

УДК 556.314

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НАРЫККО-ОСТАШКИНСКОЙ ПЛОЩАДИ (КУЗБАСС)

Домрочева Евгения Витальевна,

канд. геол.-минерал. наук, науч. сотр. Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Россия, 634055, Томск, пр. Академический, 4. E-mail: DomrochevaYV@ipgg.sbras.ru

Лепокурова Олеся Евгеньевна,

канд. геол.-минерал. наук, заведующая лабораторией гидрогеохимии и геоэкологии Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Россия, 634055, Томск, пр. Академический, 4; доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru

Сизиков Дмитрий Александрович,

заведующий лабораторией ОАО «Газпром промгаз», Россия, 117420, Москва, ул. Наметкина, 6. E-mail: D.Sizikov@promgaz.gazprom.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью изучения гидрогеохимии территории в связи с планируемой крупномасштабной добычей угля и метана.

Цель работы: изучить общие гидрогеологические и гидрогеохимические особенности Нарыкско-Осташкинской площади, условия питания и разгрузки подземных вод, особое внимание уделить зональности химического состава вод и генезису (с использованием данных по изотопному составу).

Методы исследования: Для проведения полного химического анализа вод использовались традиционные методы, а также методы спектрального, атомно-абсорбционного анализа и др. Измерение ^{18}O и $^2\text{H(D)}$ проб воды осуществляется методом изотопного уравнивания с использованием универсальной системы подготовки и ввода проб газов GasBenchIII на масс-спектрометре DELTA V ADVANTAGE.

Результаты: Данные химического и изотопного анализов показали, что на площади развиты только инфильтрационные воды с местными областями питания, разной степени солёности. Выделено две зоны: активного и замедленного водообмена. В пределах первой (верхней) зоны развиты нейтральные пресные $\text{HCO}_3^- \text{--Ca}$ воды. В пределах зоны замедленного водообмена (в том числе в угольных пластах) развиты щелочные $\text{HCO}_3^- \text{--Na}$ (содовые) воды с минерализацией до 19 г/л. Рост минерализации вод с глубиной происходит в основном за счёт ионов HCO_3^- и Na^+ , реже за счёт SO_4^{2-} и Cl^- ионов. В водах нижней части зоны замедленного водообмена наблюдается «кислородный сдвиг» за счёт изотопного обмена с породой в результате большего времени взаимодействия в системе вода–порода.

Ключевые слова:

Подземные воды, Кузбасс, Нарыкско-Осташкинская площадь, химический и изотопный состав, вертикальная зональность, генезис вод.

В последнее время во многих угледобывающих странах большое внимание уделяется вопросам освоения огромных ресурсов метана угольных пластов, являющегося наиболее доступным, дешевым и экологически чистым из нетрадиционных источников горючих газов. Планируемая крупномасштабная добыча угля и метана на территории Кузнецкого угольного бассейна требует детального изучения многих параметров, в том числе и геохимии подземных вод территории. По этой тематике авторами совместно с большим коллективом коллег уже были опубликованы работы для других районов [1–8]. Данная статья посвящена Нарыкско-Осташкинской площади Ерунаковского района (рис. 1), являющейся одной из приоритетных площадей для крупномасштабной добычи угля и метана, с ресурсами метана 918 млрд м^3 и их плотностью (концентрацией) 3,0–31,0 $\text{м}^3/\text{км}^2$ [9].

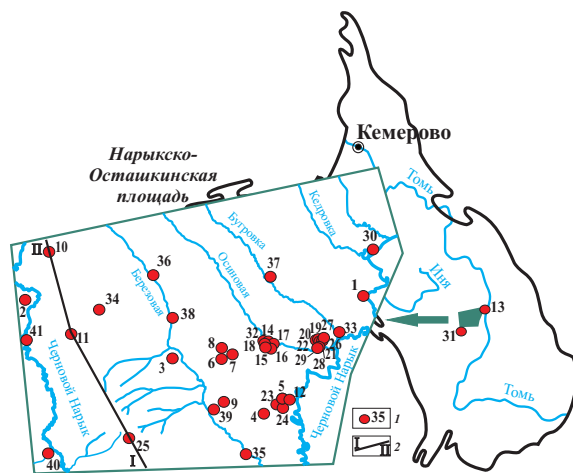


Рис. 1. Обзорная схема отбора проб воды: 1) скважина и ее номер; 2) линия геологического разреза

В задачу авторов входило изучить общие гидрогеологические и гидрогеохимические особенности территории, условия питания и разгрузки подземных вод, их зональности и генезиса (с использованием данных по изотопному составу).

Фактический материал и методы исследования

Томский филиал ИНГГ СО РАН, начиная с 2002 г., ведет совместные работы с ООО «Газпром добыча Кузнецк» по гидрогеологии, гидрогеохимии и экологии территорий потенциальной промышленной добычи угольного метана Кузбасса. В 2012 г. наши исследования были сосредоточены на территории Нарыкско-Осташкинской площади Ерунаковского района Кемеровской области. С 2009 по 2012 гг. здесь были пробурены 41 скважина глубиной от 100 до 1200 м. За 2012 г. было отобрано 35 проб воды из 29 скважин. Всего имеются данные по 112 пробам из 41 скважины (рис. 1).

В каждой точке гидрогеохимического опробования *in situ* (непосредственно на месте отбора) определились параметры быстроизменяющихся компонентов, таких как Eh, pH, температура, ионы NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , Fe^{2+} и Fe^{3+} . Макрокомпонентный и микрокомпонентный составы вод исследовались в Проблемной научно-исследовательской гидрогеохимической лаборатории Томского политехнического университета, зарегистрированной в Системе аналитических лабораторий Госстандарта России. Для проведения полного химического анализа вод использовались традиционные методы, а также методы спектрального, атомно-абсорбционного анализа и др.

Изотопный анализ воды проводился в лаборатории изотопных методов Томского филиала «Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья» (ТФ ФГУП «СНИИГГИМС»), аккредитованной в системе аккредитации аналитических лабораторий. Измерение ^{18}O и ^2H (D) проб воды осуществляется методом изотопного уравнивания с использованием универсальной системы подготовки и ввода проб газов GasBenchII на масс-спектрометре DELTAVANTAGE. Всего было отобрано 13 проб воды на $\delta^{18}\text{O}$ и на δD .

Геология и гидрогеология района

Нарыкско-Осташкинская площадь представляет собой брахисинклинальную структуру, осложненную тектоническими нарушениями. Подавляющая часть разреза сложена в основном угленосно-терригенными отложениями кольчугинской серии (P_2-P_3), представленной песчаниками, алевролитами и аргиллитами с включением до 50 угольных пластов. Эта серия делится на ерунаковскую (мощность 1,2–1,6 км) и ильинскую (мощность 0,8–1,2 км) подсерии. Угольные пласты рабочей мощности в основном располагаются в пределах ерунаковской подсерии. Выше по разрезу распространены триасовые (мальцевская серия) и юрские (конгломератовая серия) отложения.

Первые из них безугольные, вторые содержат невыдержанные маломощные пласты угля [10]. Сверху коренные породы покрыты маломощными рыхлыми отложениями кайнозойского возраста, представленными глинами, суглинками и гравийно-галечниками (рис. 2).

В гидрогеологическом отношении Нарыкско-Осташкинскую площадь в свое время исследовали Г.М. Рогов, Д.С. Покровский, В.К. Попов, Г.А. Плевако и др. [11–17]. Однако с бурением новых скважин на территории появилась возможность более детального гидрогеологического и, прежде всего, гидрогеохимического описания.

Гидрогеологические условия исследуемой территории определяются инфильтрационным характером питания подземных вод, степенью закрытости гидрогеологической системы безугольными отложениями, обладающими низкими фильтрационными свойствами. Области питания находятся на северной границе площади. Территория характеризуется прямой гидродинамической зональностью. Мощность зоны активного водообмена уменьшается в меридиональном направлении от 250–300 м на северном крыле структуры до 150–200 м на южном.

По литолого-стратиграфическим и гидродинамическим признакам здесь выделяются четыре водоносных комплекса.

Водоносный комплекс четвертичных аллювиальных отложений связан с рыхлыми осадками четвертичного возраста, мощность которых в границах участка колеблется от 0,7 до 53,2 м, в среднем 5–10 м. Литологически осадки представлены суглинками и глинами. Фильтрационные свойства этого водоносного комплекса весьма изменчивы.

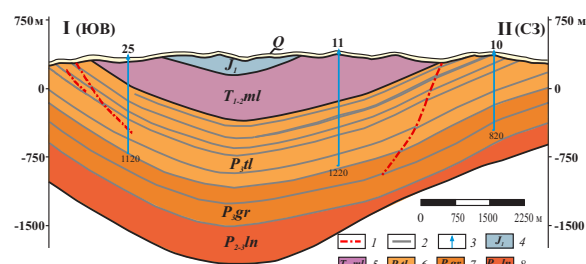


Рис. 2. Геологический разрез по линии I–II (по материалам ОАО «Газпром промгаз»): 1 – разрывные нарушения; 2 – угольные пласты; 3 – скважина (вверху – номер, внизу – глубина, м); 4 – нерасчлененные отложения нижнего и среднего отделов юры; 5 – нерасчлененные отложения нижнего и среднего отделов триаса (мальцевская серия); 6–8 – пермские отложения кольчугинской серии $P_{2-3}kl$, ерунаковской подсерии $P_{2-3}eg$: 6 – тайлуганской свиты, 7 – грамотеинской свиты; 8 – ленинской свиты

Водоносный комплекс нерасчленённых юрских отложений распространен в юго-западной части района работ. Водовмещающие породы – трещиноватые, фациально невыдержанные по площади и в разрезе слабосцементированные песчаники, алевролиты, конгломераты, реже аргиллиты. Мощность отложений 270 м, глубина залегания ком-

плекса 2–40 м. Подземные воды комплекса, как правило, напорные. Водообильность комплекса довольно высокая и обусловлена, прежде всего, наличием и интенсивностью открытой трещиноватости и степенью выветрелости пород. Питание подземных вод осуществляется путём инфильтрации атмосферных осадков на склонах и водоразделах, разгрузка происходит в местную гидросеть.

Водоносный комплекс нерасчленённых триасовых отложений мальцевской серии. Эффузивно-осадочные отложения комплекса распространены незначительно на востоке территории и представлены в большинстве своём туфогенными алевролитами, песчаниками, алевролитами и песчаниками обычного вида. Подземные воды безнапорны на водоразделах, слабонапорны в нижней части склонов и в долинах. Водообильность комплекса неравномерна как по площади, так и по разрезу.

Водоносный комплекс средне-верхнепермских отложений ерунаковской подсерии в пределах района работ используется самым широким распространением и занимает почти всю площадь. Разрез комплекса представлен чередованием мощных пластов песчаников с алевролитами, аргиллитами и углями. По водопроницаемости в толще пород выделяется две зоны: верхняя, с интенсивно трещиноватыми породами и нижняя – зона затухающей трещиноватости. По условиям залегания и характеру водовмещающих пород в верхних частях разреза преобладает трещинный тип подземных вод, ниже, в условиях затухания трещиноватости и наличия мощных пластов песчаников, возрастает роль трещинно-пластового, трещинно-жильного типов вод. Трещиноватость пород в разрезе неравномерна. Глубина залегания водоносного комплекса колеблется от 1 до 25 м, редко до 50 м на водоразделах. Подземные воды комплекса, как правило, напорные в долинах рек, подножьях склонов и безнапорные на водоразделах. Водообильность комплекса в общем невелика. Питание подземных вод преимущественно местное за счет инфильтрации атмосферных осадков, в меньшей степени за счет напорных вод глубоких горизонтов. Разгрузка происходит в местную гидросеть [11, 12].

Химический состав подземных вод

Анализ ранее известной информации и нового материала по гидрогеологии и гидрогеохимии показывает, что на исследуемой территории прослеживается прямая вертикальная гидродинамическая зональность, в соответствии с которой по интенсивности водообмена выделяются две зоны: активного и замедленного водообмена. Воды обеих зон различаются по химическому и газовому составу и подчиняются прямой вертикальной гидрогеохимической зональности [1, 2].

Воды зоны активного водообмена распространены в верхней части разреза, сложенной рыхлыми мезо-кайнозойскими (преимущественно четвертичными) отложениями, и в зоне интенсивной трещиноватости юрских отложений. Это пресные

воды (минерализация от 0,4 до 0,8 г/л), которые распространяются до глубины ориентировочно 150 м, хотя эта граница условна, т. к. на отдельных участках она поднимается до 30–50 м (скв. 13), на других опускается до 400 м (скв. 12). Это обусловливается интенсивностью водообмена и проницаемостью отложений. Наибольшая мощность этой зоны связана с участками максимального развития экзогенной трещиноватости, а также зависит от структурных особенностей территории.

Всего отобрано 15 проб из 12 скважин. По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-натриевые (табл. 1). Содержание HCO_3^- изменяется от 317 до 580 мг/л, Ca^{2+} от 60 до 120 мг/л, доля Na^+ в составе вод увеличивается к низам зоны активного водообмена от 8–30 до 40–50 мг/л. Концентрации Cl^- и SO_4^{2-} невысокие, в среднем составляют 6 и 5 мг/л. Подземные воды в основном нейтральные, реже слабощелочные, pH не превышает 8.

Основным источником химических элементов в подземных водах зоны активного водообмена являются в первую очередь атмосферные осадки и почвенно-растительный слой, затем водовмещающие породы. Сложившиеся гидрогеологические условия на рассматриваемых площадях: чередование разнопроницаемых и моноклинально залегающих отложений, равнинный рельеф, а также распространение верхнего хорошо проницаемого горизонта, способствующего быстрому проникновению атмосферных осадков на такую глубину, при которой исключается испарение и, следовательно, развитие процессов континентального засоления, все это способствует формированию пресных подземных вод, иногда до глубин 1060 м (скв. 33).

Таблица 1. Химический состав подземных вод зоны активного водообмена, мг/л

№ скв.	Глубина отбора, м	pH	Na^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Общая минерализация
1	–	7,2	8	87	10,4	342	1,6	8,6	459
31	100	7,2	71	77	24,6	451	4,3	3,2	633
2	150	7,7	27	96	14,4	425	1,0	5,2	569
3	150	8,1	22	68	26,8	358	0,9	6,8	483
4	150	7,6	37	80	29,3	464	1,9	10,0	625
6	150	7,3	47	93	28,4	535	4,1	1,5	711
7	150	7,4	12	96	20,7	410	2,8	5,4	548
8	150	7,0	28	104	15,9	427	7,3	16,9	601
9	150	7,2	11	100	17,7	415	1,7	5,5	552
10	150	7,4	29	120	30,5	580	2,5	5,1	768
11	150	7,6	31	70	13,4	342	1,4	3,8	463
12	334	7,4	28	74	13,4	317	16,0	4,9	467
12	362	7,6	50	66	12,6	378	24,0	2,9	545
12	396	7,6	44	60	14,6	329	14,0	5,4	483
12	417	7,5	40	78	12,2	390	14,0	2,1	545

Газовый состав вод этой зоны характеризуется наличием газов воздушного происхождения, т. е. N_2 , CO_2 и O_2 . При этом в водорастворенном газе резко преобладает N_2 (71–80), в меньших количествах

распространен O_2 (17–22 %) и еще меньше CO_2 (доли %). В небольших количествах иногда встречается CH_4 .

Ниже зоны активного водообмена (пресных вод) распространяется *зона соленоватых вод, приуроченная к зоне замедленного водообмена*, распространённая на данной площади в песчаных средне-верхнепермских отложениях, частично в эффузивно-осадочных отложениях триаса. Зона отличается не только более высокой минерализацией (от 1 реже от 0,4–1,2 и до 10–19 г/л), но и составом вод (табл. 2). Здесь практически повсеместно развиты содовые воды (HCO_3^-Na), характерные для всего Кузбасса [3, 5, 17, 18] с pH от 7,5 до 9,9. Для этой зоны характерны достаточно сложные гидрогеохимические условия. Химический состав вод в первую очередь определяется стадией взаимодействия воды с горными породами, для которого требуется определенное время взаимодействия, определяемое интенсивностью водообмена [18, 19].

В верхней части зоны (с интенсивно трещиноватыми породами) воды еще пресные или слабominерализованные (0,5–5 г/л), гидрокарбонатные кальциево-натриевые либо натриево-кальциевые, pH 7,5–9,3. Увеличивается содержание Cl^- до 182 мг/л, иногда SO_4^{2-} до 186 мг/л. При этом, если концентрации хлора растут и дальше по глубине, концентрации сульфат-иона с глубиной уменьшаются (рис. 3). Источником последнего скорее всего служат сульфиды (пирит), окисление которых и приводит к появлению в водах этого иона. Содержание Ca^{2+} наоборот уменьшается до 3 мг/л (табл. 2). В составе водорастворенного газа появляется метан (85–95 %).

Схема формирования содовых вод в Кузбассе уже была описана [3, 18], в том числе совместно с авторами статьи [1, 4]. Они формируются в условиях замедленного водообмена в результате выветривания алюмосиликатов, но только в том случае, когда они насыщены относительно кальцита и монтмориллонита. Именно замедленный водообмен способствует относительно длительному взаимодействию воды с горными породами и установлению равновесия воды с кальцитом. В этом случае катионы, переходящие в водный раствор за счет гидролиза алюмосиликатов, ведут себя по-разному: Са в основном связывается в виде кальцита и частично монтмориллонита, Mg и K – в виде глинистых минералов, а Na в основном концентрируется в водном растворе. Ион HCO_3^- , образующийся при гидролизе алюмосиликатов, формируется за счет CO_2 и OH^- . Тем самым на изученной территории бассейна создаются благоприятные условия для накопления в подземных водах Na и HCO_3^- за счет растворения первичных алюмосиликатов, с которыми все подземные воды неравновесны. Карбонаты Na в этой геохимической среде не встречаются геохимических барьеров и формируют содовые воды. В связи с этим содовые воды – результат строго определенного этапа взаимодействия воды с

горными породами, вполне закономерно заполняют нижнюю часть разреза. С глубиной содержание соды в воде возрастает (рис. 3), т. к. важнейшим фактором содообразования является водообмен, интенсивность которого уменьшается с глубиной, а значит, время взаимодействия воды с горными породами увеличивается. Что мы и наблюдаем на территории Нарыкско-Осташкинской площади. Более того, установлено, что с содовыми водами в этом регионе связано формирование давсонитового оруденения [20].

Таблица 2. Химический состав некоторых проб подземных вод зоны замедленного водообмена, мг/л

№ скв.	Глубина отбора, м	pH	Na^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Общая минерализация
13	30	7,5	190	34	16,5	677	3,1	7,3	929
5	150	7,7	78	76	14,6	488	1,1	3,6	663
10	150	7,4	29	120	30,5	580	2,5	5,1	769
21	150	8,6	40	72	14,7	366	4,2	5,3	503
25	150	7,9	107	20	3,1	342	1,5	0,2	475
32	211	8,2	440	8	2,4	1232	14,0	2,1	1717
37	348	7,9	380	3	3,0	1049	6,0	2,5	2288
23	437	8,5	4912	61	27,9	9326	2893,0	4,7	17320
33	440	8,0	180	8	9,7	900	6,0	185,6	1299
34	500	7,9	175	34	4,9	484	18,0	110,0	844
38	500	9,6	2250	54	20,7	2806	170,0	48,1	6892
16	548	7,8	2833	12	4,9	6447	710,0	4,6	10019
12	565	7,6	440	26	14,6	1037	182,0	2,9	1717
39	613	7,6	1932	44	24,3	5319	30,0	2,1	7359
35	617	8,2	480	34	17,0	1476	34,0	10,7	2081
24	670	8,2	5662	33	12,2	12600	1242,0	6,9	19575
39	678	8,0	1097	42	24,3	3160	14,0	1,6	4349
19	682	7,9	357	3	0,8	1055	53,6	4,6	1474
38	693	9,9	1357	19	5,5	903	124,0	69,5	3806
38	735	9,0	1600	16	15,8	3199	94,0	56,4	5616
30	776	8,0	750	34	19,5	2294	14,0	4,5	3130
41	787	7,8	1100	60	24,3	1476	130,0	1,6	4272
17	794	7,8	4839	21	12,2	12163	302,0	4,8	17355
35	863	9,3	920	4	9,1	2159	102,9	101,6	3863
20	959	8,2	5325	12	7,9	13064	586,0	9,6	19081
14	1040	8,2	3120	8	10,3	7403	298,0	5,5	10990
33	1060	8,4	90	40	5,0	310	10,0	2,1	484
18	1063	8,3	3000	17	9,8	8453	266,0	6,7	11946
22	1110	8,4	3032	18	8,6	7569	337,0	9,5	11074

В нижней части зоны замедленного водообмена (зона затухающей трещиноватости), на глубине примерно более 400–500 м, развиты уже соленоватые и даже слабосоленые (до 19,6 г/л) содовые воды. Минерализация увеличивается за счет продолжающегося увеличения содержания HCO_3^- от 3 до 7–13 г/л, Na^+ до 5,6 г/л, Cl^- до 2,9 г/л (рис. 3). При этом содержания SO_4^{2-} незначительные, 4–10 мг/л. Таким образом, воды остаются гидрокарбонатными, реже гидрокарбонатно-хлоридными, хлоридно-гидрокарбонатными натриевыми. В составе водорастворенного газа продолжает накапливаться метан.

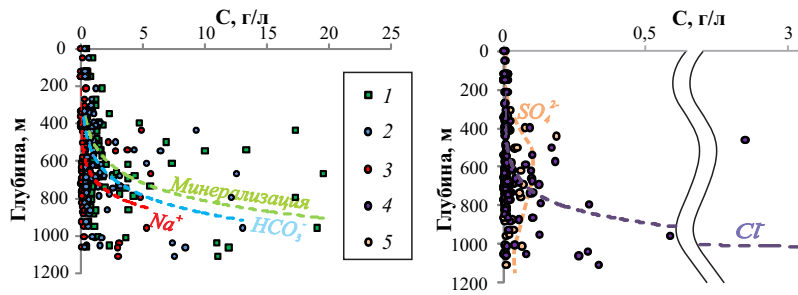


Рис. 3. Изменение минерализации вод (1), содержания HCO_3^- (2), Na^+ (3), SO_4^{2-} (4), Cl^- (5) с глубиной

Повышенное содержание хлор-иона (скв. 12, 35, 38, 16, 23) возможно при подтоке более глубоких вод с высоким его содержанием, однако на данный момент при отсутствии данных мы этого утверждать не можем.

Воды в низах зоны замедленного водообмена обогащены еще и рядом микрокомпонентов, например Sr, J, Br (0,5–9 мг/л), но в более низких концентрациях, чем для *зоны весьма замедленного водообмена* (Br 9,5–43,3 мг/л). Последняя может быть выделена предположительно на глубинах более 2000 м, поскольку данных по ней на данной площади нет. Практически она изучена только на Абашевской структуре в двух глубоких скважинах, где в интервале глубин 2270–2502 м встречаются хлоридно-гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные натриевые воды с минерализацией 32,0–35,7 г/л.

Неравномерное изменение солености вод с глубиной (рис. 3) связано с неодинаковой, как это было показано выше, проницаемостью геологического разреза. Соответственно в более проницаемых зонах, где водообмен выше, соленость воды ниже, и наоборот.

Отмеченные изменения в величине общей минерализации и pH носят естественный характер и подчиняются прямой вертикальной зональности, которая свидетельствует о том, что изученные воды являются инфильтрационным генезиса, а источником их поступления являются атмосферные осадки, проникающие в систему из областей питания. Для доказательства отсутствия (или наличия) глубинной составляющей в изученных водах был проведен изотопный анализ кислорода и водорода.

Изотопный состав водорода и кислорода

Количественные определения ^2H (дейтерий, D) и ^{18}O позволяют различать первоисточники подземных вод (метеогенные, седиментогенные, магматогенные, а отчасти и метаморфогенные воды) и оценить долю каждого генетического типа в изучаемой смеси [21]. Как видно, изученные пробы попадают в следующий диапазон вариаций значений δD : от $-144,6$ до $-101,8$ ‰, и $\delta^{18}\text{O}$: от $-17,7$ до $-11,9$ ‰. Для интерпретации генетического типа воды, как правило, используется уравнение Крейга [22–24] – линия метеорных поверхностных вод мира, за исключением областей с аридным климатом, которая имеет вид:

$$\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10 \text{ ‰} \quad (1)$$

Таблица 3. Изотопный состав водорастворенного водорода и кислорода

№ скв.	Глубина отбора, м	δD , ‰	$\delta^{18}\text{O}$, ‰	Примечание
1	–	–101,8	–15,0	I
13	30	–113,5	–17,0	
10	150	–110,0	–16,0	
19	682	–125,6	–17,7	
21	150	–124,4	–12,4	
23	437	–139,4	–13,6	II
16	548	–132,2	–14,9	
24	670	–140,8	–12,8	
17	794	–144,6	–13,1	
20	959	–134,6	–12,2	
14	1040	–144,3	–12,4	
22	1110	–140,1	–11,8	
18	1063	–132,8	–11,9	

Локальная прямая соотношений $\delta^{18}\text{O}$ и δD метеорных вод региона (рис. 4) по данным В.А. Полякова с соавторами [25] соответствует уравнению:

$$\delta\text{D} = 7,8\delta^{18}\text{O} + 6 \text{ ‰} \quad (2)$$

Как видно из рис. 4, по изотопным данным δD и $\delta^{18}\text{O}$ воды делятся на две группы. Первая группа вод (I), фигуративные точки которой располагаются или близки к линии метеорных вод, относится к пресным подземным водам зоны активного водообмена и к содовым слабоминерализованным (до 5 г/л) подземным водам [2] верхней части зоны замедленного водообмена. Эти воды по своему генезису являются инфильтрационными, т. е. формируются за счет местных атмосферных осадков.

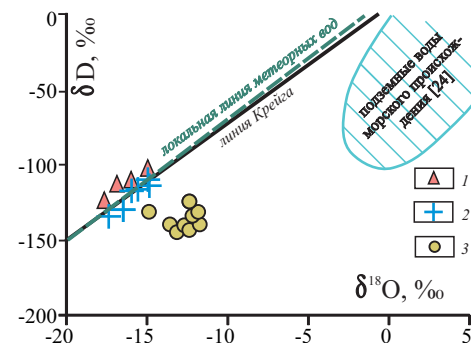


Рис. 4. Распределение изотопов водорода и кислорода в подземных водах Нарыкско-Осташкинской площади: 1 – пресные воды; 2 – содовые воды верхней части зоны замедленного водообмена [2]; 3 – содовые воды нижней части зоны замедленного водообмена

Вторая группа вод (II) несколько обогащена ^{18}O относительно первой группы. Фигуративные точки сдвинуты на графике вправо. Это содовые воды нижней части зоны замедленного водообмена с минерализацией более 5 г/л (на границе с зоной весьма замедленного водообмена). По генезису они также инфильтрационные, но в результате большего времени взаимодействия в системе вода–порода наблюдается «кислородный сдвиг» за счет кислородного изотопного обмена с породой [26, 27]. По такому же принципу (большого времени взаимодействия с минералами вмещающих пород) растет и минерализация вод.

Выводы

1. В пределах Нарыкско-Осташкинской площади Кузнецкого угольного бассейна по данным химического и изотопного анализов развиты только инфильтрационные воды с местными и отдаленными областями питания, разной степени солености.
2. Прослеживается прямая вертикальная гидродинамическая зональность, в соответствии с которой по интенсивности водообмена можно выделить две зоны: активного и замедленного водообмена, что, в свою очередь, обуславливает прямую гидрогеохимическую зональность. Зона активного водообмена характеризуется более высокой проницаемостью отложений и наличием нейтральных и слабощелочных пресных вод гидрокарбонатного кальциевого состава. Зона замедленного водообмена – меньшей проницаемостью и развитием содовых вод ($\text{HCO}_3\text{-Na}$) с минерализацией 0,5–19 г/л и pH от 7,5 до 9,9. В составе водорастворенного газа преобладает метан. Распространена зона замедленного водо-

обмена на данной площади в основном в песчаных средне-верхнепермских отложениях, содержащих многочисленные угольные пласты.

3. В пределах зоны замедленного водообмена дополнительно можно выделить верхнюю и нижнюю части. Верхняя характеризуется наличием пресных или слабоминерализованных содовых вод (0,5–5 г/л), с повышенными концентрациями Cl^- , иногда SO_4^{2-} . Диапазон вариаций значений δD : от –125,6 до –101,8 ‰, и $\delta^{18}\text{O}$: от –17,7 до –15,0 ‰, что близко к метеорным водам региона.
4. Нижняя часть зоны замедленного водообмена характеризуется наличием уже солоноватых и даже слабосоленых (до 19,6 г/л) содовых вод с повышенным содержанием Cl^- , а также таких микрокомпонентов, как Sr, J, Br. В составе водорастворенного газа продолжает накапливаться метан. В результате большего времени взаимодействия в системе вода–порода за счет кислородного изотопного обмена с породой наблюдается «кислородный сдвиг», вода обогащается ^{18}O до значений $\delta^{18}\text{O}$ от –14,9 до –11,9 ‰, но остается инфильтрационной.
5. Рост минерализации вод с глубиной происходит в основном за счет ионов HCO_3^- и Na^+ , реже за счет SO_4^{2-} (только в верхней части зоны замедленного водообмена) и Cl^- ионов. Сода – это продукт растворения водой алюмосиликатов на определенной стадии их взаимодействия с подземными водами в условиях относительно невысокого концентрирования солей и замедленного водообмена. Наличие сульфатов в воде предположительно объясняется окислением сульфидов (пирита), хлора – подтоком более глубоких вод с высоким его содержанием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Домрочева Е.В. Гидрогеохимические особенности угольных районов Кузбасса: автореф. дис.... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2005. – 22 с.
2. Шварцев С.Л., Хрюкин В.Т., Домрочева Е.В., Кузеванов К.И., Рассказов Н.М., Попова Т.С., Лепокурова О.Е., Швачко Е.В. Гидрогеология Ерунаковского района Кузбасса в связи с проблемой образования ресурсов и добычи угольного метана // Геология и геофизика. – 2006. – Вып. 47. – № 7. – С. 878–889.
3. Шварцев С.Л., Рыженко Б.Н., Алексеев В.А., Дутова Е.М., Кондратьева И.А., Копылова Ю.Г., Лепокурова О.Е. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода: в 5 т. Т. 2: Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 389 с.
4. Шварцев С.Л., Домрочева Е.В., Рассказов Н.М. Геохимия и формирование содовых вод Кузбасса // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 1. – С. 128–134.
5. Аникин А.И., Людвиг В.М., Шварцев С.Л. Геохимия подземных вод даунситоносных пород Березовоярского участка (Кузбасс) // Обской вестник. – 2001. – № 1. – С. 65–69.
6. Копылова Ю.Г., Лепокурова О.Е., Токаренко О.Г., Шварцев С.Л. Химический состав и генезис углекислых минеральных вод Терсинского месторождения (Кузбасс) // Доклады академии наук. – 2011. – Т. 436. – № 6. – С. 1–5.
7. Токаренко О.Г. Подземные воды центральной части Кузбасса: химический состав в пределах различных ландшафтных областей // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 169–174.
8. Андреева М.П., Домрочева Е.В. Эколого-геохимическое состояние природных вод зоны активного водообмена юга Кузбасса // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 123–133.
9. Кузнецкий бассейн – крупнейшая сырьевая база промышленной добычи метана из угольных пластов / А.М. Карасевич, В.Т. Хрюкин, Б.М. Зимаков, Н.Г. Матвеев, С.С. Золотых, В.Г. Натура, Т.С. Попова. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. – 64 с.
10. Геология угольных месторождений СССР / под ред. А.К. Матвеевой. – М.: Изд-во Московского университета, 1990. – 352 с.
11. Гидрогеология СССР. Т. XVII. Кемеровская область и Алтайский край / под ред. М.А. Кузнецова, О.В. Постникова. – М.: Недра, 1972. – 398 с.
12. Гидрогеология СССР. Т. XVI. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области) / под ред. Нуднера В.А. – М.: Недра, 1970. – 368 с.
13. Покровский Д.С. К вопросу режима подземных вод Ерунаковского района Кузбасса // Известия Томского политехнического института. – 1967. – Т. 167. – № 1. – С. 32–35.
14. Покровский Д.С., Плевако Г.А. Гидрогеохимические условия зоны пологих брахиструктур Кузбасса на примере Ерунаков-

- ского угленосного района // Известия Томского политехнического института. – 1975. – Т. 297. – № 1. – С. 57–63.
15. Попов В.К. Особенности формирования и использование подземных вод угленосных образований Кузбасса (на примере центральных и южных районов): автореф. дис... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 1975. – 23 с.
 16. Рогов Г.М. Гидрогеология Кузнецкого угольного бассейна: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Томск, 1966. – 647 с.
 17. Рогов Г.М., Попов В.К. Гидрогеология и катагенез пород Кузбасса. – Томск: Изд-во Томского университета, 1985. – 191 с.
 18. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 288 с.
 19. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. – М.: Недра, 2012. – 424 с.
 20. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия процессов образования давсонита // Доклады академии наук. – 2004. – Т. 394. – № 6. – С. 818–821.
 21. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы. – М.: Наука, 1983. – 277 с.
 22. Craig H. Isotopic variations in meteoric waters // Science. – 1961. – V. 133. – P. 1702–1703.
 23. Craig H. Standard for Reporting Concentrations of Deuterium and Oxygen-18 in Natural Waters // Science. – 1961. – V. 133. – P. 1833–1834.
 24. Craig H., Gordon L.I. Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere // Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures. – 1965. – P. 9–130.
 25. Изотопные исследования подземных вод на полигоне «Томский» / В.А. Поляков, В.Т. Дубинчук, Е.В. Голубкова, В.А. Лыготин, Ю.В. Макушин, К.М. Макарова // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 11. – С. 47–52.
 26. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швеи В.М. Гидрогеохимия. – М.: Недра, 1992. – 463 с.
 27. Пиннекер Е.В., Писарский Б.И., Шварцев С.Л. Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах. – Новосибирск: Наука, 1982. – 239 с.

Поступила 18.11.2013 г.

UDC 556.314

GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF UNDERGROUND WATER OF THE NARYKSKO-OSTASHKINSKAYA AREA (KUZBASS)

Evgeniya V. Domrocheva,

Cand. Sc., Tomsk Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the RAS, 4, Akademicheskii avenue, Tomsk, 634055, Russia. E-mail: DomrochevaYV@ipgg.sbras.ru

Olesya E. Lepokurova,

Cand. Sc., Tomsk Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the RAS, 4, Akademicheskii avenue, Tomsk, 634055, Russia; Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru

Dmitry A. Sizikov,

ОАО «Gazprom promgaz» 6, Nametkina street, Moscow, 117420, Russia. E-mail: D.Sizikov@promgaz.gazprom.ru

The relevance of the study is caused by the need to research hydrogeochemistry of the territory because of the planned large-scale production of coalbed methane.

The main aim of the research is to study general hydrogeological and hydrogeochemical features of Naryksko-Ostashkinskaya area, conditions of groundwater supply and unloading, to pay special attention to ash value of water chemistry and genesis (using data on the isotopic composition).

The methods used in the study: To carry out a complete chemical analysis of water the authors have used traditional methods as well as methods of spectral, atomic absorption analysis, etc. ^{18}O and $^2\text{H}(\text{D})$ of water samples were measured by isotope equilibration applying universal system of preparation and introduction of GasBench II gas samples on mass spectrometer DELTA V ADVANTAGE.

The results: The chemical and isotopic analyzes have shown that only infiltration water with local supply areas, with different salinity degrees are developed over the area. The active and slow water exchange zones were singled out. Within the first (top) neutral zone fresh Ca-HCO_3 water is developed. Within the area of slow water exchange (including coals) alkaline $\text{HCO}_3\text{-Na}$ (soda) water with salinity to 19 g/l is developed. Water salinity grows with depth mainly due to HCO_3^- and Na^+ ions, rare due to SO_4^{2-} and Cl^- ions. In water of a lower part of the slow water exchange the «oxygen shift» is observed due to isotopic exchange with the rock as a result of greater interaction time in the system water–rock.

Key words:

Groundwater, Kuzbass, Naryksko-Ostashkinskaya area, chemical and isotopic composition, vertical zonation, genesis of water.

REFERENCES

- Domrocheva E.V. *Gidrogeokhimicheskie osobennosti ugolnykh rayonov Kuzbassa*. Avtoref. Kand. Diss. [Hydrogeochemical features of the coal Areas of Kuzbass. Cand. Dis. Abstract]. Tomsk, 2005. 22 p.
- Shvartsev S.L., Khryukin V.T., Domrocheva E.V., Kuzevanov K.I., Rasskazov N.M., Popova T.S., Lepokurova O.E., Shvachko E.V. *Gidrogeologiya Erunakovskogo rayona Kuzbassa v svyazi s problemoy obrazovaniya resursov i dobychi ugolnogo metana* [Hydrogeology of the Erunakovo region of the Kuznetsk basin in the context of coal methane formation and mining]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 2006, vol. 47, no. 7, pp. 878–889.
- Shvartsev S.L., Ryzhenko B.N., Alekseev V.A., Dutova E.M., Kondratova I.A., Kopylova Yu.G., Lepokurova O.E. *Geologicheskaya evolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy voda–poroda: v 5 tomakh. T. 2: Sistema voda–poroda v usloviyakh zony gipergeneza* [Geological evolution and self-organization of water–rock system: 5 v. vol. 2: Water–rock system in the conditions of a hypergenesis zone]. Novosibirsk, SO RAN, 2007. 389 p.
- Shvartsev S.L., Domrocheva E.V., Rasskazov N.M. *Geokhimiya i formirovanie sodovyykh vod Kuzbassa* [Geochemistry and formation of soda waters of Kuzbass]. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 318, no. 1, pp. 128–134.
- Anikin A.I., Lyudvig V.M., Shvartsev S.L. *Geokhimiya podzemnykh vod davsonitonoynykh porod Berezhovoyarskogo uchastka (Kuzbass)* [Geochemistry of groundwater davsonitonoynykh rocks of the Berezhovoyarsky site (Kuzbass)]. *Obshchaya vestnik*, 2001, no. 1, pp. 65–69.
- Kopylova Yu.G., Lepokurova O.E., Tokarenko O.G., Shvartsev S.L. *Khimicheskiy sostav i genezis uglekislykh mineralnykh vod Tersinskogo mestorozhdeniya (Kuzbass)* [Chemical composition and genesis of carbon mineral waters of the Tersinsky deposit (Kuzbass)]. *Doklady Akademii Nauk*, 2011, vol. 436, no. 6, pp. 1–5.
- Tokarenko O.G. *Podzemnye vody tsentralnoy chasti Kuzbassa: khimicheskiy sostav v predelakh razlichnykh landshaftnykh oblastey* [Ground waters of Kuzbas central part: chemical composition within various landscape regions]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, no. 1, pp. 169–174.
- Andreeva M.P., Domrocheva E.V. *Ekologo-geokhimicheskoe sostoyanie prirodnnykh vod zony aktivnogo vodoobmena yuga Kuzbassa* [Ecologic-geochemical condition of natural waters of the active water exchange zone of the south of Kuzbas]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2007, vol. 311, no. 1, pp. 123–133.
- Karasevich A.M., Khryukin V.T., Zimakov B.M., Matvienko N.G., Zolotykh S.S., Natura V.G., Popova T.S. *Kuznetskiy basseyn – krupneyshaya syrovaya baza promyslovoy dobychi metana iz ugolnykh plastov* [The Kuznetsk basin is the largest resource base of commercial production of methane from coal layers]. Moscow, Akademiya gornyykh nauk, 2001. 64 p.
- Geologiya ugolnykh mestorozhdeniy SSSR* [Geology of coal deposits in the USSR]. Ed. A.K. Matveeva. Moscow, Moscow University Press, 1990. 352 p.
- Gidrogeologiya SSSR. T. XVII. Kemerovskaya oblast i Altaiskii krai* [Hydrogeology of the USSR. T. XVII. Kemerovo region and Altai territory]. Eds. M.A. Kuznetsova, O.V. Postnikova. Moscow, Nedra Publ., 1972. 398 p.
- Gidrogeologiya SSSR. T. XVI. Zapadno-Sibirskaya ravnina (Tyumenskaya, Omskaya, Novosibirskaya i Tomskaya oblasti)* [Hydrogeology of the USSR. T. XVI. The West Siberian Plain (Tyumen, Omsk, Novosibirsk and Tomsk regions)]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 368 p.
- Pokrovskiy D.S. *K voprosu rezhima podzemnykh vod Erunakovskogo rayona Kuzbassa* [On the question of the groundwater regime of the Erunakovsky Area of Kuzbass]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 1967, vol. 167, no. 1, pp. 32–35.
- Pokrovskiy D.S., Plevako G.A. *Gidrogeokhimicheskie usloviya zony pologikh brakhistruktur Kuzbassa na primere Erunakovskogo ugleznogo rayona* [Hydrogeochemical conditions of shallow zone of brahistruktur on the example of the Erunakovsky carboniferous area]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 1975, vol. 297, no. 1, pp. 57–63.
- Popov V.K. *Osobennosti formirovaniya i ispolzovanie podzemnykh vod ugleznynykh obrazovaniy Kuzbassa (na primere tsentralnykh i yuzhnykh rayonov)*. Avtoref. Kand. Diss. [Features of formation and use of groundwater of carboniferous formations of Kuzbass (on the example of the central and southern regions). Cand. Diss. Abstract]. Tomsk, 1975. 23 p.
- Rogov G.M. *Gidrogeologiya Kuznetskogo ugolnogo basseyna*. Dokt. diss. [Hydrogeology of Kuznetsk coal basin. Dr. Diss.]. Tomsk, 1966. 647 p.
- Rogov G.M., Popov V.K. *Gidrogeologiya i katagenez porod Kuzbassa* [Hydrogeology and katagenesis rocks of Kuzbass]. Tomsk, Tomsk university Press, 1985. 191 p.
- Shvartsev S.L. *Gidrogeokhimiya zony gipergeneza* [Hydrogeochemistry of the hypergenesis zone]. Moscow, Nedra Publ., 1998. 288 p.
- Shvartsev S.L. *Obshchaya gidrogeologiya* [General hydrogeology]. Moscow, Nedra Publ., 2012. 424 p.
- Shvartsev S.L. *Gidrogeokhimiya protsesov obrazovaniya davsonita* [Hydrogeochemistry of processes of the formation of dawsonite]. *Doklady Akademii Nauk*, 2004, vol. 394, no. 6, pp. 818–821.
- Ferronskii V.I., Polyakov V.A. *Izotopiya gidrosfery* [Isotopy of hydrosphere]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 277 p.
- Craig H. *Isotopic variations in meteoric waters*. *Science*, 1961, vol. 133, pp. 1702–1703.
- Craig H. *Standart for Reporting Concentrations of Deuterium and Oxygen-18 in Natural Waters*. *Science*, 1961, vol. 133, pp. 1833–1834.
- Craig H., Gordon L.I. *Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere*. *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*, 1965, pp. 9–130.
- Polyakov V.A., Dubinchuk V.T., Golubkova E.V., Lgotin V.A., Makushin Yu.V., Makarova K.M. *Isotopnye issledovaniya podzemnykh vod na poligone «Tomskii»* [Underground waters isotopic investigation at the testing ground «Tomsky»]. *Razvedka i Zokhrana nedr – Prospect and protection of mineral resources*, 2008, no. 11, pp. 47–52.
- Krainov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M. *Gidrogeokhimiya* [Hydrogeochemistry]. Moscow, Nedra Publ., 1992. 463 p.
- Pinneker E.V., Pisarskii B.I., Shvartsev S.L. *Osnovy gidrogeologii. Geologicheskaya deyatel'nost i istoriya vody v zemnykh nedrahkh* [Basics hydrogeology. Geological activity and the history of water in the bowels of the earth]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982. 239 p.