

УДК 624.13

Оценка степени активности карстовых процессов (на примере Полазненского участка)

О. Ю. Мещерякова

Пермский государственный университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15.

E-mail: olgam.psu@gmail.com

(Статья поступила в редакцию 16 января 2011г.)

Дана оценка степени активности карстовых процессов на территории Полазненского участка Полазненского карстового района по двум методикам: определение процента насыщения вод и расчет дефицита насыщения вод сульфатом кальция.

Ключевые слова: *карст, сульфат кальция, растворимость гипса*

Территория исследования принадлежит к Полазненскому участку Полазненского карстового района преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста и расположена на левом берегу Камского водохранилища [1]. На Полазненском полуострове в зоне активного водообмена преобладают карстующиеся породы, которые распространены как в широтном, так и в вертикальном направлениях. Наиболее интенсивно закарстованы сульфатные породы иренского горизонта, поэтому наибольший интерес представляет растворимость сульфатных пород [5] (рис. 1).

После создания в 1954 г. водохранилища произошла активизация карстовых процессов [4]. Автором предпринята попытка оценить активность карста по химическому составу подземных вод.

В 2008 г. было проведено опробование подземных вод из наблюдательных скважин СС-3 и СС-4, расположенных в районе исследований (табл. 1).

Существуют различные методики определения степени насыщенности подземных вод сульфатом кальция, среди них формула Н.Д. Шустефа и Б.В. Озолина, основанная на сравнении предельной (равновесной) концентрации сульфатионов с фактической; методика В.А. Панова, А.А. Емкова и Г.Н. Позд-

нышева, аналогичная первой; метод А.И. Чистовского, базирующийся на графическом способе прогнозирования выпадения сульфатных осадков при разработке нефтяных месторождений с заводнением с учетом возможного выщелачивания сульфатных пород-коллекторов [6].

В данной работе для оценки степени активности карстовых процессов (растворяющей способности воды по отношению к гипсу) в пределах исследуемого участка были выбраны две методики расчета степени насыщенности вод сульфатом кальция:

1. Скилмена-Мак Дональда-Стиффа (определение процента насыщения вод сульфатом кальция);

2. В.П. Зверева (расчет дефицита насыщения вод сульфатом кальция).

Необходимо отметить, что рассматриваемые методы прогноза выпадения сульфата кальция заведомо учитывают наиболее жесткие условия, которые фактически могут и не существовать. Это объясняется двумя обстоятельствами. Во-первых, при прогнозах принимается, что выпадение осадков будет происходить всегда, когда произведение концентраций превысит произведение растворимости, т.е. не учитывается возможность существования пересыщенных растворов.

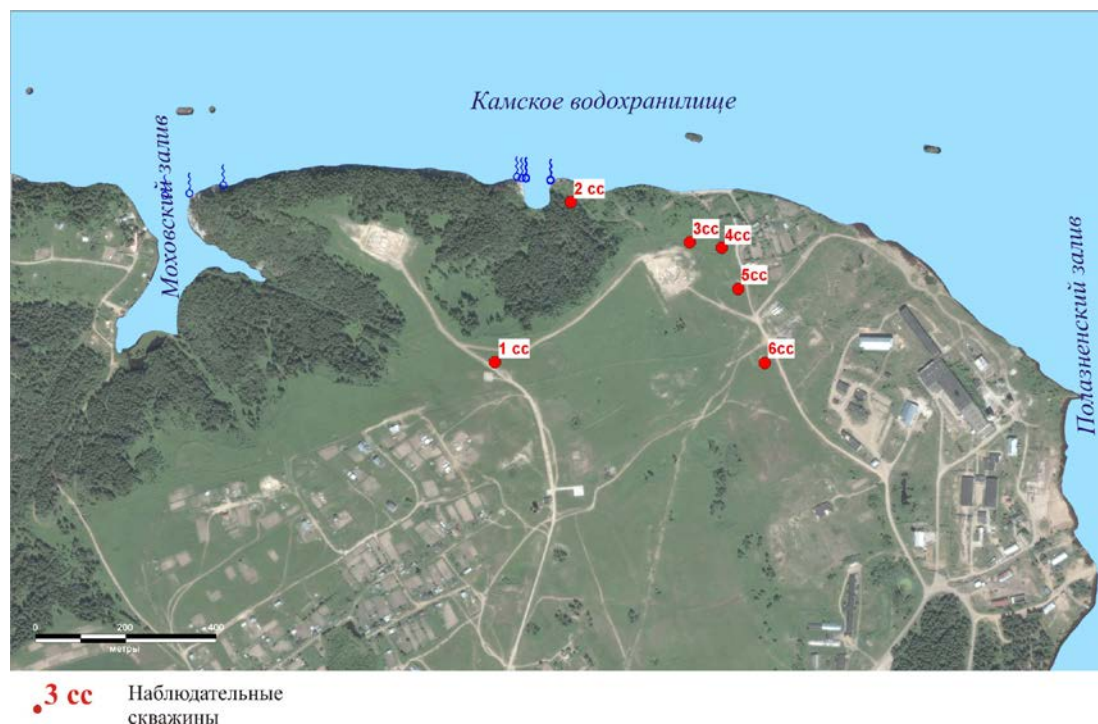


Рис. 1. Карта Полазненского полуострова

Во-вторых, все расчеты и диаграммы смешивания не учитывают сульфатредукцию, вследствие которой фактическое количество сульфат-ионов может оказаться существенно меньшим, чем прогнозируется по диаграммам смешивания, и поэтому образование сульфатных осадков будет затруднено [6].

В основе методики **Скилмена-Мак Дональда-Стиффа** лежит определение равновесной концентрации сульфата кальция и сравнение ее с фактической концентрацией сульфата кальция в воде. Эффективность данного метода была изучена в работах ОАО «БашНИПинефть», доказана его наибольшая приемлемость и удобство в практическом применении по сравнению с другими [6].

Равновесная концентрация определяется по уравнению

$$C_{CaSO_4}^p = 1000(\sqrt{X^2 + 4K} - X),$$

где $C_{CaSO_4}^p$ – равновесная концентрация сульфата кальция в воде, мг-экв/л; X – избыточная концентрация гипсообра-

зующих ионов, мг/л; K – константа растворимости гипса.

Избыточная концентрация X определяется по формуле

$$X = (2.5C_{Ca^{2+}} - 1.04C_{SO_4^{2-}})10^{-5},$$

где $C_{Ca^{2+}}$, $C_{SO_4^{2-}}$ – концентрация ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в воде по данным шестикомпонентного анализа, мг/л.

Ионная сила раствора I рассчитывается как сумма концентраций ионов с учетом соответствующих коэффициентов пропорциональности по уравнению

$$I = (2.2C_{Na} + 1.4C_{Cl} + 0.8C_{HCO_3} + 5.0C_{Ca^{2+}} + 8.2C_{Mg^{2+}} + 2.1C_{SO_4^{2-}})10^{-5}.$$

Зная ионную силу, можно определить величину константы растворимости для растворов при различных температурах. Температура подземных вод (t) исследуемого участка – 6^0C . Уравнение константы растворимости может быть записано в виде уравнения регрессии

Таблица 1. Химический состав подземных вод в районе д. Зуята в 2008 г. Расчет степени насыщенности вод сульфатом кальция по методике Скилмена-Мак Дональда-Стиффа

№ п.	Дата отбора	Место отбора	Содержание, мг/л						С ^р CaSO ₄	С CaSO ₄	Насыщенность, %
			HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺			
1	12.02	СС-4	829,84	1119,43	304,67	718,94	73,40	25,20	34,64	35,88	103,57
2	12.02	СС-3	707,80	1100,77	179,21	601,20	78,99	14,40	36,33	30,00	82,58
3	29.02	СС-3	744,41	1156,74	168,46	629,26	74,13	119,04	36,60	31,40	85,79
4	29.02	СС-4	829,84	1492,57	215,06	733,46	65,62	354,24	38,89	36,60	94,11
5	26.03	СС-3	707,80	1231,37	219,16	716,43	60,76	116,50	35,78	35,75	99,92
6	26.03	СС4	732,21	1119,43	136,08	606,21	66,84	35,50	36,37	30,25	83,18
7	15.04	СС-3	878,65	1212,71	163,30	605,21	0,00	70,56	37,18	30,20	81,23
8	15.04	СС-4	878,65	979,50	209,14	713,40	55,90	70,56	33,17	35,60	107,31
9	13.05	СС-3	732,21	1432,67	159,15	661,32	55,90	304,80	39,34	33,00	83,89
10	13.05	СС-4	854,00	1392,87	138,39	685,37	68,06	258,72	38,46	34,20	88,93
11	27.05	СС-3	463,73	1412,60	48,70	617,23	34,03	191,76	39,33	30,80	78,31
12	27.05	СС-4	951,87	1353,08	120,33	705,41	53,47	571,44	38,13	35,20	92,32
13	10.06	СС-4	1025,09	1492,32	163,30	717,43	63,19	45,00	38,70	35,80	92,50
14	10.06	СС-3	1037,29	1253,59	126,05	651,30	48,61	36,00	37,10	32,50	87,60
15	18.06	СС-4	915,26	1248,80	34,03	731,46	60,76	64,60	35,53	36,50	102,73
16	18.06	СС-3	1015,26	1176,75	19,85	691,39	48,61	104,83	35,50	34,50	97,18
17	25.06	СС-4	1281,36	1353,08	182,78	691,38	72,92	685,44	39,00	34,50	88,46
18	25.06	СС-3	927,46	1293,38	163,74	661,32	48,61	506,16	38,18	33,00	86,44
19	01.07	СС-4	927,46	1212,71	68,07	701,40	68,84	142,93	35,92	35,00	97,45
20	01.07	СС-3	996,95	1380,62	87,92	731,46	66,84	173,09	37,32	36,50	97,80
21	10.07	СС-4	1067,81	1392,87	171,36	756,51	60,75	277,68	37,28	37,75	101,26
22	10.07	СС-3	927,46	1293,38	163,74	661,32	48,61	506,16	38,18	33,00	86,44
23	24.07	СС-4	903,06	1283,34	141,81	701,40	54,69	269,44	36,89	35,00	94,87
24	24.07	СС-3	964,07	1194,05	81,54	661,32	66,84	267,37	36,69	33,00	89,95
25	04.08	СС-4	707,80	1268,49	97,49	651,30	54,69	187,40	37,33	32,50	87,05
26	04.08	СС-3	854,24	1287,23	31,55	711,42	85,07	62,30	36,42	35,50	97,46
27	14.08	СС-3	1028,09	1333,18	130,99	745,49	65,62	277,20	36,79	37,20	101,12
28	14.08	СС-4	927,46	1273,48	91,39	685,37	60,76	151,92	36,87	34,20	92,77
29	24.08	СС-4	893,22	1417,87	31,54	681,36	48,61	222,72	38,53	34,00	88,24
30	24.08	СС-3	881,02	1492,80	126,17	701,40	72,91	229,68	39,28	35,00	89,10
31	01.09	СС-4	973,28	1392,29	143,18	717,43	80,21	214,32	37,92	35,80	94,40
32	01.09	СС-3	829,84	1571,96	121,86	673,34	60,76	269,52	40,73	33,60	82,49
33	12.09	СС-3	634,58	1492,36	94,44	573,14	63,19	258,48	41,72	28,60	68,56
34	12.09	СС-4	927,46	1790,84	97,48	625,25	58,33	453,36	44,84	31,20	69,58
35	30.09	СС-4	878,65	979,51	209,14	713,41	55,90	70,56	33,17	35,60	107,32
36	30.09	СС-3	732,21	1432,67	159,19	661,32	55,90	304,80	39,34	33,00	83,89
37	15.10	СС-4	1073,90	1392,89	60,93	725,45	78,99	81,60	37,51	36,20	96,51
38	15.10	СС-3	1049,50	1442,62	33,68	705,41	63,19	124,32	38,38	35,20	91,73
39	29.10	СС-4	829,85	1119,43	304,67	718,94	73,40	25,20	34,64	35,88	103,57
40	29.10	СС-3	707,80	1100,80	179,21	601,20	78,99	14,40	36,33	30,00	82,58
41	12.11	СС-4	1000,68	1591,86	87,47	641,28	58,33	285,12	41,73	32,00	76,69
42	12.11	СС-3	976,28	1392,87	51,94	617,23	53,47	210,48	39,60	30,80	77,77
43	19.11	СС-4	1025,11	1492,32	163,30	717,43	63,19	45,00	38,70	35,80	92,50
44	19.11	СС-3	1038,29	1253,59	126,05	651,30	48,61	36,00	37,10	32,50	87,60
45	26.11	СС-4	927,56	1212,71	68,07	701,40	68,84	142,93	35,92	35,00	97,45
46	26.11	СС-3	998,95	1380,62	87,92	731,46	66,84	173,09	37,32	36,50	97,79
47	05.12	СС-4	708,80	1268,49	97,49	651,30	54,69	187,40	37,33	32,50	87,05
48	05.12	СС-3	855,24	1287,23	31,55	711,42	85,07	62,30	36,42	35,50	97,46

$$K = (2.668928 + 16.30784I + 0.02900295t + 0.001478It - 0.0004435t^2 + 2.365462I^2)10^{-4}.$$

Количество фактически находящегося сульфата кальция в растворе C_{CaSO_4} определяется по концентрации иона (Ca^{2+} или SO_4^{2-}), который находится в данной воде в меньшем количестве (в нашем случае – ион кальция). Для расчета процента насыщения равновесная концентрация $C_{CaSO_4}^p$ принимается за 100%. Если $C_{CaSO_4} > C_{CaSO_4}^p$, то данная вода перенасыщена сульфатом кальция, и избыток его выпадает в осадок.

Проанализировав данные табл. 1, можно сделать вывод, что степень насыщенности подземных вод сульфатом кальция очень высока – 80-100% и больше (за исключением проб № 33, 34).

В семи из рассмотренных 48 проб вода перенасыщена сульфатом кальция (пробы № 1, 8, 15, 21, 27, 35, 39). В основном эти пробы были отобраны из наблюдательной скважины № 4. Переизбыток сульфата

кальция в пробах подтверждает то, что активность карстовых процессов в сульфатных породах, слагающих данный массив, была довольно высокой.

Почти все подземные воды из рассмотренных проб способны растворять гипсы, процент насыщения сульфатом кальция не достиг 100%, но значения уже близки к этому. Таким образом, можно предположить, что в настоящее время процессы растворения гипсов более пассивные, нежели ранее.

Зависимость процента насыщения раствора от содержания сульфат-иона и иона кальция описывается линейными уравнениями (рис. 2). Связь между катионом и степенью насыщения прямо пропорциональная (коэффициент корреляции r равен 0,86), в отличие от сульфат-иона ($r = -0,50$).

Метод В. П. Зверева – это метод количественного определения насыщенности природных вод гипсом с минерализацией до 300 г/л и температурой 0-40 °С. Анализ производится в два этапа.

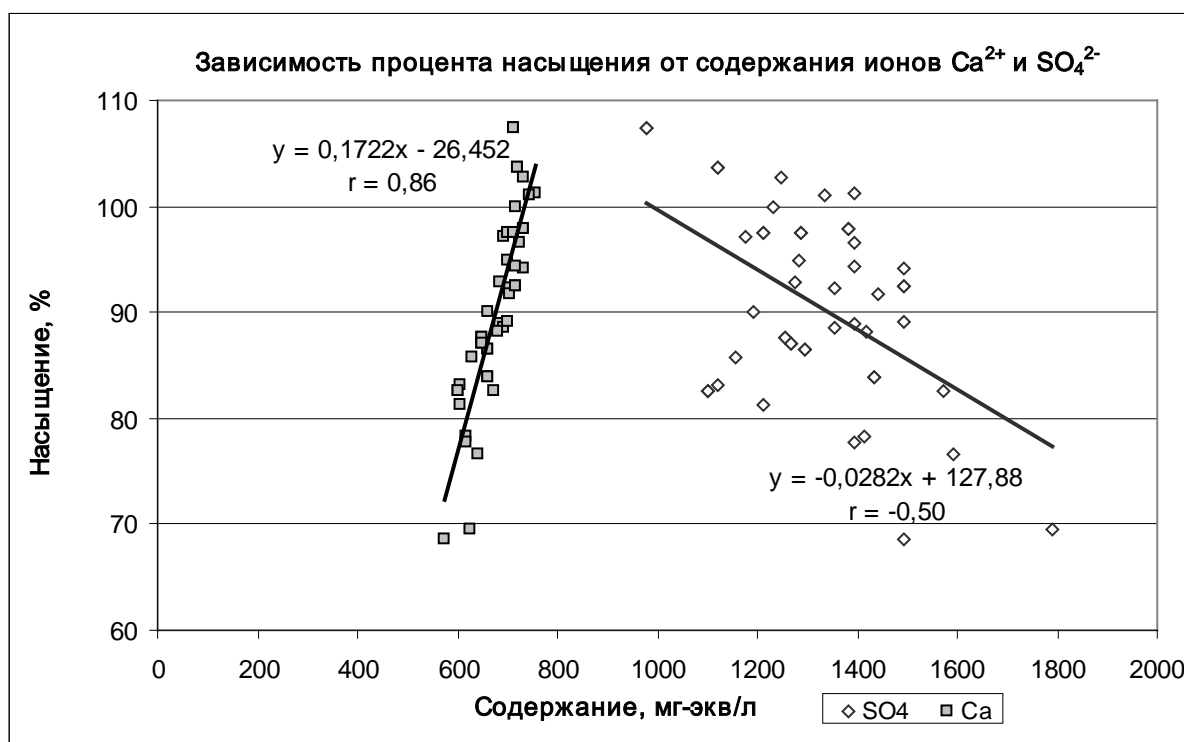


Рис. 2. Зависимость процента насыщения от содержания ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-}

Таблица 2. Расчет коэффициента активности $CaSO_4$ (K_{CaSO_4}), произведения активностей ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} и дефицита насыщения (по методике В. П. Зверева)

№ п.	Дата отбора	Место отбора	Содержание, мг-экв/л						K_{CaSO_4}	$A_{Ca^{2+}}$	$A_{SO_4^{2-}}$	$A_{Ca^{2+}} \cdot A_{SO_4^{2-}}$	Дефицит насыщения
			HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$					
1	12.2	СС-4	13,60	23,31	8,59	35,88	6,04	0,41	0,00004	0,801	0,999	0,800	77
2	12.2	СС-3	11,60	22,92	5,05	30,00	6,50	0,23	0,00003	0,732	0,991	0,726	241
3	29.02	СС-3	12,20	24,08	4,75	31,40	6,10	1,92	0,00003	0,749	1,016	0,761	136
4	29.02	СС-4	13,60	31,08	6,07	36,60	5,40	5,71	0,00005	0,809	1,154	0,933	-226
5	26.3	СС-3	11,60	25,64	6,18	35,75	5,00	1,88	0,00004	0,799	1,048	0,837	-46
6	26.3	СС4	12,00	23,31	3,84	30,25	5,50	0,57	0,00003	0,735	0,999	0,735	185
7	15.4	СС-3	14,40	25,25	4,61	30,20	0,00	1,14	0,00003	0,735	1,04	0,764	87
8	15.4	СС-4	14,40	20,39	5,90	35,60	4,60	1,14	0,00003	0,797	0,935	0,746	176
9	13.5	СС-3	12,00	29,83	4,49	33,00	4,60	4,91	0,00004	0,768	1,131	0,868	-105
10	13.5	СС-4	14,00	29,00	3,90	34,20	5,60	4,17	0,00004	0,782	1,115	0,871	-100
11	27.5	СС-3	7,60	29,41	1,37	30,80	2,80	3,09	0,00004	0,742	1,123	0,833	-112
12	27.5	СС-4	15,60	28,17	3,39	35,20	4,40	9,20	0,00004	0,793	1,099	0,871	-92
13	10.6	СС-4	16,80	31,07	4,61	35,80	5,20	0,72	0,00005	0,8	1,154	0,923	-216
14	10.6	СС-3	17,00	26,10	3,56	32,50	4,00	0,58	0,00004	0,762	1,058	0,806	56
15	18.6	СС-4	15,00	26,00	0,96	36,50	5,00	1,04	0,00004	0,807	1,055	0,852	-81
16	18.6	СС-3	16,64	24,50	0,56	34,50	4,00	1,69	0,00004	0,785	1,025	0,804	38
17	25.6	СС-4	21,00	28,17	5,16	34,50	6,00	11,04	0,00004	0,785	1,099	0,862	2
18	25.6	СС-3	15,20	26,93	4,62	33,00	4,00	8,15	0,00004	0,768	1,074	0,825	20
19	1.7	СС-4	15,20	25,25	1,92	35,00	5,66	2,30	0,00004	0,791	1,04	0,823	-2
20	1.7	СС-3	16,34	28,74	2,48	36,50	5,50	2,79	0,00005	0,807	1,11	0,896	-165
21	10.7	СС-4	17,50	29,00	4,83	37,75	5,00	4,47	0,00005	0,822	1,115	0,916	-188
22	10.7	СС-3	15,20	26,93	4,62	33,00	4,00	8,15	0,00004	0,768	1,074	0,825	20
23	24.7	СС-4	14,80	26,72	4,00	35,00	4,50	4,34	0,00004	0,791	1,07	0,846	-69
24	24.7	СС-3	15,80	24,86	2,30	33,00	5,50	4,31	0,00004	0,768	1,032	0,792	68
25	4.8	СС-4	11,60	26,41	2,75	32,50	4,50	3,02	0,00004	0,762	1,063	0,810	0
26	4.8	СС-3	14,00	26,80	0,89	35,50	7,00	1,00	0,00004	0,796	1,071	0,853	-86
27	14.8	СС-3	16,85	27,76	3,69	37,20	5,40	4,46	0,00005	0,815	1,09	0,889	-132
28	14.8	СС-4	15,20	26,51	2,58	34,20	5,00	2,45	0,00004	0,782	1,066	0,833	-49
29	24.8	СС-4	14,64	29,52	0,89	34,00	4,00	3,59	0,00004	0,779	1,125	0,877	-147
30	24.8	СС-3	14,44	31,08	3,56	35,00	6,00	3,70	0,00005	0,791	1,154	0,913	-210
31	1.9	СС-4	15,95	28,99	4,04	35,80	6,60	3,45	0,00005	0,8	1,114	0,891	-147
32	1.9	СС-3	13,60	32,73	3,44	33,60	5,00	4,34	0,00005	0,775	1,184	0,917	-240
33	12.9	СС-3	10,40	31,07	2,66	28,60	5,20	4,16	0,00004	0,715	1,154	0,825	-12
34	12.9	СС-4	15,20	37,29	2,75	31,20	4,80	7,30	0,00005	0,747	1,264	0,944	-238
35	30.9	СС-4	14,40	20,39	5,90	35,60	4,60	1,14	0,00003	0,797	0,935	0,746	172
36	30.9	СС-3	12,00	29,83	4,49	33,00	4,60	4,91	0,00004	0,768	1,131	0,868	-113
37	15.10	СС-4	17,60	29,00	1,72	36,20	6,50	1,31	0,00005	0,804	1,115	0,896	-186
38	15.10	СС-3	17,20	30,04	0,95	35,20	5,20	2,00	0,00005	0,793	1,135	0,900	-184
39	29.10	СС-4	13,60	23,31	8,59	35,88	6,04	0,41	0,00004	0,801	0,999	0,800	95
40	29.10	СС-3	11,60	22,92	5,05	30,00	6,50	0,23	0,00003	0,732	0,991	0,726	227
41	12.11	СС-4	16,40	33,14	2,47	32,00	4,80	4,59	0,00005	0,756	1,192	0,901	-158
42	12.11	СС-3	16,00	29,00	1,47	30,80	4,40	3,39	0,00004	0,742	1,115	0,827	-8
43	19.11	СС-4	16,80	31,07	4,61	35,80	5,20	0,72	0,00005	0,8	1,154	0,923	-213
44	19.11	СС-3	17,02	26,10	3,56	32,50	4,00	0,58	0,00004	0,762	1,058	0,806	56
45	26.11	СС-4	15,20	25,25	1,92	35,00	5,66	2,30	0,00004	0,791	1,04	0,823	7
46	26.11	СС-3	16,37	28,74	2,48	36,50	5,50	2,79	0,00005	0,807	1,11	0,896	-148
47	5.12	СС-4	11,62	26,41	2,75	32,50	4,50	3,02	0,00004	0,762	1,063	0,810	2
48	5.12	СС-3	14,02	26,80	0,89	35,50	7,00	1,00	0,00004	0,796	1,071	0,853	-93

На первом этапе определяется наличие или отсутствие равновесия в системе гипсы – подземные воды. На втором – оценивается количество сульфата кальция, способного перейти в единицу объема раствора, т.е. устанавливается степень агрессивности воды по отношению к гипсам [2].

1 этап. Наличие или отсутствие равновесия в системе гипс – подземные воды устанавливается путем сравнения произведений активных концентраций (А) ионов $[Ca^{2+}]$ и $[SO_4^{2-}]$ с произведением растворимости сульфата кальция K_{CaSO_4} (коэффициент активности $CaSO_4$), которое в молярном выражении концентраций имеет следующий вид:

$$K_{CaSO_4} = \gamma_{\pm CaSO_4}^2 C_{Ca^{2+}} C_{SO_4^{2-}},$$

где $\gamma_{\pm CaSO_4}^2$ – средний коэффициент активности $CaSO_4$ (значение приведено в таблицах [2] и для наших расчетов равно 0,420);

C – молярная концентрация.

Для расчетов молярной концентрации весовую концентрацию (г/л) необходимо скорректировать на молярную массу (M):

$$M_{CaSO_4} = 136 \text{ г/моль};$$

$$M_{Ca^{2+}} = 40 \text{ г/моль};$$

$$M_{SO_4^{2-}} = 96 \text{ г/моль}.$$

Расчетные значения K_{CaSO_4} приведены в табл. 2.

Для расчета активных концентраций (активностей) ионов воспользуемся следующей формулой:

$$A = \gamma m,$$

где γ – коэффициент активности, обратно пропорциональный коэффициенту растворимости ($\beta = 1/\gamma$);

m – грамм-ионная концентрация на 1000 г воды.

Коэффициент растворимости рассчитывается по формуле Э.Б. Штернина и применительно к гипсу имеет следующий вид:

$$\beta = 4\sqrt{\sum m_i z_i^2} \frac{c}{D_1 - D}, \text{ где}$$

z – валентности ионов;

m – грамм-ионная концентрация;

c – моли растворенного вещества в 1 л раствора;

D_1 – моли воды в 1 л воды;

D – моли воды в 1 л раствора.

Произведя необходимые расчеты (табл. 2), можно сделать вывод, что

$A_{Ca^{2+}} A_{SO_4^{2-}} \gg K_{CaSO_4}$ и раствор во много раз пересыщен сульфатом кальция.

2 этап. Для определения дефицита насыщения используются данные химического анализа воды, выраженные в миллиграмм-эквивалентной форме. Рассматриваются два случая: при равенстве концентраций ионов кальция и сульфат-ионов и при их существенном отличии друг от друга.

При равенстве концентраций данных ионов, как и в нашем случае, для определения дефицита насыщения сульфатом кальция В. П. Зверев предлагает использовать номограммы, выражающие зависимость между общим содержанием солей в растворе и количеством сульфата кальция при постоянных температуре и давлении.

Ход определения следующий:

1. По данным химического анализа вычисляются произведения миллиграмм-эквивалентных концентраций ионов кальция и сульфат-иона $[Ca^{2+}] * [SO_4^{2-}]$ и сумма произведений других присутствующих в растворе ионов на их валентности:

$$\sum [x_i] z_i - 2([Ca^{2+}] + [SO_4^{2-}]).$$

2. По кривой, соответствующей принятой температуре и вычисленному значению $\sum [x_i] z_i - 2([Ca^{2+}] + [SO_4^{2-}])$, определяется произведение миллиграмм-эквивалентных концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в насыщенном гипсом растворе; если в исследуемом растворе произведение $[Ca^{2+}] [SO_4^{2-}]$ равно или больше про-

изведения, вычисленного для насыщенного раствора, то исследуемая пробы насыщена сульфатом кальция.

3. По номограмме определяются количества CaSO_4 , соответствующие вычисленному для насыщенного раствора и фактическому произведениям миллиграмм-эквивалентных концентраций Ca^{2+} и SO_4^{2-} .

4. По их разности определяется величина дефицита насыщения воды гипсом.

Для использования данного метода результаты химического анализа проб воды были пересчитаны в миллиграмм-эквивалентную форму (табл. 2). Расчет дефицита насыщения в данном случае проводится графическим способом по номограмме В. П. Зверева для температуры 5°C . Отрицательное значение данного показателя свидетельствует об определенной степени насыщения сульфатом кальция раствора.

Стоит также отметить, что точность данного метода не высока, поскольку существует погрешность при определении значений показателей графическим способом при малых значениях концентраций ионов.

По результатам вычислений видно, что чуть больше половины проб в той или иной степени насыщены сульфатом кальция, причем временная и пространственная закономерности в данном случае не просматриваются.

Связь дефицита насыщения и содержания ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} описывается линейным уравнением с коэффициентами корреляции (r) (-0,45) и (-0,87) соответственно, что еще раз подтверждает результаты данной методики (рис. 3).

Для сопоставления результатов расчета степени насыщенности раствора сульфатом кальция по двум методикам были построены графики (рис. 4).

При анализе полученных графиков в определенной доле прослеживается обратно пропорциональная связь между двумя показателями, что подтверждает полученные результаты.

В заключение необходимо отметить, что методы прогноза дают завышенный диапазон возможности образования осадков: в некоторых случаях, когда по прогнозу их образование вероятно, фактически сульфаты выпадать не будут. Вследствие этого создается определенный запас прочности прогнозных расчетов.

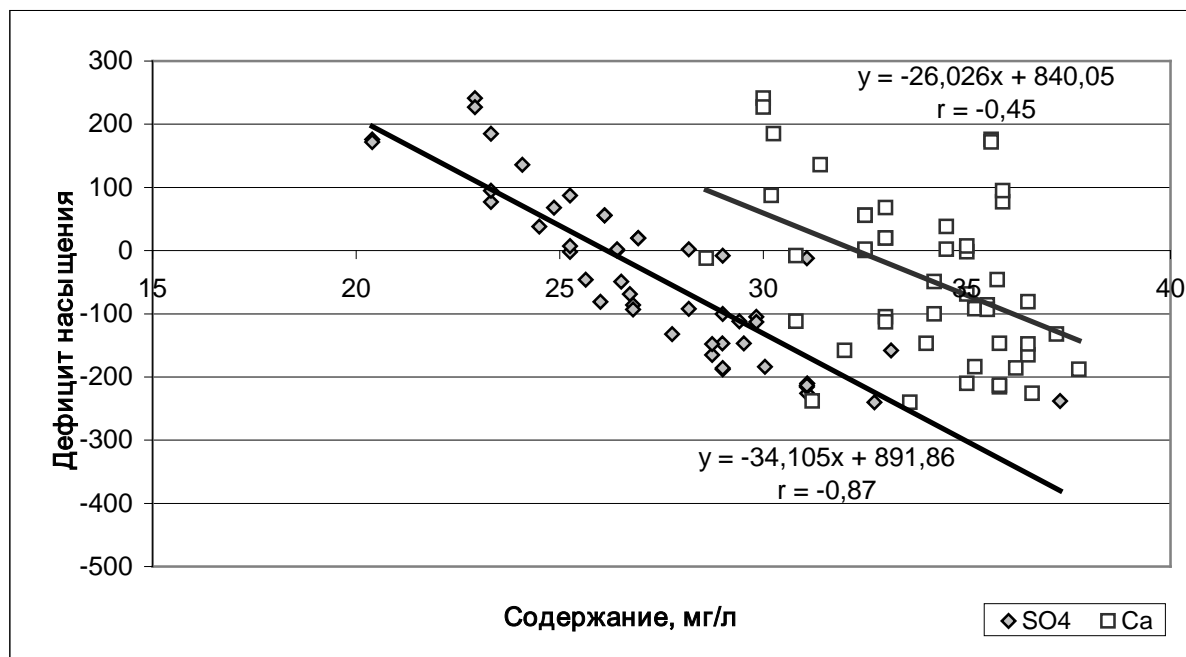


Рис. 3. Зависимость дефицита насыщения от содержания ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-}

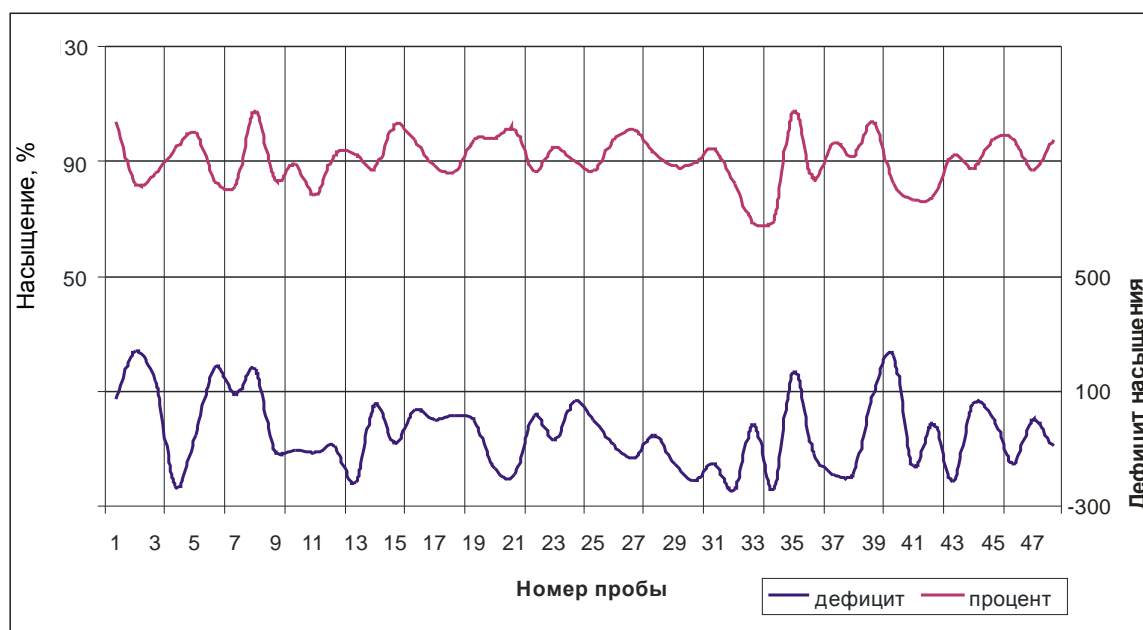


Рис. 4. Закономерность изменения процента насыщения и дефицита насыщения раствора сульфатом кальция в пробах подземных вод исследуемого участка

Таким образом, исследования подтвердили активность карстообразовательных процессов, протекавших на данной территории, но переходящих в более пассивную форму из-за перенасыщения подземных вод сульфатом кальция. Оба рассмотренных метода дают их правомерную прогнозную оценку, но для детального

изучения поставленной проблемы необходимо провести комплексную.

Работа подготовлена при поддержке гранта РФФИ 10-05-96017 р_урал_а «Георетические основы создания искусственных геохимических барьеров для защиты окружающей среды при освоении природных ресурсов Западного Урала».

Библиографический список

1. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1992. 200 с.
2. Зверев В.П. Гидрохимические исследования системы гипсы – подземные воды. – М.: Изд-во Наука, 1967. 100 с.
3. Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю. Методы борьбы с нефтяным загрязнением на закарстованных берегах водохранилищ // Экология урбанизированных территорий. 2009. № 4. С. 55–58.
4. Печеркин И.А. Геодинамика побережий Камских водохранилищ. Ч. 2: Геологические процессы. Пермь, 1969. 308 с.
5. Печеркина Л.В. Гидрогеология и гидрогеохимия Полазненского гипсо-ангидритового массива / Перм. ун-т; ВНИТИ. Пермь, 1983. 124 с.
6. Яркеева Н.Р. Оценка равновесной насыщенности попутно-добываемых вод сульфатом кальция в зависимости от их суммарной минерализации // Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений: сб. науч. тр. Уфа: Изд-во УГНТУ, 1999. С. 168–174.

The Estimation of Activity Degree of Karstic Processes (on the Example of Polazna Site)

O. Y. Meshcheryakova

Perm State University, 614990, Perm, Bukireva st. 15. E-mail: olgam.psu@gmail.com

The estimation of karstic processes activity on the territory of the Polazna site of Polazna karstic area is executed by two techniques: by definition of water saturation percent and by calculation of water deficiency saturation by calcium sulfate.

Key words: *karst, calcium sulfate, gypsum solubility*

Рецензент – кандидат геолого-минералогических наук Н.Г. Максимович

