

ные комплексы, которые можно в течение длительного времени использовать одновременно в качестве источника термальных вод и как объект их возвратной закачки, что является оптимальным вариантом, исходя из природоохранных соображений использования геотермальных ресурсов.

Моделирование показало, что при любом сценарии эксплуатации термальных вод постепенно развивается снижение их температуры во времени. Поэтому в процессе поисков, разведки и строи-

тельства малых энергоснабжающих геотермальных систем необходимо добиваться оптимального соотношения фильтрационно-ёмкостных свойств пород, мощности эксплуатируемых водоносных толщ, времени эксплуатации и расстояния между фильтровыми зонами добывающей и нагнетательной скважин с целью минимизации изменений исходного геотемпературного поля.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мищенко М.В. Гидрогеологические условия Южно-Черемшанской площади Томской области // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XI Междунар. симп. им. акад. М.А. Усова. – Томск, 2007. – С. 153–155.
2. Данченко А.М., Заде Г.О., Земцов А.А. и др. Кадастр возможностей. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 280 с.
3. Назаров А.Д. Нефтегазовая гидрогеохимия юго-восточной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. – М.: Идея-Пресс, 2004. – 288 с.
4. Кирюхин А.В., Москалев Л.К., Поляков А.Ю., Чернев И.И. Изменения термодинамического и газогидрохимического режима резервуара в процессе эксплуатации мутновского геотермального месторождения // Всероссийское совещание по подземным водам Востока России: Матер. XVIII Совещ. по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. – г. Иркутск, 19-23 июня 2006 г. – Иркутск, 2006. – С. 267–270.
5. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 305. – № 6. – С. 348–365.
6. Курчиков А.Р., Ставицкий Б.П. Геотермия нефтегазоносных областей Западной Сибири. – М.: Недра, 1987. – 134 с.
7. Гидрогеодинамические расчеты на ЭВМ / под ред. Р.С. Штенгелова. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 335 с.

Поступила 24.02.2011 г.

УДК 556.314

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЫ «ОМЕГА» (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

О.Е. Лепокурова*, О.Ф. Зятева

*Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
Томский политехнический университет
E-mail: petrovaolesya@yandex.ru

Приведены данные по газовому, макро- и микрокомпонентному составу некоторых минеральных вод Томской области. Исследованы гидрогеологические условия и химический состав месторождения минеральной воды «Омега». Прослежено изменение основных показателей состава вод на протяжении 15 лет. Приведено сравнение с другими минеральными водами региона. Показана уникальность «Омеги» на их фоне благодаря низкой минерализации и высокому показателю pH.

Ключевые слова:

Щелочная слабоминерализованная вода «Омега», гидрогеологические условия, месторождения вод, химический состав, минерализация, pH.

Key words:

Alkaline low-mineralized water «Omega», hydro-geological conditions, waters deposits, chemical composition, salinity, pH.

Минеральные воды Томской области изучались на протяжении многих лет [1]. Расположение скважин, вскрывших основные типы минеральных вод, представлено на рис. 1. По бальнеологическим свойствам здесь выделяются следующие группы вод: обогащенные органическим веществом, железистые, борные, йодо-бромные и воды, действие которых определяется ионным составом (табл. 1).

Несмотря на многочисленные публикации по минеральным водам региона, работы, посвященные слабоминерализованным минеральным водам, представлены крайне скудно. Такие воды

вскрыты в пределах Тегульдетского месторождения питьевой лечебно-столовой воды, относящейся к группе, обогащенной органическим веществом. Минеральная вода, добываемая скважиной 1-Р, разливается под названием «Омега» и характеризуется уникальным химическим составом вследствие исключительно низкой ее минерализации и резко щелочной реакции среды. Между тем известно, общая закономерность для подземных вод различных регионов [2]: чем выше соленость вод, тем выше и pH. Отклонения возможны и связаны с локальными факторами (наличие или отсутствие углекис-

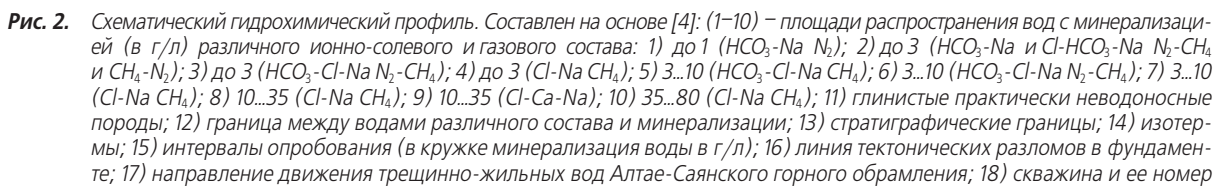
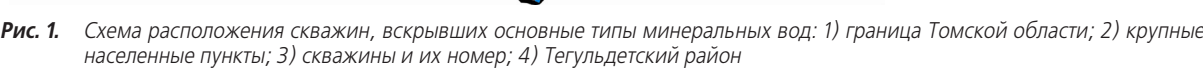


Таблица 1. Физические свойства и химический состав некоторых минеральных вод Томской области. Концентрация ионов и сумма солей дана в мг/л

№№ Скважин	98 ^к	12 ^с	2 ^м	2 ^н	1 ^{мс}	19 ^к	1ч(5р)	3-Р	6-Р	45 ^к	385-Р	1 ^м	10-Р	Воды [5], Диапазон среднее
Глубина, м	209...249	325...334	1226...1230	744...760	271...279	111...122	2122...2126	2143...2148	589...594	372...392	230...240	1997...2005	1245...1255	130...1820 430
Возраст пород	K ₂ ip	K ₂ ip	K ₁₋₂ pk	K ₁₋₂ pk	K ₃ ms	P ₂₋₃ jur	K ₁ tr	K ₁ tr	K ₁₋₂ pk	K ₂ smn+ ip	K ₂ smn	K ₁ il	K ₁ pk	K
Температура, °С	8	11	24	10	9	7	38...41	53	16	12	8	40	37	4...11 6,9
pH	8,5...9,3	7,4...8,6	7,5...8,8	7,9...9,9	6,5...8,1	7,2...7,6	7,6...7,9	7,3	7,9...8,9	8,1	6,6	8,29	7,3...8,0	6,8...8,4 7,7
HCO ₃ ⁻	354...464	567...659	370,5...567,6	403...622	152...195	122...198	159...220	-	325...451	366...402,7	160	205	208	305...817 520
SO ₄ ²⁻	0.30	0.5,2	0.2,5	0.3,5	-	-	0,1...18	-	0,5...4,5	0.3,3	-	2,6	-	0,1...11,2 3,8
Cl ⁻	26,6...45,7	133...152	106...354	175...259	1382...1526	1461...1737	3301...3550	8000	432...639	1418...1489	825	873	12000	13...1266,6 180,8
Ca ²⁺	1,0...12,5	6...10	6...8	3...12	140...156	206...228	220...255	-	4...17	39...50	162	2...4	544	2...138 71
Mg ²⁺	1,2...31,8	0...3,7	0...2,4	1,2...7,9	75,3...109,3	72,9...109,8	3...27	-	1,2...40	12...52	107	0...3	41	1,0...40,3 18,7
Na ⁺	165...190	300...323	236...380	315...370	678...699	550...742	1910...2100	4820	412...570	954...988	344	625	7137	7,5...900,0 208,7
K ⁺	1,0...2,3	2,0...3,7	1,4...3,4	2...6,2	10,3...11,1	6,0...9,7	5...10	-	3,2...9,6	11,8...29,5	11	0...3	-	0,6...6,0 2,2
Fe _{общ}	0,04...0,55	0,02...0,46	0...0,48	0,24...6,8	1,8...11,5	5,5...24,6	0...1,7	-	0,05...0,85	0,3...0,66	10	0,3	-	0,17...6,0 2,1
Сумма солей	408...681	788...1192	815...1111	999...1208	2362...2592	2523...2895	5754...6266	13000...14000	1333...1737	2728...2813	1640	1700	19900	640...2710 1028
Бальнеологическая группа	Вода, обогащенная органическим веществом					Железистая	Борная					Вода, действие которой определяется ионным составом		-
Количество ана-лиз	8	5	7	10	6	6	4	5	18	5	1	1	1	9

слобо газа, щелочных магматических пород и др.). Например, слабоминерализованные щелочные радоновые воды в пределах Горного Алтая, Новосибирского Приобья и Колывань-Томской складчатой зоны [3], т. е. горно-складчатых систем. Поэтому выявление локальных факторов, предопределяющих формирование подобных вод в пределах Западно-Сибирского артезианского бассейна, представляет научный и практический интерес. На данном этапе исследований мы рассмотрим особенности гидрогеологических условий и химического состава вод «Омега».

Общая характеристика месторождения вод «Омега»

Месторождение находится в Тегульдетском районе Томской области. Скважина 1-Р находится в 1,5 км от с. Тегульдет и в 200 км от г. Томска. Скважина пробурена в 1956 г. буровой бригадой Чулымской партии треста «Запсибнефтегеология» с поисково-разведочной (нефть, газ) целью. Глубина скважины 2886 м. Продуктивный водоносный горизонт залегает в интервале глубин 1266...1277 м.

Геоморфологически Тегульдетское месторождение минеральной воды расположено в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины, в пределах Чулымо-Енисейского плато. В геолого-структурном отношении территория исследований относится к Тегульдетской впадине на сочленении Западно-Сибирской плиты и Алтае-Саянской складчатой системы, расположенной в зоне прогиба фундамента. Здесь проходит крупный разлом, разграничивающий структурно-формационные зоны [3]. Геологический разрез вскрывает палеозойские отложения (Pz) в интервале 2550...3000 м, представленные известняками и аргиллитами. Юрские отложения ($J_{1-2}tm$, $J_{3}tg-ms$) залегают в интервале 1750...2550 м. Они представлены известняками, аргиллитами, глинами. Меловые отложения (K_{il} , K_{1-2} , $K_{2}smn$, $K_{2}sms$) залегают в интервале 150...1750 м и представлены песчаниками, алевролитами, глинами, известняками. В верхней части разреза распространены палеогеновые и неоген-четвертичные отложения.

В гидрогеологическом отношении участок приурочен к Чулымскому бассейну юго-восточной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. В строении бассейна обособляются два гидро-

геологических этажа, разделенных мощным мел-палеогеновым водоупором (мощность более 1 км).

Верхний гидрогеологический этаж включает в себя палеоген-четвертичные и, частично, верхне-меловые водоносные отложения (рис. 2). Заключенные в нем подземные воды находятся в условиях активного, в нижней части — замедленного водообмена. На глубине 50 м опробован водоносный горизонт олигоценых отложений P_3 (табл. 2) верхнего гидрогеологического этажа. Воды холодные (температура 4 °С) пресные (минерализация 0,6 г/л) гидрокарбонатные кальциевые с нейтральной реакцией среды (рН 6,8).

Нижний гидрогеологический этаж объединяет водоносные комплексы палеозойских, юрских и нижнемеловых отложений. Заключенные в нем подземные воды находятся, как правило, в обстановке замедленного и весьма замедленного режима. Продуктивным водоносный горизонт приурочен к илекской свите нижнего гидрогеологического этажа, представленной осадочными обломочными породами (песчаниками и алевролитами) нижнемелового возраста (K_{il}). Производительность скважины равна 0,9 л/с (разовый замер в ноябре 1995 г. по данным Томского НИИ курортологии и физиотерапии). Далее по разрезу, еще через 1 км, в юрских и палеозойских отложениях происходит резкое увеличение минерализации вод в 10...50 раз [6], повышение температуры до 60...75 °С (табл. 2). Показатель рН вод юрско-палеозойских отложений в скважине 1-Р не известен, но в водах близ расположенных скважин на глубинах 1,5...2,5 км он равен примерно 7,1...7,9. С глубиной отмечается закономерная смена состава от гидрокарбонатных натриевых, затем к гидрокарбонатно-хлоридным и хлоридно-гидрокарбонатным натриевым до хлоридных и хлоридно-сульфатных натриевых и натриево-кальциевых (рис. 2).

Химический состав вод «Омега»

Отбор проб из скважины 1-Р проводился при участии авторов в период с 1994 по 2000 гг. сотрудниками Томского НИИ курортологии и физиотерапии, в 2006 г. — сотрудниками Томского политехнического университета и в 2010 г. — Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Всего изучено 12 проб воды.

Таблица 2. Физические свойства и химический состав подземных вод, вскрытых скважиной 1-Р. Концентрация ионов и сумма солей дана в мг/л

Глубина, м	Возраст пород	Температура, °С	рН	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Na^+	Сумма солей
0...50	P_3	4	6,8	421	4,2	0,9	98	11	554
1266...1277	K_{il}	21...23	9,3...10,3	«Омега», см. табл. 3					
2172...2181	$J_{1-2}tm$	56	~7,1...7,9	1296	—	432	36	1764	3600
2287...2292		60		943	41	1066	41	2009	4100
2318...2322		60		817	43	1290	43	2107	4300
2435...2440		63		434	186	2418	62	3038	6200
2647...2652	Pz	70		714	714	10472	238	11662	23800
2831...2839		74		588	1764	7448	196	9604	19600

Таблица 3. Физические свойства и химический состав воды «Омега» с 1994 по 2010 гг., скважина 1-Р. Концентрация ионов дана в мг/л. Прочерк означает «нет данных»

Дата отбора	26.12. 1994	28.04. 1995	29.09. 1995	21.11. 1995	23.02. 2000	24.02. 2000	19.06. 2000	28.06. 2000	23.08. 2000	7.10. 2000	28.09. 2006	11.08. 2010
pH	9,5	9,5	9,6	9,8	9,1	10,3	7,7	9,8	9,5	8,0	9,6	9,3
HCO ₃ ⁻	177	159	134	177	220	110	220	91	104	232	171	159
CO ₃ ²⁻	45	60	33	8	54	66	0	67	60	8	32	119
SO ₄ ²⁻	–	4,4	20,4	14,8	6,0	2,0	–	2,5	8,8	13,2	9,6	8,3
Cl ⁻	7,1	7,1	7,1	10,6	4,9	4,9	4,6	4,2	4,2	17,7	1,5	1,8
NO ₂ ⁻	0	–	–	–	0,04	0,02	0,005	0,003	0,007	0,01		
NO ₃ ⁻	0	–	–	–	0,15	0,45	0,45	0,60	0,45	0,10	1,10	0,60
NH ₄ ⁺	0	0	0,1	0	–	0,1	0,1	0,1	0,2	0,05	0,05	0,33
Ca ²⁺	2	2	2	3	2	4	2	2	2	5	0,44	1,2
Mg ²⁺	–	–	–	–	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	0,2	0,01	0,49
Na ⁺	85,2	87,2	94,9	95,7	85,6	89,2	86,9	92,3	87,9	99,4	94	85
K ⁺											0,1	0,3
Fe _{общ}	0,11	0,18	0,66	0,11	0,05	0,10	0,27	0,05	0,05			
H ₂ SiO ₃	34,6	34,3	26,8	34,3	–	–	–	–	–	34,0	20,9	28,7
H ₃ BO ₃	–	1,5	1,5	1,5	–	–	–	–	–	3,1	0,02	–
H ₂ S	–	1,20	1,30	0,002	–	0,08	0,04	0,002	0,44	–	–	–
Сумма солей	364	358	372	385	371	280	314	261	268	404	309	316
C _{орг}	–	6,5	5,8	9,8	–	–	–	4,1	–	–	–	5,6

Химический состав минеральной воды «Омега» представлен в табл. 3. По полученным данным вода является теплой (на устье температура равна 21...23 °С), слабоминерализованной, с общей минерализацией 0,2...0,4 г/л, щелочной (pH 9,1...10,3) и с Eh (–86 мВ). По химическому составу вода относится к гидрокарбонатному натриевому (содовому) типу. Из специфических компонентов в воде содержатся метакремневая кислота в количестве 27...35 мг/л (при кондиции отнесения к минеральным водам 50 мг/л [7]) и водорастворимые органические вещества до 10 мг/л по C_{орг} (кондиция 5 мг/л). В разные годы и по отдельным сезонам года изменения состава незначительные. Резкое уменьшение значения pH в двух пробах 2000 г. свидетельствует, скорее всего, об ошибке при отборе или при анализе. При этом смещается равновесие

в карбонатной системе: при уменьшении значений pH, уменьшается содержание CO₃²⁻, увеличивается HCO₃⁻ и соответственно увеличивается общая минерализация вод.

По газовому составу воды азотные (99 %), в небольших количествах присутствует метан (0,5 %). До 1994 г. в воде отмечалось присутствие сероводорода, в дальнейшем он не обнаруживался.

Микрокомпонентный состав воды определялся масс-спектральным методом с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) в химико-аналитическом центре «Плазма» и приведен в табл. 4. В воде присутствует ионы цинка (14 мкг/л), свинца (0,4 мкг/л), меди (1,6 мкг/л).

Таким образом, минеральная вода «Омега» от выше и ниже залегающих подземных вод отличается высоким значением pH и низкой минерализа-

Таблица 4. Микрокомпонентный состав воды «Омега», скважина 1-Р, мкг/л

Компонент	Содержание	Компонент	Содержание	Компонент	Содержание	Компонент	Содержание
NH ₄ ⁺	<50	Sc	3,7	Nb	0,002	Nd	0,002
NO ₂ ⁻	7	Ti	0,64	Mo	0,43	Sm	0,0016
NO ₃ ⁻	1100	V	4,6	Ag	0,011	Eu	0,0000
PO ₄ ³⁻	80	Cr	4,1	Cd	0,0011	Gd	0,0004
F	180	Co	0,003	In	0,0001	Tb	0,0003
B	3,4	Ni	0,13	Sn	0,0035	Dy	0,0004
J	22	Cu	1,59	Sb	0,022	Ho	0,0004
Br	66	Ga	0,31	Te	0,006	Er	0,0001
Al	20	Ge	1,1	Pb	0,39	Tm	0,0003
Mn	112	As	0,91	Cs	0,0067	Yb	<0,001
Zn	14,1	Se	0,13	Ba	0,88	Lu	<0,001
Sr	21	Rb	0,14	La	0,0050	Hf	0,0002
Li	1,9	Y	0,006	Ce	0,0081		
Be	0,049	Zr	0,019	Pr	0,0019		

цией, что не вписывает в нормальную гидрогеохимическую вертикальную зональность вод (рис. 3): с увеличением глубины, увеличивается соленость и pH вод.

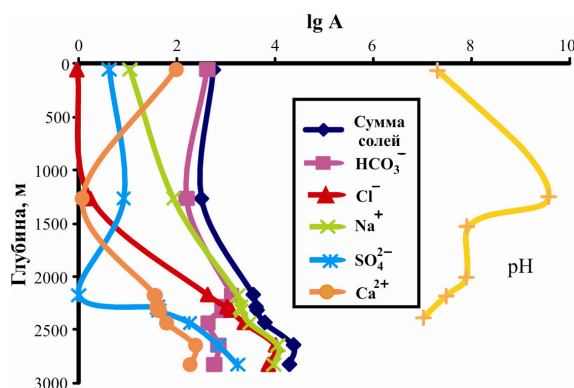


Рис. 3. Закономерности изменения свойств подземных вод с глубиной в скважине 1-Р. А – концентрация соответствующего компонента в мг/л

По своим характеристикам данную минеральную воду можно отнести к бальнеологической группе вод с повышенным содержанием органического вещества (>5 мг/л). На территории Томской области имеются воды аналогичных бальнеологических групп [1], но, как видно из табл. 1 и 3, «Омега» заметно отличается низкой величиной минерализации и высоким значением pH.

Если сравнивать минеральную воду «Омега» с другими водами меловых отложений Томской области (табл. 1, последний столбец), то видно, что они также заметно различаются. По составу воды тоже содовые, но минерализация больше в 2...10 раз, чем у изучаемой воды, pH меньше на 1...3 единицы, присутствует хлор в больших количествах (в «Омге» его практически нет), температура ниже на 10...15 °C (что связано с небольшой глубиной отбора).

Низкая минерализация вод на глубине более 1 км может быть вызвана различными причинами: влиянием инфильтрационных вод, поступлением дегидратационных, ювенильных вод или развитием конденсационных вод. Многие авторы указывают в качестве причины влияние на воды терригенно-осадочных отложений данного участка длительного опреснительного бескислородного гидроли-

тического воздействия метеоинфильтрационных вод [8, 9]. Дело в том, что, как уже говорилось, месторождение относится к юго-восточной окраинной части Западно-Сибирского артезианского (нефтегазоносного) бассейна на сочленении с Алтае-Саянским горным обрамлением. По зоне глубинных разломов осуществляется концентрированный сток метеорных пресных трещинно-жильных вод Алтая-Саянского горного обрамления в сторону артезианского бассейна.

Для точного установления причин опреснения вод, необходимо применить метод изотопной диагностики происхождения вод. Зная химический состав вод и концентрации дейтерия и ^{18}O , можно определить генезис вод: инфильтрационные, седиментационные или конденсатогенные. Это и будет дальнейшим этапом наших исследований.

Выводы

Показано, что на территории Томской области имеются разнообразные по составу и качеству минеральные воды. Наибольший интерес представляет слабоминерализованная питьевая лечебно-столовая вода «Омега», относящейся к бальнеологической группе вод, обогащенной органическим веществом. Уникальность ее выражается в особенностях состава: при низкой минерализации резко щелочная среда. Нигде больше в области такая вода не обнаружена, только в пределах Чулымо-Енисейского плато и на глубинах около 1...1,5 км. Выше и ниже залегающие воды подчинены нормальной гидрогеохимической зональности: с глубиной увеличивается минерализация и pH вод. По составу вода относится к гидрокарбонатному натриево-м (содовому) типу. В разные годы и по отдельным сезонам года за последние 15 лет изменения состава незначительны. Причина низкой минерализации на такой глубине объясняется опреснительным влиянием трещинно-жильных вод Алтая-Саянского горного обрамления, которые по зоне глубинных разломов стекают в сторону артезианского бассейна. Причину высокого значения pH при низкой минерализации предстоит рассмотреть на дальнейшем этапе исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 09-05-99034-р_офи, № 09-05-00647_a и № 11-05-98016-р_сибирь_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курортно-рекреационный потенциал Западной Сибири / под ред. Е.Ф. Левицкого, В.Б. Адилова. — Томск: Красное знамя, 2002. — 227 с.
2. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. — М.: Недра, 1998. — 366 с.
3. Гидрогеология СССР. Том XVI. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области). — М.: Недра, 1970. — 368 с.
4. Учителева Л.Г. Минеральные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна. — М.: Недра, 1974. — 167 с.
5. Иванова И.С., Лепокурова О.Е., Шварцев С.Л. Железосодержащие воды Томской области // Разведка и охрана недр. — 2010. — № 11. — С. 58–62.
6. Розин А.А. Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирование. — Новосибирск: Наука, 1977. — 102 с.
7. ГОСТ 13273–88. Воды минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые. — М.: Изд-во стандартов, 1994. — 29 с.
8. Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / под ред. Е.В. Пиннекера и др. — М.: Наука, 1991. — 262 с.
9. Назаров А.Д. Нефтегазовая гидрогеохимия юго-восточной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. — М.: Идея-Пресс, 2004. — 288 с.

Поступила 09.03.2011 г.