Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XCI, 1982 г.

УДК 551.491.4

К ОЦЕНКЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ РАССОЛОВ КАЛИЙНЫХ КОМБИНАТОВ

А.И.КОРОТКОВ, Н.Г.ГОЛОВИНА

Шламохранилища калийных комбинатов заполняются отходами производства, представляющими собой крепкие рассолы хлоридного состава, утечки которых способствуют засолению водоносных горизонтов, а зачастую и поверхностных водоемов. Оценка таких утечек гидрохимическим методом в принципе проста, поскольку сводится к расчету элементарных уравнений смешения техногенных рассолов и грунтовых вод; при этом разница в минерализации и концентрации отдельных компонентов в техногенных и незагрязненных грунтовых водах может достигать трех-четырех порядков, что существенно повышает надежность проведенных расчетов, а в сочетании с гидродинамическими и миграционными исследованиями дает основу для управления ресурсами и качеством природных вод [4].

Эффективность такого подхода подтверждается материалами исследований, проведенных кафедрой гидрогеологии Ленинградского горного института на рудниках Березниковского месторождения калийных солей. Гидрогеохимическая обстановка на месторождениях часто осложняется наличием естественной разгрузки соленых вод и рассолов горными работами и, кроме того, процессами взаимодействия рассолов с вмещающими горными породами, протекающими, как оказалось, достаточно интенсивно. Решение этой задачи требует изучения естественного гидрогеохимического поля, динамики его техногенных изменений и физико-химических процессов, протекающих в системе вода – порода. Целью этих исследований является не только прогноз изменения качества природных вод, но и получение новой информации о природных гидрогеохимических процессах; система шламохранилище – водоносный горизонт – поверхностный водоток (водоем) становится прекрасной объемной моделью этих процессов.

Надсолевой разрез участка одного из шламохранилищ района г.Березники представлен отложениями соликамской и шешминской свит уфимского яруса: соляно-мергельной толщей $P_2 sl^1$ мощностью 110 м, терригенно-карбонатной толщей $P_2 sl^2$ мощностью 60 м и пестроцветной толщей $P_2 \check{S}\check{S}$ мощностью до 65 м на водоразделах до полного выклинивания вблизи р.Зырянки и построен-

ных на ней Верхне- и Нижнезырянковских водохранилищ. Терригенно-карбонатная толща является основным водоносным горизонтом (средняя проницаемость вмещающих пород I-3 м/сутки на водоразделах и 5-10 м/сутки вблизи реки). Проницаемость соляно-мергельной и пестроцветной толщ не превышает I м/сутки. Четвертичные отложения представлены слабопроницаемыми аллювиально-делювиальными суглинками мощностью I-5 м.

До начала разработки месторождения и эксплуатации шламохранилища водоносные комплексы пестроцветной и терригенно-карбонатной толщ содержали пресные гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией 0,2-0,3 г/л. В соляно-мергельной толще появлялись сульфатные кальциевые воды с минерализацией до 2,5 г/л, связанные с выщелачиванием гипса, а в нижних горизонтах - хлоридные натриевые рассолы с минерализацией до 330 г/л, образовавшиеся при выщелачивании перекрывающей промышленный пласт каменной соли. На отдельных участках сульфатные и хлоридные воды проникали в вышележащие водоносные комплексы. Исходя из общей гидрогеологической обстановки в районе, можно полагать, что под р.Зырянкой до начала эксплуатации месторождения существовал купол соленых вод, поверхность которого, однако, не достигала уреза реки. Границы отдельных гидрохимических зон имели сложные очертания, предопределявшиеся литологическими особенностями и трещиноватостью вмещающих пород. Характерные химические анализы подземных вод приведены в табл.I.

После начала эксплуатации месторождения появились техногенные источники засоления подземных вод, главными из которых являются шламохранилища и солеотвалы (табл.2). Рассолы шламохранилищ и солеотвалов имеют сходный состав. В чаше шламохранилища происходит небольшое разбавление рассолов по сравнению с рассолами пульпопровода, но минерализация продолжает оставаться очень высокой. Поскольку именно шламохранилище является основным

Таблица 1

Гидрохимическая характеристика основных водоносных комплексов до начала эксплуатации месторождений калийных солей

Водоносная толща	$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	pH	Минерализация, г/л
Пестроцветная	7,2 / 8,0	53,3 / 76,4	7,2 / 15,6	3,7 / 2,8	4,3 / 2,4	220 / 94,8	7,4	0,3
Терригенно-карбонатная	9,1 / 8,7	57,1 / 65,8	13,4 / 25,5	7,4 / 4,8	5,8 / 2,8	244 / 92,4	7,8	0,3
Соляно-мергельная	66,3 / 6,5	510 / 59,7	175 / 33,8	13,1 / 0,8	1845 / 90,0	239 / 9,2	7,8	2,8
	50852 / 90,7 + 108 / 0,1	2083 / 4,3	1442 / 4,9	76822 / 89,0	1281 / 11,0	24,4 / -	7,0	144

Примечание. 1. В числителе в миллиграммах на литр, в знаменателе в эквивалент-процентах.

2. В последнем анализе содержание Br^- и J^- соответственно 64,8 и 8,5 мг/л, Cl/Br = 1186.

Таблица 2

Гидрохимическая характеристика основных источников искусственного засолонения подземных вод на месторождении калийных солей

Место отбора пробы	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Br^-	J^-	Амины	pH	Минерализация, г/л	K/Cl	Cl/Br
Шламохранилище, пульпопровод	90,8 65,9	59,9 25,5	2,3 1,8	4,8 6,7	210 98,9	2,7 0,9	0,49 0,2	0,16 –	0,004 –	0,009 –	6,6	371	0,28	1312
Шламохранилище, у дна	58,7 68,1	37,1 25,3	2,1 2,9	1,6 3,6	130 98,3	2,9 1,6	0,18 0,1	0,10 –	0,007 –	0,0006 –	6,8	233	0,28	1300
Солеотвалы, рассолосборник	92,6 69,5	57,4 25,3	1,6 1,4	2,6 3,8	204 98,9	3,0 1,1	0,7 –	Н.с.	Н.с.	Н.с.	Н.с.	204	0,28	

Примечание. 1. Н.с. – нет сведений.
2. В числителе в граммах на литр, в знаменателе в эквивалент-процентах.

источником засоления подземных вод, отметим некоторые особенности химического состава содержащихся в нем рассолов.

Пожалуй, главным отличительным их признаком является исключительно высокое содержание калия, постоянно поддерживающееся на уровне порядка 25 экв-%. Такой состав рассолов свойственен только техногенным водам эксплуатируемых месторождений калийных солей ряда регионов. Даже межсолевые воды разрабатываемых пластов, представляющих собой, как известно, сложное сочетание хлоридных и сульфатных солей магния, калия и натрия, редко содержат больше 20-30 г/л калия. М.Г.Валяшко, использовавший повышенные концентрации калия как поисковый признак на калийные соли [2], указывает, что в рассолах, связанных с калийными солями, коэффициент K/Cl = 0,09; в техногенных рассолах его значение устойчиво держится на уровне 0,2-0,3. Другим характерным признаком техногенных рассолов является наличие аминов, вводимых при флотации сильвинитовых руд, однако уже в шламохранилище их концентрация резко падает по сравнению с пульпой (сорбция на глинистых шламах).

Таким образом, техногенные рассолы калийных рудников имеют свой индивидуальный гидрохимический облик, отличающий их от природных, что пред

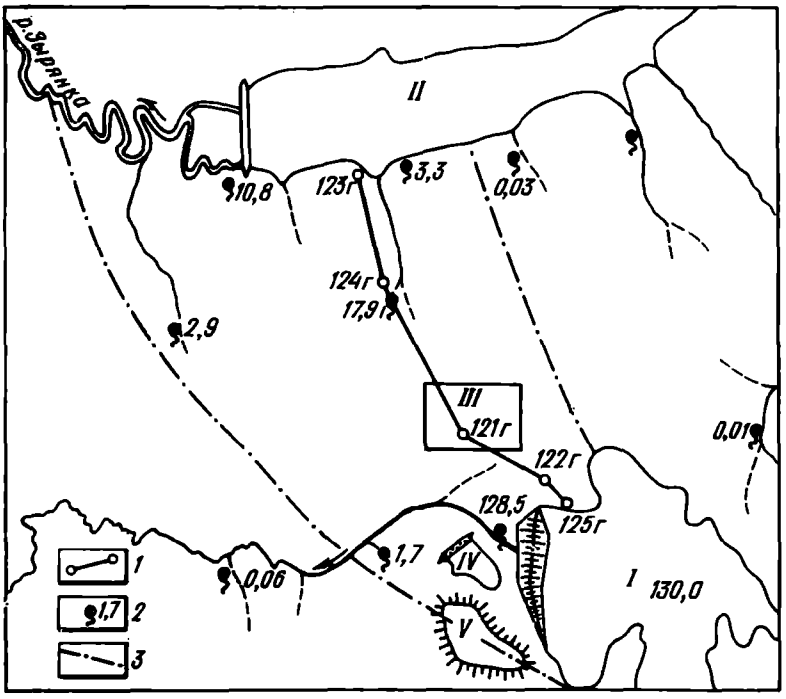


Рис.1. Границы ореола засоления подземных вод по результатам гидрохимической съемки в районе шахтного поля Березниковского калийного комбината

I - шламохранилище; II - Верхнезырянковское водохранилище; III - промплощадка; IУ - рассолосборник; У - солеотвал; 1 - гидрохимический профиль; 2 - источник, указана концентрация хлор-иона в граммах на литр; 3 - границы ореола

ставляет определенный практический интерес при индикации источников засоления природных вод и количественных оценках.

Для оценки процессов засолонения грунтовых и поверхностных вод была произведена гидрохимическая съемка, позволившая оконтурить ореол засолонения (рис.I), и пробурен профиль скважин между шламохранилищем и Верхнезырянковским водохранилищем. Подсчет уравнений смешения (по хлор-иону) позволил определить долю участия рассолов в формировании грунтовых вод. Под шламохранилищем сформировался „мешок" чистых рассолов, от которого формируется сдвинутый по потоку диффузионно-конвективный ореол, хорошо фиксируемый на всем участке между шламохранилищем и водохранилищем (рис.2) Контуры этого ореола послужили основой для прогноза изменения химического состава воды водохранилища во времени. Таким образом, принципиальные вопросы оконтуривания ореолов засолонения и прогноза динамики их развития могут быть решены на основе анализа распространения хлора в подземных водах, а для участков подтока природных хлоридных вод намечается важный индикатор техногенных вод - устойчивое повышенное содержание калия, превышающее даже встреченное в межсолевых водах промышленных пластов эксплуатируемых месторождений (разумеется, никак не дискредитируется значение повышенных содержаний калия при поисках месторождений калийных солей).

Проанализируем процессы, протекающие при взаимодействии техногенных вод с вмещающими горными породами (табл.3). Для исследования вопроса были подсчитаны теоретические концентрации отдельных компонентов, т.е. те, которые сформировались бы при условии смешения грунтовых и техногенных вод,

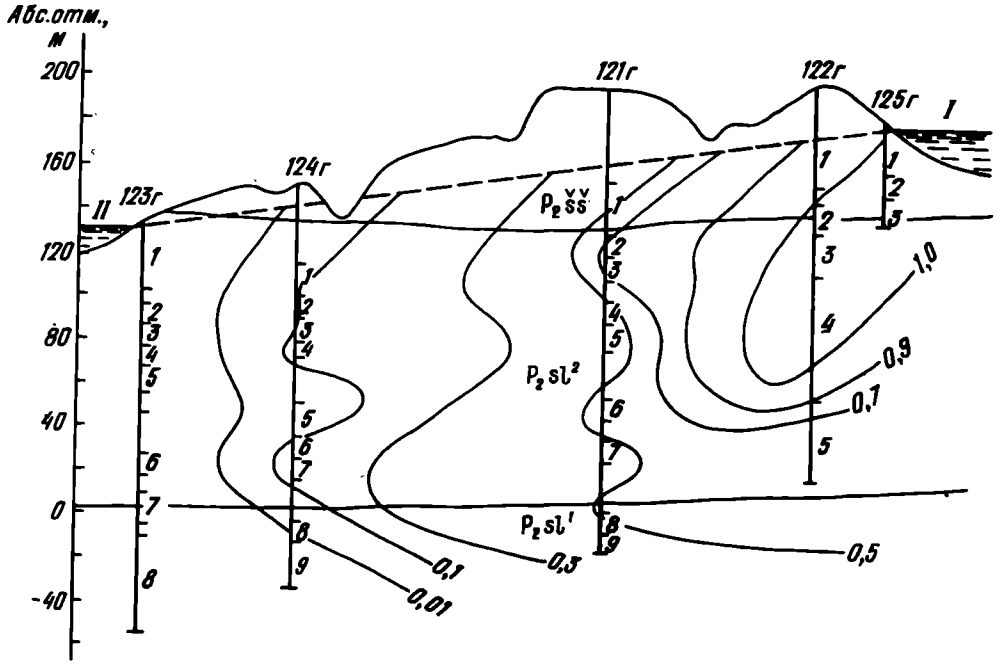


Рис.2. Изолинии доли участия рассолов шламохранилища в подземных водах по гидрохимическому профилю

Таблица 3

Химический состав подземных вод на участке шламохранилище – водохранилище
(по данным на август-декабрь 1979 г.)

Номер интервала	Интервал опробования, м	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	J^-	Br^-	Минерализация, г/л	pH
						Скважина 125г										
1	0-40	51431,4 69,3	31219,4 24,7	1887,6 2,9	1213,8 3,1	0,0	0,0	0,0	2684,8 1,7	0,0	220,5 0,1	112369,8 98,2	13,59	19,26	201,0	6,75
2	30-40	9811,26 65,2	5213,01 20,4	1221,5 9,3	404,6 5,1	0,0	0,0	0,0	536,98 1,7	0,0	294,05 0,7	22826,1 97,6	2,55	11,77	39,9	6,9
3	40-50	57900,7 69,2	34991,2 24,6	2108,5 2,9	1482,7 3,3	0,0	0,0	0,0	3038,7 1,7	0,0	306,12 0,1	126627,9 98,2	12,73	41,16	226,3	6,85
						Скважина 122г										
1	0-50	62368,8 79,9	16804,9 12,3	2642,9 3,9	1605,1 3,9	0,0	0,0	0,0	3702,9 2,3	0,0	243,0 0,1	117428,0 97,6	10,11	13,26	204,7	6,7
2	55-70	61381,7 69,3	34596,5 22,9	3219,2 4,2	1685,4 3,6	0,0	0,0	0,0	2931,7 1,6	0,0	387,4 0,2	134205,5 98,2	12,74	27,27	238,2	6,83
3	70-90	59583,3 68,6	33320,2 22,6	3774,2 4,9	1820,3 3,9	0,0	0,0	0,0	2834,4 1,4	0,0	293,9 0,1	131943,5 98,5	11,89	21,39	233,2	6,8
4	90-185,5	71940,5 81,7	13301,9 8,9	4084,5 5,3	1893,3 4,1	0,0	0,0	0,0	2826,8 1,5	0,0	245,2 0,1	133500,7 98,4	19,49	46,56	227,7	6,75
5	145-185	4945,7 53,9	1737,3 11,1	1072,5 13,4	1042,3 21,5	0,0	0,0	0,0	1773,1 9,3	0,0	183,48 0,8	12721,6 89,9	5,09	3,2	233,8	6,83
						Скважина 121г										
1	45-70	19482,1 60,9	3446,9 6,3	6003,7 21,6	1888,4 11,2	0,0	0,03	0,0	710,8 1,1	0,0	224,5 0,3	48623,8 98,6	8,48	26,69	80,2	6,85
2	70-80	52339,3 78,6	6078,4 5,2	7190,3 12,3	2802,8 7,8	0,0	0,05	0,0	1592,7 1,1	0,0	183,6 0,1	104060,7 98,8	15,27	24,05	174,18	6,86

Номер интервала	Интервал опробования, м	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	J^-	Br^-	Минерализация, г/л	pH
3	80–90	44403,7 / 65,4	5675,2 / 4,9	7701,5 / 21,4	2988,6 / 8,3	0,0	0,05	0,0	1980,1 / 0,9	0,0	182,8 / 0,2	109718,7 / 98,9	8,96	38,02	166,05	6,9
4	100–110	22990,6 / 64,3	4257,2 / 6,9	6002,1 / 19,2	1822,8 / 9,6	0,0	0,1	0,0	884,8 / 0,9	0,0	244,5 / 0,3	54593,7 / 98,8	8,48	23,48	90,5	6,98
5	111–123	20667,2 / 64,7	4151,1 / 7,6	3038,9 / 18,1	1627,9 / 9,6	0,0	0,05	0,0	709,0 / 1,1	0,0	244,1 / 0,3	48625,0 / 98,6	7,63	14,95	80,9	6,9
6	145–155	30708,7 / 65,1	7014,2 / 8,8	6969,1 / 16,9	2279,3 / 9,2	0,0	0,2	0,0	972,8 / 1,0	0,0	244,5 / 0,2	71817,8 / 98,8	13,56	43,24	199,8	6,88
7	165–175	11158,0 / 57,8	2782,4 / 8,5	3215,2 / 19,1	1497,2 / 14,6	0,0	0,2	—	593,4 / 1,5	0,0	305,5 / 0,6	29164,0 / 97,9	7,63	18,68	48,6	6,82
8	195–205	29932,1 / 64,4	8331,1 / 10,9	6361,8 / 16,0	2095,6 / 8,7	0,0	0,03	0,0	1018,0 / 1,1	0,0	611,5 / 0,1	69379,1 / 98,4	19,5	66,14	117,1	6,8
9	205–215	15681,3 / 60,7	2931,1 / 6,7	4960,7 / 22,0	1440,9 / 10,6	0,0	0,2	—	134,0 / 2,5	0,0	611,4 / 0,9	38468,4 / 96,6	4,24	33,64	65,1	6,8
							Скважина 124г									
1	37–50	848,6 / 20,3	1,47 / 0,0	2060,1 / 58,5	511,3 / 23,2	0,0	0,1	0,0	86,39 / 0,9	0,0	122,0 / 1,1	8310,0 / 98,0	0,84	1,44	9,9	6,85
2	50–60	1782,0 / 18,1	28,7 / 0,1	5417,3 / 55,9	1633,4 / 27,9	0,0	0,5	—	106,9 / 0,46	0,0	134,2 / 0,4	16976,1 / 99,1	1,52	7,73	26,0	6,7
3	62–72	1972,4 / 24,2	28,7 / 0,2	3771,4 / 53,0	976,1 / 22,3	0,0	0,0	0,0	129,2 / 0,7	0,0	122,0 / 0,5	12416,8 / 98,7	1,52	3,89	19,6	6,7
4	75–85	3242,7 / 18,9	13,3 / 0,0	7228,7 / 48,4	2961,4 / 32,7	0,0	0,01	0,0	102,0 / 0,3	0,0	97,6 / 0,2	26298,7 / 99,5	4,73	2,4	39,9	6,8
5	100–110	1164,5 / 23,8	2,79 / 0,0	1831,2 / 42,9	863,2 / 33,3	0,0	0,0	0,0	587,5 / 5,8	0,0	134,2 / 1,0	7042,8 / 93,2	0,0	6,45	11,6	6,95
6	114–124	3040,7 / 23,3	6,1 / 0,0	5700,3 / 50,2	1845,9 / 26,5	0,0	0,1	0,0	172,8 / 0,6	0,0	146,4 / 0,4	19947,7 / 99,0	1,69	5,06	30,9	6,8
7	124–135	9852,8 / 40,8	312,5 / 0,7	7620,0 / 35,8	2917,8 / 22,7	0,0	0,05	0,0	1101,1 / 2,2	0,0	356,6 / 0,5	36891,2 / 97,3	0,0	40,44	58,9	6,95

Окончание табл. 3

Номер интервала	Интервал опробования, м	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	J	Br^-	Минерализация, г/л	pH
8	158–166	384,8 20,7	8,0 0,2	760,1 49,5	275,9 29,6	1,5	0,1	0,0	1650,5 44,8	0,0	183,0 3,9	1394,8 51,3	0,0	1,23	4,5	6,9
9	165–185	532,6 24,8	1,6 0,0	817,5 43,6	358,6 31,5	1,0	0,03	0,0	1749,7 36,9	0,0	189,1 3,3	1913,4 57,8	0,0	—	5,5	7,03
							Скважина 123г									
1	3–37	54,8 7,2	4,0 0,3	358,3 54,1	154,4 38,4	0,1	0,01	0,0	568,1 35,8	0,0	196,3 8,7	839,5 54,5	0,0	0,37	1,67	6,95
2	34–45	24,8 2,8	3,0 0,2	477,8 61,9	164,2 35,1	0,1	0,0	0,0	578,0 3,2	0,0	195,3 8,3	825,2 60,5	0,0	0,85	2,17	6,9
3	45–56	98,9 11,0	7,0 0,5	380,1 48,5	190,5 40,0	0,1	0,0	0,0	578,4 30,8	0,0	195,3 1,2	945,8 61,0	0,25	0,43	2,2	6,9
4	55–65	57,3 6,3	6,0 0,4	390,9 49,4	210,2 43,8	0,2	0,0	0,0	547,6 28,9	0,0	79,3 3,3	948,0 67,8	0,0	0,91	2,2	7,1
5	74–85	82,3 8,6	8,0 0,5	390,9 47,1	220,1 43,7	0,0	0,0	0,0	1199,6 60,3	0,0	170,8 6,8	482,7 32,9	0,0	0,43	2,4	7,0
6	105–115	18,3 1,8	3,0 0,2	499,5 57,8	210,2 40,2	0,0	0,2	—	1715,5 82,9	0,0	201,4 7,7	144,4 9,4	0,0	0,0	2,7	6,9
7	128–137	14,7 1,5	2,0 0,1	532,1 63,5	177,4 34,9	0,1	0,0	0,0	1815,9 90,5	0,0	61,0 2,4	107,3 7,1	0,0	0,0	2,7	7,0
8	141–185	59,7 5,9	4,0 0,2	488,7 55,6	208,7 38,3	0,4	0,2	0,0	1848,0 90,8	0,0	213,5 8,0	66,0 1,2	0,0	0,0	2,8	7,0

Примечание. В числителе в миллиграммах на литр, в знаменателе в эквивалент-процентах.

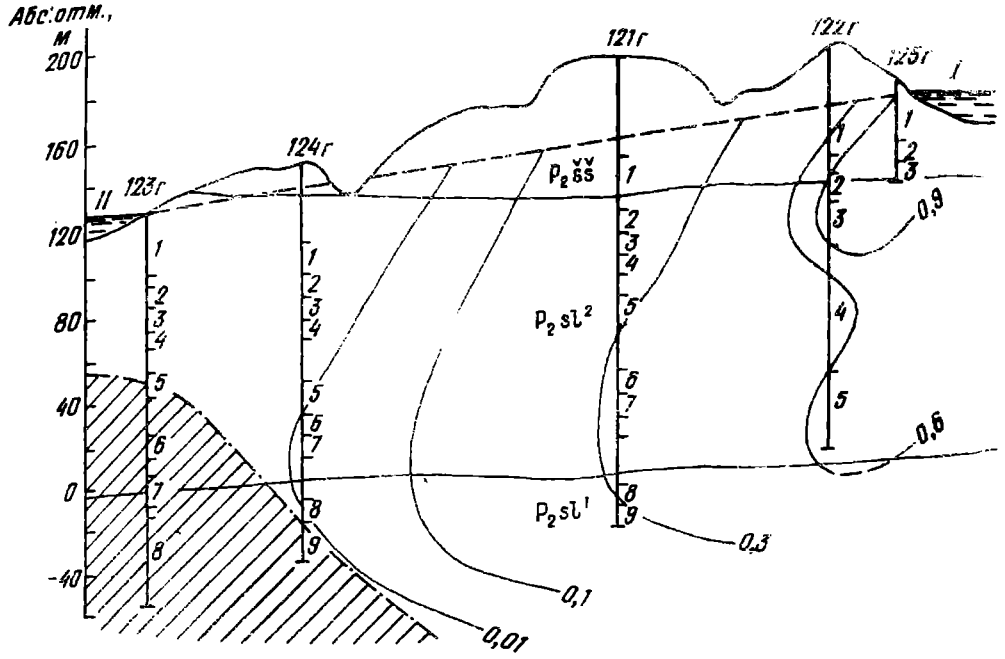


Рис.3. Изолинии равных коэффициентов сравнения для калия в подземных водах по гидрохимическому профилю
1-9 – номера интервалов (см. табл. 3)

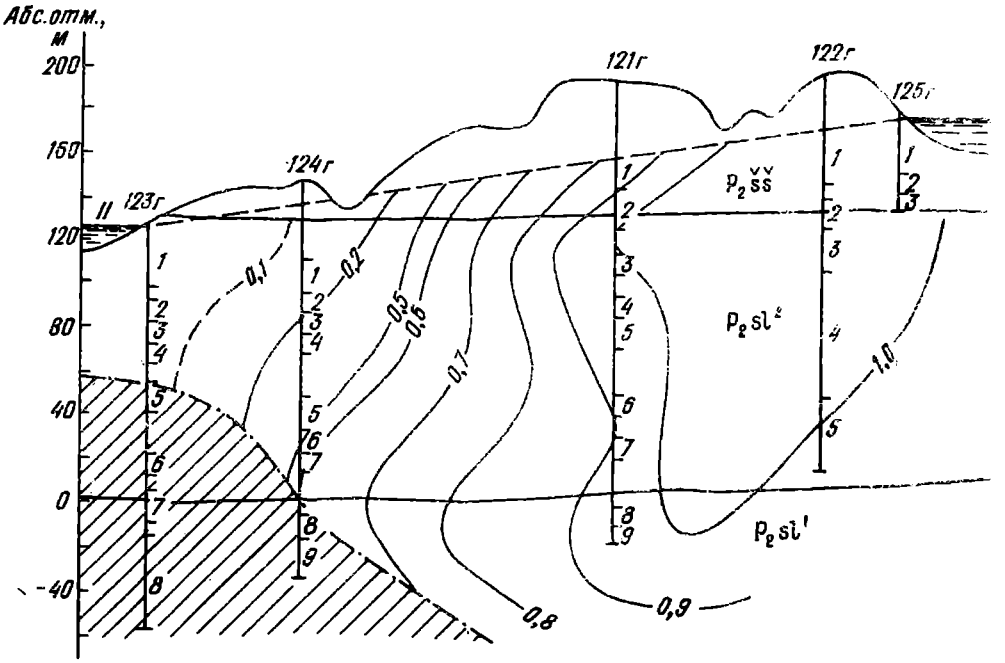


Рис.4. Изолинии равных коэффициентов сравнения для натрия в подземных водах по гидрохимическому профилю

и коэффициенты сравнения, представляющие собой соотношение наблюдаемых и теоретических концентраций (рис.3-6). Сравним рис.3-6 между собой и с рис.I. По мере удаления от шламохранилища однозначно фиксируются процессы обмена натрия и калия на кальций и магний. Калий начинает теряться уже в шламах, а улавливаемое влияние его повышенного содержания сохраняется только до половины расстояния между шламо- и водохранилищем. Это надежный индикатор техногенных вод, но радиус его действия измеряется сотнями метров, максимум несколькими километрами. Влияние натрия гораздо сильнее. На протяжении нескольких сотен метров он мигрирует подобно хлору, только через 800 м его влияние начинает затухать. Естественный дополнительный источник натрия, связанный с куполом достаточно обогащенных натрием сульфатных кальциевых вод под руслом р.Зырянки существенно усложняет расшифровку полученных данных. Эквивалентно потере натрия и калия увеличивается по отношению к „теоретическому" содержание щелочноземельных металлов, причем кальций накапливается значительно интенсивней. В некоторой мере этому способствует существование купола сульфатных вод под р.Зырянкой, но это лишь дополнительный источник: содержание кальция в этих водах не превышает 0,5 г/л, а в водах, сформировавшихся в результате обменных процессов, достигает 9-I0 г/л, т.е. в 5 раз больше, чем в шламохранилище. В результате описанных процессов на перешейке между шламо- и водохранилищем формируется зона хлоридных кальциевых вод, идентичных по своему составу седиментогенным водам древних артезианских областей (Восточно-Европейской, Восточно-Сибирской).

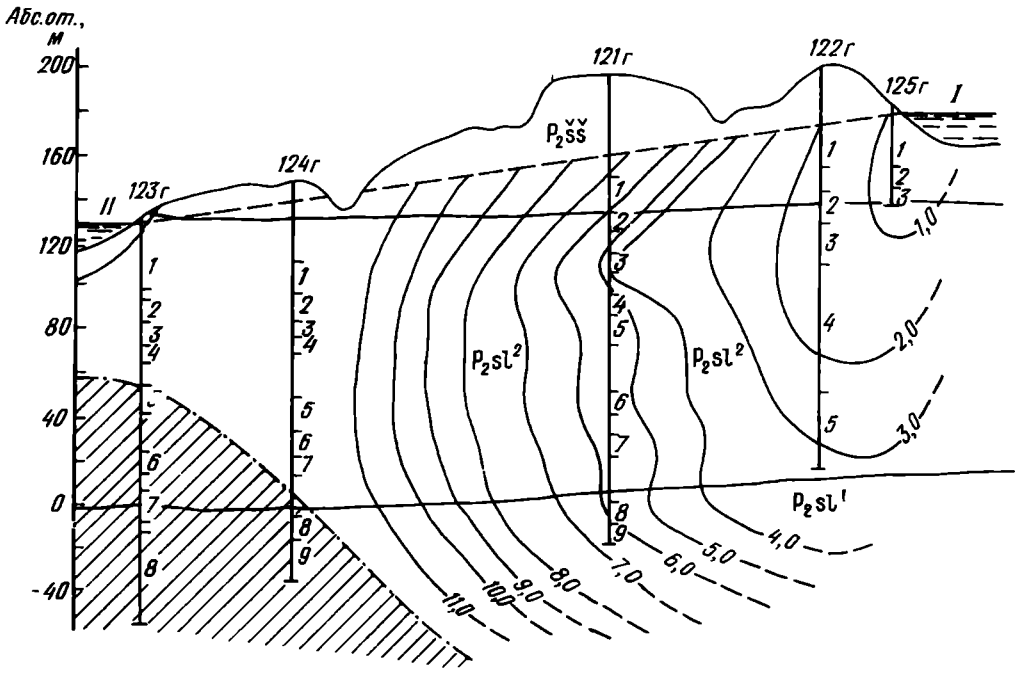


Рис.5. Изолинии равных коэффициентов сравнения для кальция в подземных водах по гидрохимическому профилю

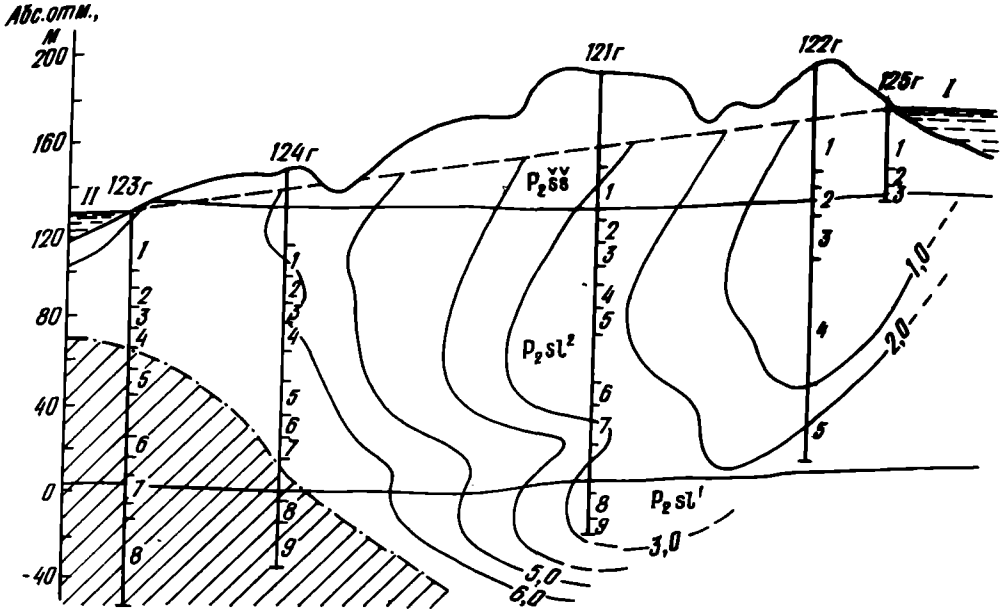


Рис.6. Изолинии равных коэффициентов сравнения для магния в подземных водах по гидрохимическому профилю

Таким образом, в условиях взаимодействия воды искусственно созданного водоема с горными породами моделируются обменные процессы, прекрасно подтверждающие теорию метаморфизации подземных вод, разработанную М.Г.Валяшко [I]. Выполненный анализ показывает, что эти процессы начинают протекать на самых первых стадиях опускания рапы солеродных бассейнов в подстилающие горные породы. Это прежде всего процессы приповерхностные, часто устанавливаемые под современными морями и солеными озерами [3]. Для их объяснения, как правило, нет надобности привлекать „хлоркальциевые" моря [5] или магматические процессы [6]. Продолжением выполненного исследования явится экспериментальное исследование химических реакций в описываемой системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валяшко М.Г. О роли морской воды в формировании химического состава природных вод осадочной толщи. – Геохимия, 1962, № 2.

2. Валяшко М.Г., Кореяенко О.М. Гидрохимические поисковые признаки калийных месторождений. – Гидрохимические материалы, 1950, т. 18.

3. Коротков А.И., Павлов А.Н., Юровский И.Г. Гидрогеология шельфовых областей. Л., Недра, 1980.

4. Мироненко В.А. Исследования по проблеме охраны подземных вод в горнодобывающих районах. – Зап.ЛГИ, 1980, т. 80.

5. Посохов Е.В. Химическая эволюция гидросферы. Л., Гидрометеоиздат, 1981.

6. Стуруа И.Н. О метасоматическом происхождении хлоридных кальциевых вод. – Советская геология, 1977, № 4.