией паров воздуха, инфильтрацией поверхностных вод, захоронением вод бассейнов осадконакопления и т.д. Процесс формирования химического состава подземных вод генетически связан с их взаимодействием с вмещающими горными породами, смешением вод разного генезиса и другими факторами [Карцев и др., 2015].

Под *седиментогенными водами* (солеными водами и рассолами) понимаются водные растворы, поступающие в осадочный бассейн при седиментации в морских условиях. К этому же типу следует относить водные растворы, происходящие из озер и лагун морского генезиса, обычно солеродных (соляных), но иногда и опресненных [Карцев и др., 1986].

Древними инфильтрогенными водами следует называть водные растворы (обычно пресные, солоноватые, реже соленые) имеющие атмосферный генезис и проникшие в осадочно-породный бассейн путем инфильтрации при гипергенезе.

Литогенными (возрожденными), согласно А.А. Карцеву, С.Б. Вагину, В.М. Матусевичу [Карцев и др., 1986], А.А. Карцеву, Л.А. Абуковой, О.П. Абрамовой [Карцев и др., 2015] и другим исследователям, считаются катагенные водные растворы, высвобождающиеся при термодегидратации различных минералов осадочных пород. Для условий Западной Сибири они развиты в меловых и юрских резервуарах на глубинах более 2 км [Карцев и др., 1986; Шварцев, Новиков, 2004; Novikov, Sukhorukova, 2015]. Растворитель представлен главным образом высвобождающимися из химически связанного состояния молекулами воды, а растворенные компоненты состоят из вещества осадочных пород.

В вопросе понимания механизма формирования *конденсатогенных вод* авторы придерживаются мнения В.В. Нелюбина, О.Н. Яковлева [1981] и понимают под ними смесь пластовых вод фонового состава и минерализации с пресными конденсационными водами, выпадающими из водоуглеродной смеси при вертикальной ее миграции и соответствующих изменениях термобарических условий. Благоприятные условия для образования и сохранения водных оторочек конденсационного происхождения создаются также при формировании залежей путем быстротечной вертикальной миграции углеводородов из зон нефтегазообразования в ловушки [Колодий, 1975].

Опираясь на материалы геолого-геофизических исследований доюрских отложений ЗСАБ и детальный анализ гидрогеохимических данных (табл. 3, рис. 3), можно предположить наличие в их пределах трех генетических групп подземных вод и рассолов: 1) седиментогенных, 2) литогенных (возрожденных) и древних инфильтрогенных, 3) конденсатогенных.

Наибольшим разнообразием химического состава и вариацией всех генетических коэффициентов отличаются конденсатогенные воды. Помимо низкой величины их общей минерализации, которая обычно составляет до 10 г/дм³, они отличаются высокой газонасыщенностью до 2.0 л/л и более [Шварцев, Новиков, 2004; Новиков, Лепокуров, 2005; Novikov, 2017a]. Эти воды выявлены на локальных участках близ водонефтяных (ВНК) или газоводяных (ГВК) контактов на большинстве изученных месторождений (Новопортовское, Ягыл-Яхское, Малоичское, Северо-Останинское и другие). Они характеризуются высоким отношением $V/Bg > 0.7$ (до 2.92) и $r(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)/r(\text{Ca} + \text{Mg}) > 1.0$ (до 12.03), а $r\text{Na}/r\text{Cl}$ и Cl/Bg коэффициенты варьируют от 0.94 до 1.71 и от 134 до 372 соответственно. Литогенные (возрожденные) (на глубинах свыше 4 км) и древние инфильтрогенные воды отличаются от предыдущего типа более высокими значениями солёности вод (10—35 г/дм³) и более низкими значениями перечисленных выше коэффициентов. Седиментогенные воды, являющиеся признаками высокой степени гидрогеологической закрытости недр, гидродинамической зоны затрудненного и весьма затрудненного водообмена, в которых создаются условия, наиболее благоприятные для протекания процессов миграции и аккумуляции нефти и газа, характеризуются величиной общей минерализации более 35 г/дм³, более низкими по сравнению с предыдущими типами значениями коэффициента метаморфизации вод $r\text{Na}/r\text{Cl}$ 0.52—1.03 (в среднем 0.87) и Cl/Bg коэффициента 81—406 (в среднем 256). При этом следует отметить, что их значения в рассолах кембрийских и особенно вендских отложений ПОБ еще ниже. Так, в скв. Восток-3 в интервалах испытаний от 4552—4656 до 4956—4962 м происходит снижение $r\text{Na}/r\text{Cl}$ от 0.82 до 0.74—0.75, значения Cl/Bg отношения варьируют в диапазоне 148—267 (см. табл. 3).

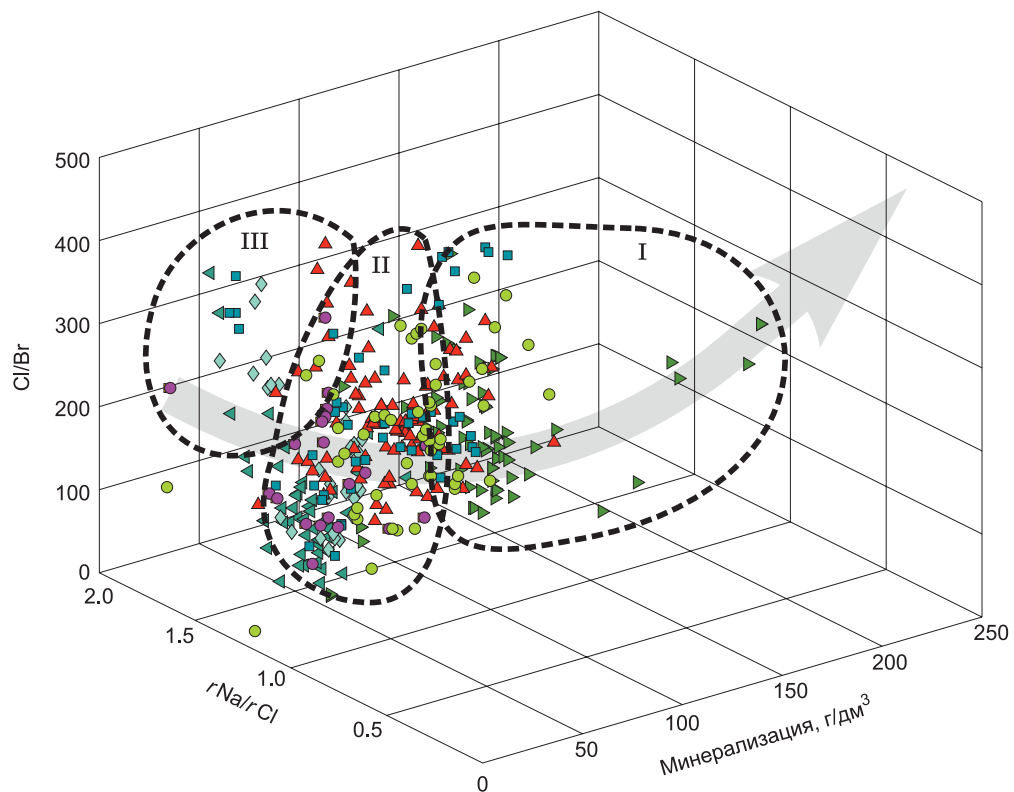
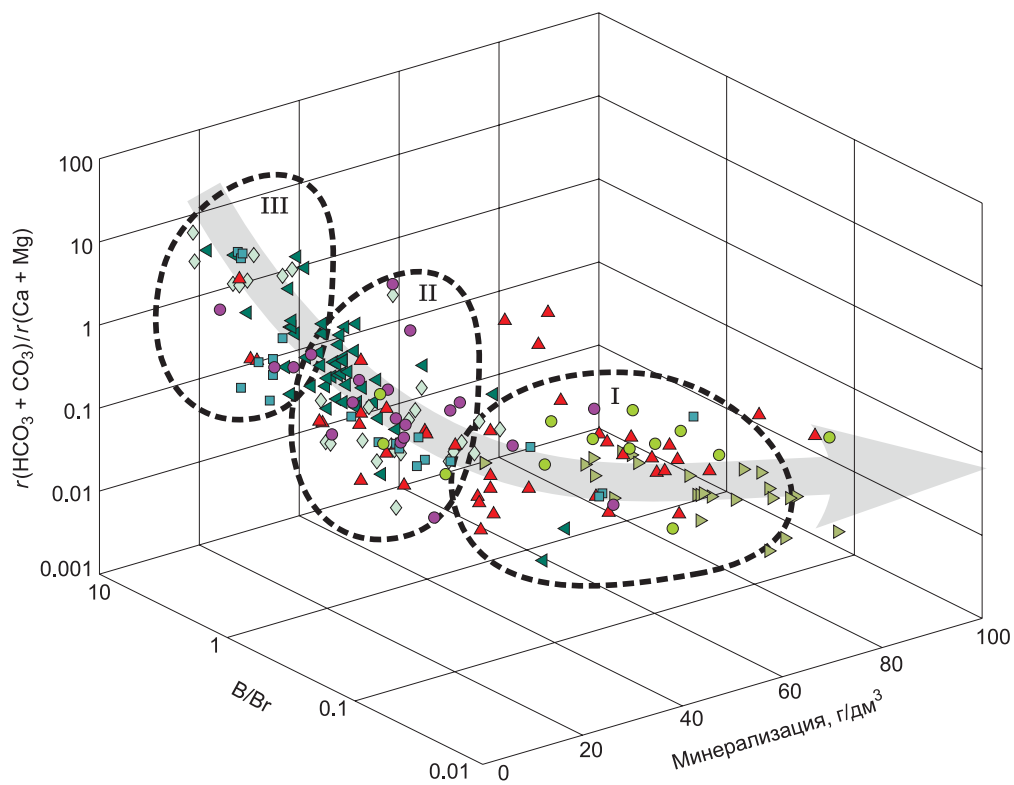


Рис. 3. Генетические группы подземных вод и рассолов в пределах доюрских комплексов Западной Сибири.

Водоносные комплексы: см. рис. 1. Генетические группы подземных вод и рассолов: I — седиментогенные, II — литогенные (возрожденные), древние инфильтрогенные, III — конденсатогенные. Стрелкой показано направление метаморфизации подземных вод и рассолов.

Таблица 3. Генетическая характеристика типов проб подземных вод и рассолов доюрских комплексов Западной Сибири

Площадь, № скв.	Интервал, м	M, г/дм ³	rNa/rCl	Cl/Br	Ca/Cl	B/Br	(Sr/Cl)·10 ⁻³	(Br/Cl)·10 ⁻³	S	Ген. тип
ННГЗК										
Пугламынская, 86	2630—2690	10.2	0.98	364	0.04	—	—	2.7	30	II
Квартовая, 3	3000—2986	11.9	1.07	335	0.03	0.12	—	3.0	21	III
Калиновая, 9	3006—3057	33.7	0.77	250	0.04	—	7.8	4.0	149	I
Останинская, 436	2740—2772	54.9	0.74	207	0.07	—	28.7	4.8	474	I
Нижнетабаганская, 1	2995—3005	60.3	0.61	228	0.04	0.13	7.9	4.4	151	I
Триасовый комплекс										
Инжегорская, 155	2588—2611	12.7	0.96	328	0.05	0.95	—	3.1	32	III
Малоатлымская, 1	2799—2804	15.3	1.02	283	0.02	0.19	—	3.5	21	II
Лянторская, 17	2962—3200	15.5	1.01	292	0.02	0.37	—	3.4	20	II
Чворовая, 3	3252—3270	21.4	1.07	398	0.00	—	—	2.5	9	II
Западно-Калгачская, 1	2153—2238	49.2	0.83	252	0.09	0.08	—	4.0	53	I
Каменноугольный комплекс										
Никольская, 1	3273—3284	8.7	0.89	951	0.10	1.03	—	1.1	48	III
Новопортовская, 218	3002—3404	9.0	1.39	356	0.01	1.71	—	2.8	11	III
Верхнекомбарская, 291	2790—2902	18.6	0.95	307	0.03	0.17	—	3.3	24	II
Сельвейкинская, 2	3116—3159	60.2	0.87	201	0.07	—	—	5.0	48	I
Верхнекомбарская, 293	2794—2799	72.8	0.84	247	0.01	—	—	4.0	16	I
Девонский комплекс										
Еллей-Игайская, 2	4165—4180	23.2	1.09	483	0.05	0.04	—	2.1	28	II
Северо-Ореховская, 560	3050—3167	46.9	0.83	265	0.09	0.07	—	3.8	55	I
Западно-Лугинецкая, 183	2708—2727	60.7	0.74	232	0.06	—	8.3	4.3	163	I
Герасимовская, 2	2980—2997	65.7	0.74	224	0.06	0.14	15.8	4.5	280	I
Калиновая, 1	2849—2860	73.4	0.42	287	0.05	—	11.0	3.5	197	I
Силурийский комплекс										
Новопортовская, 210	3240—3248	8.8	1.24	304	0.01	1.54	—	3.3	15	III
Новопортовская, 91	2720—2736	10.0	1.26	336	0.01	0.92	—	3.0	12	III
Викуловская, 1	1940—2049	12.7	0.87	321	0.06	0.49	—	3.1	37	II
Варьеганская, 99	3455—3608	14.2	0.98	551	0.02	0.15	—	1.8	15	II
Кулайская, 1	2350—2436	23.8	0.96	253	0.04	0.29	—	4.0	33	II
Ордовикский комплекс										
Южная, 402	2635—2652	9.5	1.09	575	0.02	0.27	—	1.7	17	II
Талинская, 110	2387—2441	16.4	1.03	933	0.02	1.38	—	1.1	10	III
Ем-Еговская, 126	2576—2584	22.3	1.08	152	0.03	0.22	—	6.6	36	II
Талинская, 123	2462—2474	23.0	0.80	414	0.07	0.02	—	2.4	42	II
Няргинская, 1	2660—2768	24.1	0.91	163	0.06	0.09	7.1	6.1	152	II
Кембрийский комплекс										
Вездеходная, 2	3152—3204	51.2	1.03	384	0.01	0.10	8.1	2.6	134	I
Вездеходная, 4	3442—3564	57.8	1.04	263	0.09	0.04	9.5	3.8	193	I
Вездеходная, 3	3515—3563	82.3	0.73	178	0.08	—	—	5.6	56	I
Восток, 4	3520—3532	84.2	0.84	237	0.08	0.11	0.2	4.2	52	I
»	4993—5036	209.3	0.76	295	0.10	0.22	4.9	3.4	131	I
Вендский комплекс										
Восток, 3	4552—4656	58.7	0.74	185	0.08	0.00	7.8	5.4	173	I
»	4190—4200	69.1	0.71	265	0.07	0.00	7.0	3.8	148	I
»	4956—4962	83.7	0.75	222	0.09	0.00	7.9	4.5	171	I
»	4673—4683	85.4	0.82	267	0.10	0.00	7.0	3.7	165	I
»	4720—4734	89.8	0.82	264	0.07	0.00	6.4	3.8	138	I

Древние инфильтрационные воды доминируют в прибортовых районах, что связано с близостью окраины ЗСАБ, за исключением ПОБ, где по мере приближения к структурам Сибирской платформы в кембрийских отложениях происходит смена бессолевого типа разреза на соленосный, и как следствие появляются рассолы, доходящие до стадии садки галита до 320—330 г/дм³ в скв. Лемок-1 (см. рис. 2) [Новиков, Шварцев, 2009; Дульцев, Новиков, 2017]. Литогенные (возрожденные) воды распространены на глубинах более 4 км, где проявлены процессы термодегидратации глинистых минералов, особенно в северной наиболее слабоизученной части ЗСАБ, где вулканогенно-осадочный комплекс триаса имеет мощность более 1 км [Геология..., 2000], что, по нашему мнению, является одной из возможных причин инверсионной гидрогеохимической зональности в регионе [Шварцев, Новиков, 2004]. Седиментогенные воды и рассолы установлены нами в юго-восточной 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 Новопортовском (газоконденсатная залежь в НГГЗК), Ягыл-Яхском (нефтяная залежь в пласте М), Малоичском (нефтяные залежи в пластах М₀ и М), Нижнетабаганском (нефтяные залежи в пластах М₁ (М₁₋₁₀)), Южно-Табаганском (нефтяные залежи в пластах М₁¹, М₁² и М₁³) и других месторождениях.

Степень метаморфизации химического состава. Предварительно выделенные генетические группы подземных вод и рассолов метаморфизованы в разной степени. 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 геохимических групп (рис. 4). Первая (I) включает подземные воды и слабые рассолы триасового, каменно-

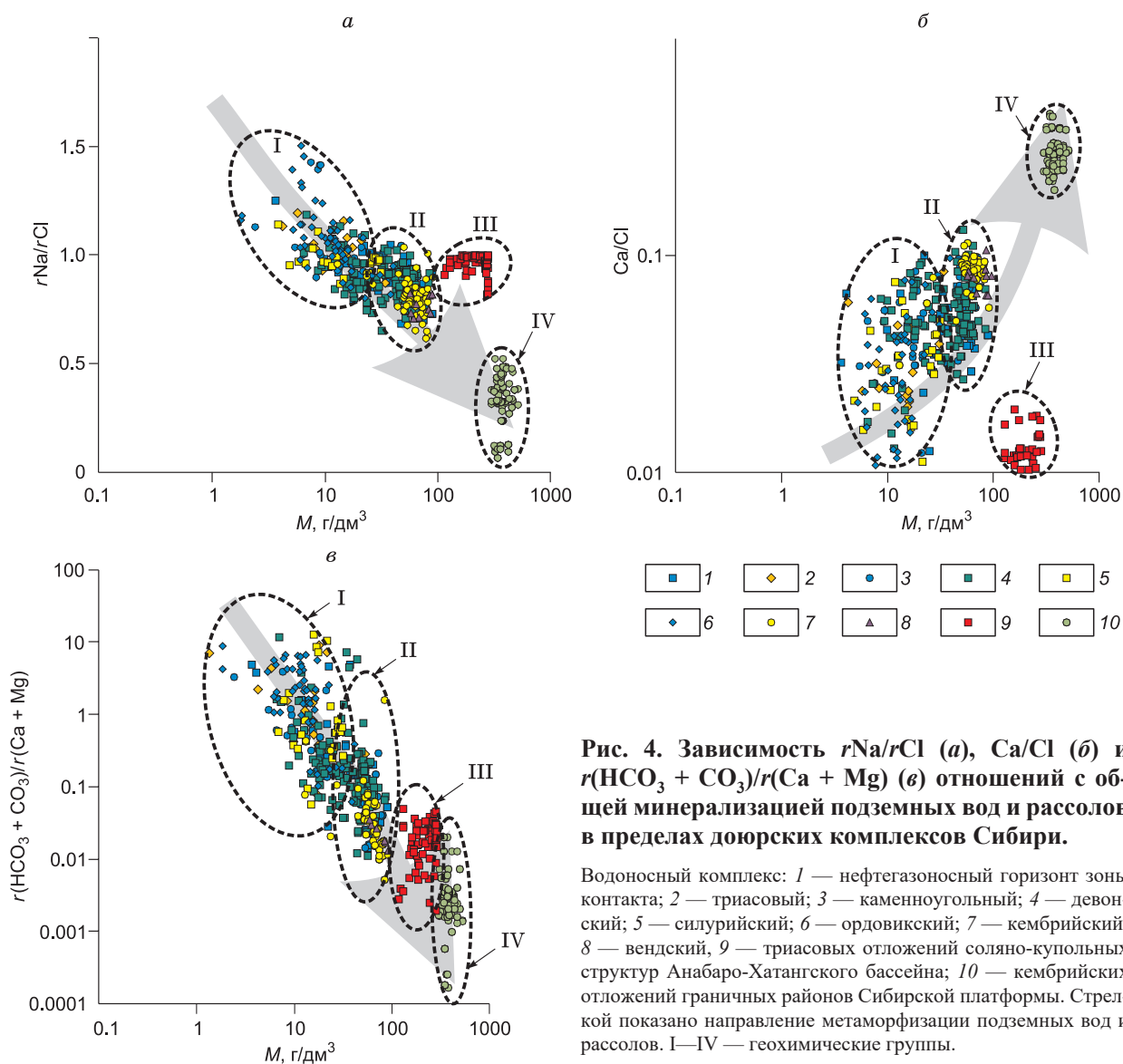


Рис. 4. Зависимость rNa/rCl (а), Ca/Cl (б) и $r(HCO_3 + CO_3)/r(Ca + Mg)$ (в) отношений с общей минерализацией подземных вод и рассолов в пределах доюрских комплексов Сибири.

Водоносный комплекс: 1 — нефтегазоносный горизонт зоны контакта; 2 — триасовый; 3 — каменноугольный; 4 — девонский; 5 — силурийский; 6 — ордовикский; 7 — кембрийский; 8 — вендский; 9 — триасовых отложений соляно-купольных структур Анабаро-Хатангского бассейна; 10 — кембрийских отложений граничных районов Сибирской платформы. Стрелкой показано направление метаморфизации подземных вод и рассолов. I—IV — геохимические группы.

угольного, девонского, силурийского и ордовикского комплексов Западной Сибири, распространенные в пределах магматических и метаморфических формаций. Установлено, что их характеризует величина общей минерализации до 50 г/дм³ и высокие $r\text{Na}/r\text{Cl}$ (до 1.7) и $r(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)/r(\text{Ca} + \text{Mg})$ (до 10.0) отношения, а также они отличаются низкими значениями Ca/Cl коэффициента. Во вторую (II) группу следует объединить рассолы девонского, кембрийского и вендского комплексов, изученные в пределах осадочных, преимущественно карбонатных пород. Они характеризуются минерализацией от 50.2 до 99.2 г/дм³ хлоридным натриевым и хлоридным натриево-кальциевым составом. Отношение $r\text{Na}/r\text{Cl}$ колеблется от 0.5 до 0.94; Ca/Cl от 0.04 до 0.13, а $r(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)/r(\text{Ca} + \text{Mg})$ составляет 0.01—0.11. В эту же группу входит большинство изученных объектов в пределах зоны контакта пород осадочного чехла и палеозойского фундамента или НГГЗК. Таким образом, подтверждается сделанный нами ранее вывод, что подземные воды и рассолы Западной Сибири находятся на начальной стадии метаморфизации химического состава [Novikov, 2017a]. Интегрированный показатель метаморфизации (S) варьирует в значительных пределах и составляет в большинстве случаев от 30 до 100 (см. табл. 3).

Рассолы венд-кембрийских отложений Предьенисейского 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 [Новиков, Шварцев, 2009; Дульцев, Новиков, 2017; Novikov et al., 2018; Dultsev, 2019].

Третья (III) группа объединяет древние инфильтрогенные рассолы выщелачивания каменной соли в пределах Нордвикского соляно-купольного района на Нордвикской, Южно-Тигянской и Илья-Кожениковской структурах Анабаро-Хатангского бассейна с величиной общей минерализации 153—312 г/дм³ хлоридного натриевого состава. Отношение $r\text{Na}/r\text{Cl}$ составляет 0.90—1.01; Ca/Cl до 0.02; $r(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)/r(\text{Ca} + \text{Mg})$ от следов до 0.07, а интегрированный показатель метаморфизации рассолов S закономерно находится около 0 [Novikov, 2017a; Черных, Новиков, 2018].

К четвертой (IV), заключительной, группе относятся сверхкрепкие рассолы граничных районов Сибирской платформы с величиной общей минерализации от 324 до 563 г/дм³ преимущественно хлоридного кальциево-натриевого и кальциевого состава. Они характеризуются значениями отношения $r\text{Na}/r\text{Cl} < 0.5$; Ca/Cl от 0.22 до 0.47 и $r(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)/r(\text{Ca} + \text{Mg}) < 0.07$ (см. рис. 4). Степень их метаморфизации наивысшая по основным отношениям, включая интегрированный показатель метаморфизации рассолов (S), который составляет более 400.

Таким образом, уровень метаморфизации (катагенетических изменений) химического состава подземных вод и рассолов изученных бассейнов Сибири растет в направлении от районов распространения магматических и метаморфических формаций в пределах триасового, каменноугольного, девонского, силурийского и ордовикского комплексов ЗСАБ к граничным структурам Сибирской платформы (Байкитская антеклиза, Присаяно-Енисейская синеклиза и другие), где развиты сверхкрепкие хлоридные кальциево-натриевые и кальциевые рассолы. Совместное рассмотрение $r\text{Na}/r\text{Cl}$, Ca/Cl , $(\text{Br}/\text{Cl}) \cdot 10^{-3}$ отношений вместе с интегрированным показателем S подтверждают правильность сделанных выводов [Novikov, 2017a].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доюрских отложениях Западно-Сибирского артезианского бассейна развиты преимущественно хлоридные натриевые воды и рассолы с общей минерализацией до 330 г/дм³ при величине минерализации фоновых вод 40—50 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 бессолевых отложений. Опираясь на материалы геолого-геофизических исследований доюрских отложений и детальный анализ гидрогеохимических данных, можно предположить наличие в их пределах трех основных генетических групп подземных вод и рассолов: 1) седиментогенных, 2) литогенных (возрожденных) и древних инфильтрогенных, 3) конденсатогенных. Древние инфильтрогенные воды доминируют в прибортовых районах, что связано с близостью окраины ЗСАБ, за исключением ПОб, где по мере приближения к структурам Сибирской платформы в кембрийских отложениях происходит смена бессолевого типа разреза на соленосный, и как следствие появляются рассолы, доходящие до стадии садки галита с величиной общей минерализации 320—330 г/дм³ в скв. Лемок-1. Литогенные (возрожденные) воды распространены на глубинах более 4 км, где проявлены процессы термодегидратации глинистых минералов, особенно в северной наиболее слабоизученной части ЗСАБ, где вулканогенно-осадочный комплекс триаса имеет мощность более 1 км, что, по нашему мнению, является одной из причин инверсионной гидрогеохимической зональности. Седиментогенные воды и рассолы установлены нами в юго-восточной части исследуемой территории, что хорошо видно по отношениям $(\text{Br}/\text{Cl}) \cdot 10^{-3}$, $r\text{Na}/r\text{Cl}$, Cl/Br , Ca/Cl и $(\text{Sr}/\text{Cl}) \cdot 10^{-3}$. Конденсатогенные воды выявлены в приконтурных зонах залежей углеводородов на Новопортовском, Ягыл-Яхском, Малоичском, Нижнетабаганском, Южно-Та-

баганском и других месторождениях. Сравнительный анализ геохимических особенностей подземных вод и рассолов доюрских комплексов Сибири показал, что изученные рассолы Западной Сибири находятся на начальной стадии метаморфизации (катагенетических изменений) химического состава.

Исследования проводились при финансовой поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0025 «Геохимия, генезис и механизм формирования состава подземных вод арктических районов осадочных бассейнов Сибири» и Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18-05-70074 «Ресурсы Арктики».

ЛИТЕРАТУРА

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.

Белоусов В.В. Общая геотектоника. М., Госгеолиздат, 1948, 599 с.

Бененсон В.А., Самсонов А.В., Дашкевич Н.Н., Сибгатулин В.Г., Кондрашов В.А., Кривошеев Э.В. Геологическое строение и прогноз нефтегазоносности юго-востока Западной Сибири // Геология нефти и газа, 1987, № 9, с. 36—41.

Боголепов К.В. О формах структурной связи Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты // Тектоника Сибири. 1963, т. 2, с. 112—121.

Бочкарев В.С. Строение фундамента Западно-Сибирской плиты и некоторые общие вопросы тектоники платформенных областей // Проблемы тектоники нефтегазоносных областей Сибири, 1977, с. 5—12. (Тр. ЗапСибНИГНИ, вып. 125).

Бочкарев В.С., Погорелов Б.С. Возраст складчатого фундамента внутренних районов Западно-Сибирской плиты // Современная геология, 1973, № 7, с. 122—127.

Бочкарев В.С., Криночкин В.Г. Докембрийские и палеозойские формации Западной Сибири // Тектоника платформенных областей, 1988, с. 80—104.

Геология и полезные ископаемые России в шести томах. Т. 2 / Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2000, 477 с.

Дашкевич Н.Н. Некоторые новые данные о глубинном строении и истории развития области сочленения Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты (в связи с оценкой перспектив нефтегазоносности) // Итоги направления поисковых работ на нефть и газ в Красноярском крае: тез. докладов VII краевой конференции. Красноярск, 1985, с. 16—18.

Дашкевич Н.Н., Каштанов В.А. Платформенные отложения палеозоя и подсолевые комплексы докембрия левобережья р. Енисей — новый объект нефтегазопоисковых работ // Докл. АН СССР, 1990, т. 315, № 5, с. 1187—1191.

Дашкевич Н.Н., Каштанов В.А., Степанов С.А. Схематическая карта нефтегазогеологического районирования докембрийских и кембрийских отложений левобережья Енисея (Красноярский край). М-б 1:2 000 000. Новосибирск, ОИГТМ СО РАН, 1992, 67 с.

Дульцев Ф.Ф., Новиков Д.А. Геотермическая зональность Предъенисейского осадочного бассейна // Изв. Том. политех. ун-та. Инжиниринг георесурсов, 2017, т. 328, № 11, с. 6—15.

Дульцев Ф.Ф., Новиков Д.А. Особенности гидрогеохимии доюрских комплексов Предъенисейского 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.

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.

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.

Захаров С.Б., Новиков Д.А. Особенности водных ореолов рассеяния углеводородных залежей в пределах палеозойского комплекса Томской области // Изв. вузов. Нефть и газ, 2010, № 3, с. 9—17.

Каменский Г.Н. Поиски и разведка подземных вод. Л., Госгеолтехиздат, 1947, 313 с.

Карцев А.А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М., Недра, 1972, 280 с.

Карцев А.А. Теоретические основы нефтегазовой гидрогеологии. М., Недра, 1992, 320 с.

Карцев А.А., Вагин С.Б., Матусевич В.М. Гидрогеология нефтегазоносных бассейнов. М., Недра, 1986, 224 с.

Карцев А.А., Абукова Л.А., Абрамова О.П. Словарь по нефтегазовой гидрогеологии. М., ГЕОС, 2015, 304 с.

- Колодий В.В.** Подземные конденсационные и солюционные воды нефтяных, газоконденсатных и газовых месторождений. Киев, Наук. думка, 1975, 122 с.
- 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, Новосибирск, 1977, с. 46—62. (Тр. СНИИГГиМСа, вып. 255).
- Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К., Сурков В.С., Трофимук А.А., Эрвье Ю.Г.** Геология нефти и газа Западной Сибири. М, Недра, 1975, 680 с.
- Конторович А.Э., Конторович В.А., Филиппов Ю.Ф., Беляев С.Ю., Бурштейн Л.М., Вальчак В.И., Евграфов А.А., Ефимов А.С., Каштанов В.А., Конторович А.А., Петров В.Н., Хоменко А.В.** Предъенисейская нефтегазоносная субпровинция — новый перспективный объект поисков нефти и газа в Сибири // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2006, № 5—6, с. 9—23.
- Конторович В.А., Конторович А.Э.** Геологическое строение докембрийско-палеозойских платформенных отложений в юго-восточных районах Западной Сибири // Отечественная геология, 2006, № 6, с. 62—70.
- Косыгин Ю.А., Лучицкий И.В.** О принципах выделения древних платформ и положении краевых поднятий в структуре Сибирской платформы // Геология и геофизика, 1960 (1), с. 52—57.
- Кругликов Н.М., Нелюбин В.В., Яковлев О.Н.** Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазосного бассейна и особенности формирования залежей углеводородов. Л., Недра, 1985, 279 с.
- Максимов С.П., Самолетов М.В., Немченко Н.Н., Кленина Л.Н., Копеев В.Д.** Палеозойский карбонатный комплекс — перспективный объект поисков залежей УВ на Ямале // Геология нефти и газа, 1987, № 10, с. 30—36.
- Матусевич В.М., Абдрашитова Р.Н.** Геодинамическая концепция в современной гидрогеологии (на примере Западно-Сибирского мегабассейна) // Фундаментальные исследования, 2013, № 4—5, с. 1157—1160.
- Матусевич В.М., Абдрашитова Р.Н.** Гидрогеологическое поле зоны сочленения Урала и Западной Сибири // Фундаментальные исследования, 2014, № 9—3, с. 590—596.
- Матусевич В.М., Рыльков А.В., Абдрашитова Р.Н.** Литогидрогеохимия — методологическая основа наращивания ресурсной базы углеводородов // Изв. вузов. Нефть и газ, 2011, № 5, с. 10—17.
- Накаряков В.Д.** Строение домезозойского фундамента Приенисейской полосы Западно-Сибирской плиты // Геология и геофизика, 1961 (3), с. 27—34.
- Наливкин Д.В.** Геологические районы СССР // Проблемы советской геологии, 1933, № 1, с. 35—56.
- Нелюбин В.В., Яковлев О.Н.** Гидрохимические аномалии как показатель условий формирования газовых и газоконденсатных залежей севера Западной Сибири // Происхождение нефти и газа, их миграция и закономерности образования и размещения нефтяных и газовых залежей. Львов, 1981, с. 228—230.
- Новиков Д.А.** Геолого-гидрогеологические условия палеозойского фундамента Новопортовского нефтегазоконденсатного месторождения // Изв. вузов. Нефть и газ, 2005, № 5, с. 14—20.
- Новиков Д.А.** Оценка современного состояния нефтегазосной системы по результатам изучения водно-газовых равновесий (на примере палеозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири) // Отечественная геология, 2015, № 3, с. 7—32.
- Новиков Д.А.** Гидрогеохимия процессов катагенетического преобразования осадочных пород нефтегазосных отложений арктических районов Западно-Сибирского мегабассейна // Изв. вузов. Нефть и газ, 2016, № 6, с. 19—25.
- Новиков Д.А.** Разведка месторождений нефти и газа в юрско-меловых отложениях п-ова Ямал на основе изучения водно-газовых равновесий // Нефтяное хозяйство, 2018а, № 4, с. 16—21.
- Новиков Д.А.** О вертикальной гидродинамической зональности Ямало-Карской депрессии (северные районы Западной Сибири) // Известия вузов. Нефть и газ, 2018б, № 1, с. 35—42.
- Новиков Д.А.** Характер равновесий в системе вода—газ на примере юрско-меловых нефтегазосных отложений Ямало-Карской депрессии // Геология и геофизика, 2020, т. 61 (8), с. 1074—1092.
- Новиков Д.А., Лепокуров А.В.** Гидрогеологические условия нефтегазосных отложений на структурах южной части Ямало-Карской депрессии // Геология нефти и газа, 2005, № 5, с. 21—30.
- Новиков Д.А., Шварцев С.Л.** Гидрогеологические условия Предъенисейской нефтегазосной субпровинции // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (10), с. 1131—1143.
- Новиков Д.А., Вакуленко Л.Г., Ян П.А.** Особенности латеральной гидрогеохимической и аутигенно-минералогической зональности оксфордского регионального резервуара Надым-Тазовского междуречья // Геология и геофизика, 2019, т. 60 (6), с. 843—859.
- Новиков Д.А., Рыжкова С.В., Дульцев Ф.Ф., Черных А.В., Сесь К.В., Ефимцев Н.А., Шохин А.Е.** Нефтегазовая гидрогеохимия доюрских комплексов южных районов Обь-Иртышского междуречья // Изв. Том. политех. ун-та. Инжиниринг георесурсов, 2018, т. 329, № 12, с. 39—54.

- Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия** / Ред. С.Л. Шварцев. Новосибирск, Наука, 1982, 286 с.
- Пиннекер Е.В.** Основные закономерности формирования состава подземных вод. Проблемы теоретической и региональной гидрогеологии. М., Изд-во Моск. ун-та, 1979, с. 10—15.
- Порфилев В.П., Ключко В.П.** Геологические аспекты нефтегазоносности фундамента (на примере Западной Сибири) // Особенности глубинного строения земной коры, 1982, с. 5—15.
- Самарина В.С.** Гидрогеохимия. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1977, 360 с.
- Соколов В.Н.** Геология и перспективы нефтегазоносности арктической части Западно-Сибирской низменности. М., Гостоптехиздат, 1960, 153 с. (Тр. НИИГА, т. 100).
- Сулин В.А.** Гидрогеология нефтяных месторождений. М., Л., Гостоптехиздат, 1948, 479 с.
- Сурков В.С., Жеро О.Г.** Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты // М., Недра, 1981, 143 с.
- Филиппов Ю.Ф.** Перспективы нефтегазоносности Предъенисейского осадочного бассейна // Геология нефти и газа, 2016, № 6, с. 35—45.
- Филиппов Ю.Ф.** Предъенисейский осадочный бассейн: сейсмогеологическая модель и геодинамическая эволюция // Геология и геофизика, 2017, т. 58 (3—4), с. 455—471.
- Фомин А.Н.** Катагенез и перспективы нефтегазоносности палеозойских отложений Среднего Приобья // Геология и геофизика, 1994, т. 35 (11), с. 63—70.
- Фомичев В.Д.** Общая схема тектоники Западной Сибири и Восточного Казахстана // Докл. АН СССР, 1948, Нов. сер., т. LIX, № 4, с. 735—738.
- Черных А.В., Новиков Д.А.** Палеогидрогеология Анабаро-Хатангского бассейна // Изв. вузов. Нефть и газ, 2018, № 4 (130), с. 27—33.
- Шварцев С.Л.** Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами. Обзор // Геология и геофизика, 1991 (12), с. 16—50.
- Шварцев С.Л.** Общая гидрогеология. М., Недра, 1996, 423 с.
- Шварцев С.Л.** Химический состав и изотопы стронция рассолов Тунгусского бассейна в связи с проблемой их формирования // Геохимия, 2000, №11, с. 1170—1184.
- Шварцев С.Л., Новиков Д.А.** Природа вертикальной гидрогеохимической зональности нефтегазоносных отложений (на примере Надым-Тазовского междуречья, Западная Сибирь) // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (8), с. 1008—1020.
- Яншин А.Л.** Тектоническое строение Евразии // Тектоника, 1965, № 5, с. 7—35.
- Chernykh A.V.** Aqueous dispersion halos of hydrocarbon deposits within the southern regions of West Siberia // J. Phys. Conf. Ser., 2019, v. 1172, № 1, № 012032.
- Dultsev F.F.** Hydrogeology and hydrogeochemistry of the ancient fore-Yenisey sedimentary basin // J. Phys. Conf. Ser., 2019, v. 1172, № 1, № 012081.
- Novikov D.A.** Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins // Pet. Explor. Dev., 2017a, v. 44, № 5, p. 780—786.
- Novikov D.A.** Distribution of Cambrian salts in the western Siberian Craton (Yurubcheno-Tokhomo field, Russia) // Arab. J. Geosci., 2017b, v. 10, № 1, p. 1—8.
- Novikov D.A.** Theoretical substantiation of application of the hydrocarbon accumulation prospecting technique in Western Siberia based on the study of water-gas equilibria // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2018a, v. 193, № 012048.
- Novikov D.A.** Genetic classification of subsurface waters and brines of Arctic regions of Siberia // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2018b, v. 193, № 012049.
- Novikov D.A.** Chemical equilibrium of groundwater with minerals of the host rocks in Upper Jurassic sediments (Arctic regions of Western Siberia) // E3S Web of Conferences 98, 2019, № 01037, doi: 10.1051/e3sconf/20199801037.
- Novikov D.A.** Hydrogeochemistry of authigenic mineral formation in Upper Jurassic sediments (the Nadym-Taz interfluvial area, Arctic regions of Western Siberia) // Appl. Geochem., 2020, v. 122, 104704.
- Novikov D.A., Sukhorukova A.F.** Hydrogeology of the northwestern margin of the West Siberian Artesian Basin // Arab. J. Geosci., 2015, v. 8, № 10, p. 8703—8719.
- Novikov D.A., Dultsev F.F., Chernykh A.V.** Abnormally high formation pressures in Jurassic-Cretaceous reservoirs of Arctic regions of Western Siberia // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2018, v. 193, № 012050.
- White D.E.** Water resources of Ward County, Texas. Texas Water Development Board Report, 1971, 125, 219 p.
- Zektser I.S., Dzhamalov R.G.** Submarine groundwater / Ed. L.G. Everett. Boca Raton, FL, CRC Press, 2007, 466 p.