



ВЛИЯНИЕ ПЕРЕТОКОВ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ НА ПРИПОВЕРХНОСТНУЮ ГИДРОСФЕРУ

INFLUENCE OF THE MINERALIZED WATER CROSSFLOWS OF THE UPPER-KAMA
POTASH-MAGNESIUM SALT DEPOSIT ON THE SUBSURFACE HYDROSPHERE

МАКСИМОВИЧ Н.Г.

*Заместитель директора по научной работе Естественно-научного института
Пермского государственного университета (ЕНИ ПГУ), nmax@psu.ru*

ПЕРВОВА М.С.

*Аспирант геологического факультета Пермского государственного
университета, maria.pervova@mail.ru*

MAXIMOVICH N.G.

*The deputy director of the Institute of Natural Sciences
of Perm State University (INS PSU), nmax@psu.ru*

PERVOVA M.S.

*A postgraduate student of the geological faculty
of Perm State University, maria.pervova@mail.ru*

Ключевые слова: верхнекамское месторождение калийных и магниевых солей (ВКМКМС); приповерхностная гидросфера; межпластовые перетоки; перетоки по стволам скважин; высокоминерализованные подземные воды; разгрузка подземных вод; просадки земной поверхности.

Аннотация: при разработке Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей приповерхностная гидросфера подвергается загрязнению. Это обусловлено как влиянием отходов производства, так и межпластовыми перетоками и разливами высокоминерализованных вод на поверхность земли. На основе результатов анализа напоров подземных вод выделены зоны с высокой вероятностью перетоков. Выявлены три группы родников, разгружающихся из разных водоносных горизонтов в береговой зоне Нижнезырянского водохранилища. Предложены меры по улучшению экологической ситуации на рассматриваемой территории.

Key words: Upper-Kama Potash-Magnesium Salt Deposit; subsurface hydrosphere; cross-flows between layers; borehole crossflows; highly mineralized ground water; groundwater discharge; ground surface subsidence.

Abstract: during the Upper-Kama Potash-Magnesium Salt Deposit mining the subsurface hydrosphere is polluted. It is determined by waste products, crossflows and outflows of highly mineralized ground water. On the basis of groundwater pressure analysis data the zones with high probability of crossflows were singled out. Three groups of springs that discharge from different aquifers in the nearshore zone of Nizhnezyriansk Reservoir were revealed. The authors propose some measures to improve the ecological situation in the considered territory.

В процессе разработки крупнейшего в мире Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей (ВКМКМС), расположенного на севере Пермского края, приповерхностная гидросфера подвергается существенным изменениям. Основными источниками воздействия на нее являются шламохранилища, солеотвалы, обогатительные фабрики. Их влияние на окружающую среду достаточно хорошо изучено [1–5, 7, 9]. Значительно меньше исследований посвящено влиянию межпластовых перетоков в пресноводную зону и разливов на поверхность высокоминерализованных подземных вод из надсолевой толщи по стволам многочисленных скважин (структурных, гидрогеологических, разведочных и др.), причиной чего является нарушение их герметичности. Перетоки возможны также по старым рассолоподъемным скважинам, через которые велась добыча поваренной

соли начиная с XV века. Исследования этих проблем и посвящена настоящей статье.

Оценка возможности таких перетоков и изливов соленых вод проводилась на основе результатов анализа гидродинамических и гидрохимических условий и гидрохимического обследования в районе Нижнезырянского водохранилища, расположенного в центральной части ВКМКС. Оно было создано в 50-х годах прошлого века на реке Зырянке для водоснабжения окружающих предприятий и регулирования стока реки. Ширина водохранилища — до 1 км, длина — до 4 км, средняя глубина — около 2,4 м, объем — около 10 млн м³ (рис. 1).

На состав вод Нижнезырянского водохранилища влияют впадающие в него реки Быгель и Зырянка, небольшие ручьи (например, Кряжевка), временные водотоки, сток с территории города Березники, где нет ливневой канализации (см. рис. 1), а также подземные воды, разгружающиеся субаквально и в виде родников. Родниковые воды имеют крайне неоднородные химический состав и минерализацию. По-

скольку береговая зона водохранилища достаточно интенсивно разбурировалась в разные годы, возникли подозрения, что пестрый химический состав этих вод может быть связан с внутрискважинными межпластовыми перетоками.

Для гидрохимической характеристики были исследованы пробы воды из Нижнезырянского водохранилища, впадающих в него рек и ручьев и вытекающей из него р. Зырянки (рис. 2). По результатам химического анализа было установлено, что вода р. Зырянки перед впадением в водохранилище имеет хлоридно-натриевый состав с минерализацией до 1,4 г/л, а при вытечении из него — хлоридно-натриевый состав с минерализацией 1,9 г/л. Воды реки Быгель также являются хлоридно-натриевыми и имеют минерализацию до 1,7 г/л. В ручьях и временных водотоках они характеризуются минерализацией менее 1 г/л.

В самом Нижнезырянском водохранилище воды также относятся к хлоридно-натриевым, и в них наблюдается превышение ПДК по хлоридам (во всех пробах). Наиболее засоленные во-

ды находятся в районе водосброса, где минерализация достигает 1,9 г/л. Помимо этого в водохранилище в повышенном количестве были обнаружены нефтепродукты и тяжелые металлы, такие как цинк, кобальт и никель. Эти же загрязнители были найдены и в пробах донных отложений. Наибольший показатель суммарного химического загрязнения (Zc) отмечен в районе водосброса. Наиболее чистые отложения были обнаружены у южного берега [10].

В береговой зоне водохранилища зафиксировано несколько засоленных родников. Зоны интенсивной разгрузки подземных вод хорошо прослеживаются на космическом снимке, сделанном в конце апреля 2006 года, по участкам с растаявшим льдом (см. рис. 1), что помогло при планировании полевых работ.

Исходя из анализа гидрогеологических условий рассматриваемой территории было определено, что в формировании состава родниковых вод могут принимать участие три водоносных комплекса — четвертичных отложений, терригенно-карбонатной толщи

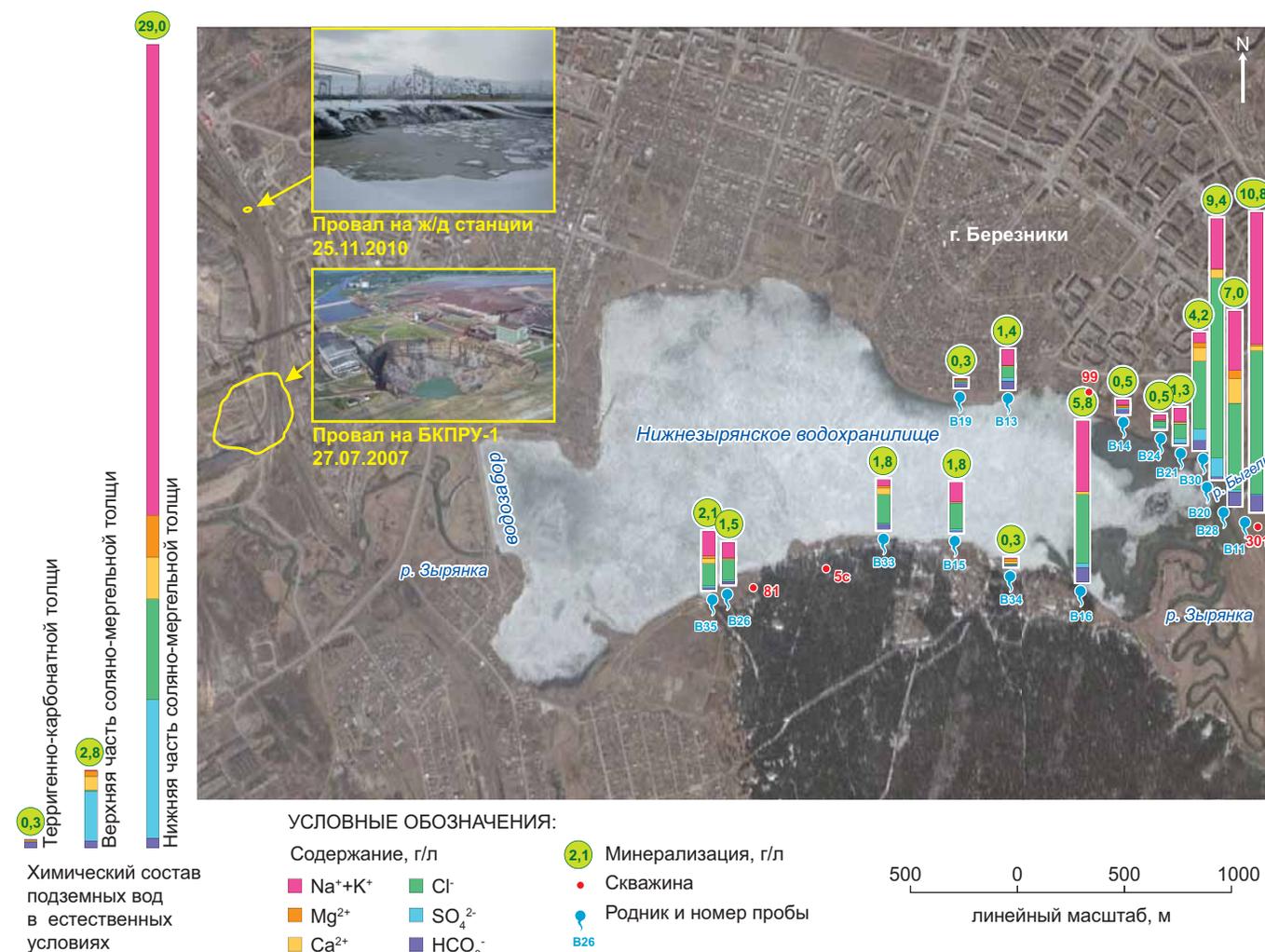


Рис. 1. Химический состав подземных вод, разгружающихся в Нижнезырянское водохранилище (основа — космический снимок из Google Earth от 30.04.2006 г.)

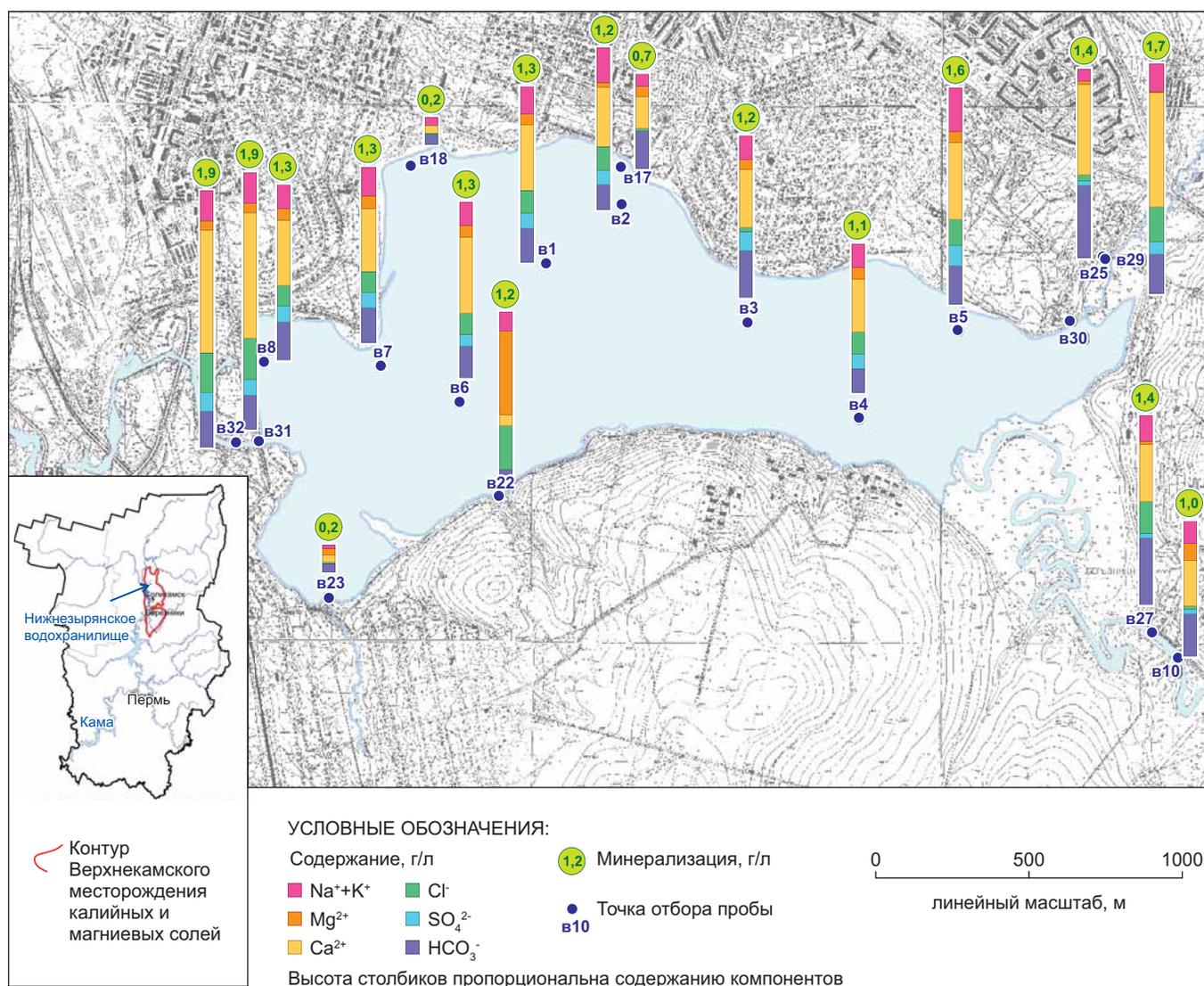


Рис. 2. Карта Нижнезырянского водохранилища и его окрестностей. Состав поверхностных вод

(ТКТ) и соляно-мергельной толщи (СМТ) [6, 8] (рис. 3).

Водоносный комплекс четвертичных аллювиальных отложений. Четвертичные отложения в районе Нижнезырянского водохранилища не имеют постоянного водоносного горизонта, но иногда при наличии в разрезе достаточно выдержанного водупорного слоя глины содержат сезонную верховодку.

Водоносный комплекс терригенно-карбонатной толщи. В отложениях ТКТ сосредоточены основные запасы пресных подземных вод региона. Водовмещающими породами являются известняки, мергели, песчаники. Водоупорами — глины и глинистые алевролиты. Водоносный комплекс ТКТ широко распространен в долине р. Зырянки и на сопредельных территориях и имеет мощность до 100–135 м. В комплексе различают два типа подземных вод: (1) трещинно-грунтовые, обычно безнапорные, которые движутся от водоразделов к долинам-

дренам (р. Зырянке) и находятся выше местного базиса дренирования; (2) трещинно-пластовые, движение которых от области питания подчинено общему направлению падения слоев на запад — к оси Камского прогиба [2, 9, 11]. Выше местных эрозионных врезов обычно циркулируют безнапорные трещинно-грунтовые воды, ниже — напорные. О напорном характере горизонта свидетельствует наличие восходящих родников и самоизливов из скважин. Питание комплекса ТКТ осуществляется преимущественно за счет атмосферных осадков, а также переток вод из нижележащих отложений. Разгрузка происходит в долинах рек Зырянка и Быгель и субкавальным путем. Для толщи ТКТ характерны частые фациальные изменения литологического состава по простиранию слоев и по разрезу. При этом ее можно разделить на две части — известняково-песчаниковую (верхнюю) и известняково-мергелистую (нижнюю). Химический состав подземных вод ТКТ

был проанализирован по данным опробования скважин в районе водохранилища. В естественных условиях они пресные, имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав и общую минерализацию от 0,2 до 0,5 г/л.

Водоносный комплекс соляно-мергельной толщи (верхнесоликамский и нижнесоликамский водоносные горизонты). В сводовой части Березниковского вала (под центральной частью Нижнезырянского водохранилища) происходит выклинивание верхнесоликамских отложений и отмечается выход на поверхность нижнесоликамских пород, которые представлены в основном мергелями, аргиллитами, глинами, чередующимися в разрезе и фациально замещающими друг друга. Подчиненное значение имеют прослойки и линзы каменной соли. Характерной особенностью является загипсованность. Водовмещающими породами являются трещиноватые мергели. В качестве водоупоров рассматриваются глинистые про-

слои. Направление движения подземных вод — с востока на запад и северо-запад вдоль долины р. Зырянки. Основным базисом дренирования региона является долина реки Камы, в которую осуществляется разгрузка напорных подземных вод горизонта.

Естественный химический состав и минерализация вод *нижнесоликамского горизонта* очень разнообразны. В местах выхода отложений СМТ на поверхность распространены пресные подземные воды с преобладанием в их химическом составе ионов . Отложения нижнесоликамского горизонта СМТ, перекрытые верхнесоликамскими породами, находятся ниже зоны дренирования и содержат солоноватые подземные

воды. Влияние на естественные гидрохимические изменения состава вод с глубиной происходит со стороны нескольких факторов. Во-первых, выщелачивание присутствующих в разрезе СМТ загипсованных глин обуславливает наличие солоноватых сульфатно-кальциевых вод. В связи с выклиниванием выщележащих отложений ТКТ в пределах рассматриваемого участка загипсованные глины залегают неглубоко, что является причиной появления сульфатных вод на малых глубинах. Во-вторых, происходит выщелачивание каменной соли, перекрывающей промышленный пласт, что приводит к образованию рассолов хлоридно-натриевого состава с минерализацией 150–200

г/л. Эти рассолы в основном изолированы от циркулирующих в верхней части разреза пресных и солоноватых вод водоупорными прослоями. В-третьих, трещинные зоны в сводах Березниковского вала служат путями миграции хлоридно-натриевых рассолов вверх, что вызывает увеличение минерализации циркулирующих выше подземных вод. В месте пересечения вала долиной р. Зырянки прослеживается самое высокое положение минерализованных вод. Здесь скважиной были вскрыты хлоридно-натриевые воды с минерализацией 11 г/л на глубинах 27–45 м и 75 г/л на глубинах 106–130 м.

Анализ гидродинамической обстановки в районе Нижнезырянского во-

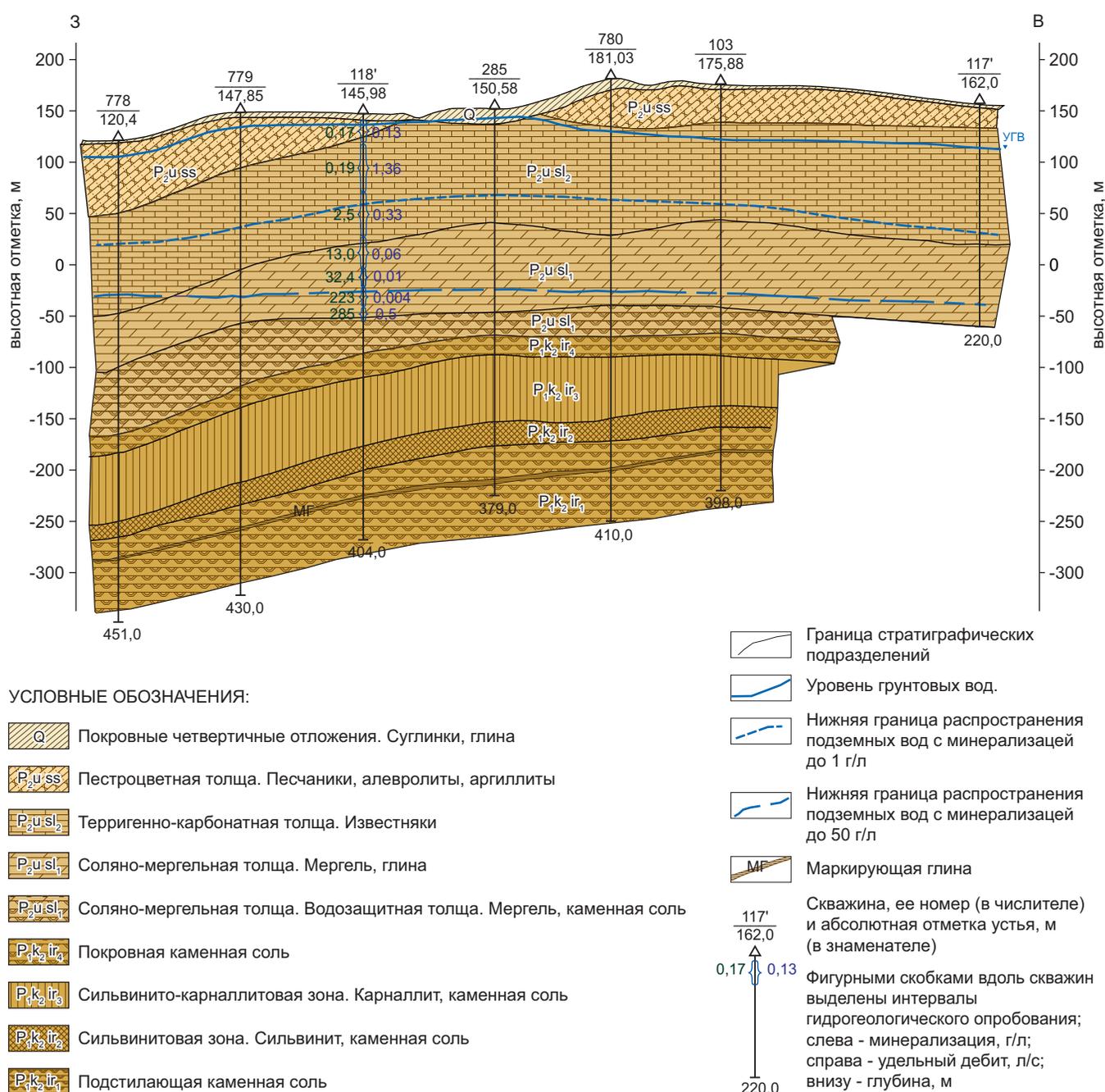
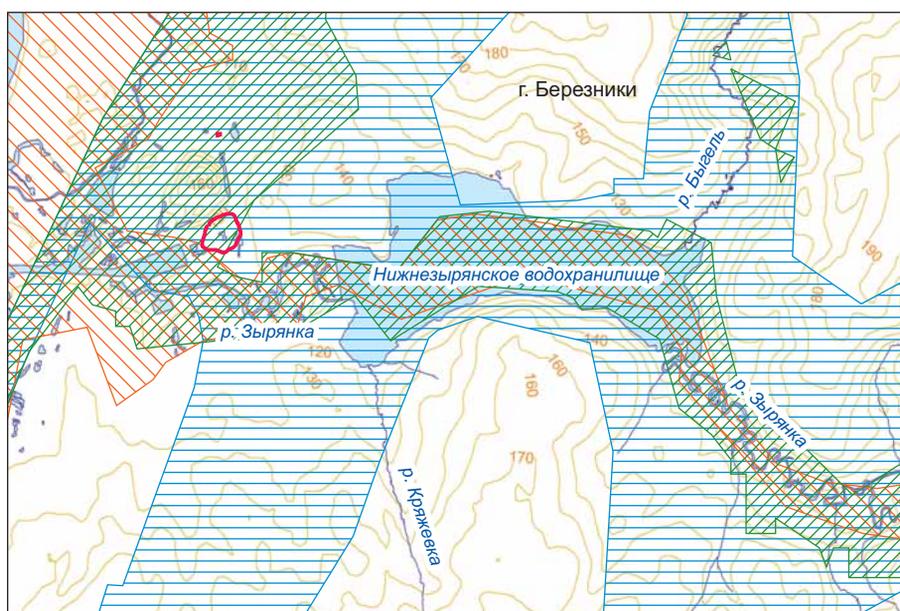


Рис. 3. Характерный геолого-гидрогеологический разрез центральной части ВКМКС [3]



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- Зона 1. Возможны перетоки подземных вод из ТКТ на поверхность
- Зона 2. Возможны перетоки подземных вод из СМТ на поверхность
- Зона 3. Возможны перетоки подземных вод из СМТ в ТКТ
- Провал

0 500 1000
линейный масштаб, м

Рис. 4. Зоны возможных перетоков и изливов подземных вод

дохранилища позволил оценить возможность перетоков и изливов подземных вод. По данным пьезометрических уровней вод ТКТ и СМТ и путем сопоставления их с отметками дневной поверхности и между собой была построена схема их возможных перетоков и изливов (рис. 4). При этом были использованы одновременные замеры уровней за достаточно длительный период времени. По ряду причин в этой схеме не учтено изменение гидродинамической обстановки после затопления рудника БКПРУ-1 (образовавшийся после этого затопления провал соединил водоносные горизонты СМТ и ТКТ). Тем не менее данная схема может дать общее представление о взаимосвязях между водоносными горизонтами. На ней выделено три зоны возможной восходящей вертикальной циркуляции.

Зона 1. Сопоставление пьезометрических уровней вод ТКТ с абсолютными отметками поверхности земли (см. рис. 4) позволило оконтурить область, где уровень подземных вод ТКТ равен или располагается выше дневной поверхности. Эта область отличается вы-

Таблица

Химический состав воды в водоносных горизонтах и родниках, мг/л											
Водоносный горизонт	№ пробы родниковой воды (рис. 1)	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Общая минерализация	(Na ⁺ + K ⁺ + cl ⁻) / Общая минерализация, %	(Na ⁺ + SO ₄ ²⁻) / Общая минерализация, %	HCO ₃ ⁻ / Общая минерализация, %
Пробы воды из водоносных горизонтов											
ТКТ	-	264	16	9	50	23	13	374	5,8	17,6	70,5
СМТ2		239	1846	13	511	175	66	2850	2,8	82,7	8,4
СМТ1		277	4325	3110	1293	1252	18760	29016	75,4	19,4	1,0
Пробы воды из родников											
ТКТ	в14	170	64	75	25	1	198	533	51,2	16,7	31,9
ТКТ	в19	120	38	56	13	41	28	296	28,4	17,2	40,5
СМТ2	в34	48	28	23	100	97	31	327	16,5	39,1	14,7
СМТ1	в20	86	679	6500	310	48	1800	9423	88,1	10,5	0,9
СМТ1	в30	330	418	2460	501	170	345	4224	66,4	21,8	7,8
СМТ1	в21	51	145	519	62	15	480	1272	78,5	16,3	4,0
СМТ1	в24	38	61	222	33	19	180	553	72,7	17,0	6,9
СМТ1	в11	580	57	5220	178	61	4800	10896	92,0	2,2	5,3
СМТ1	в13	280	126	409	36	12	580	1443	68,5	11,2	19,4
СМТ1	в26	85	57	709	37	29	535	1452	85,7	6,5	5,9
СМТ1	в16	510	150	2500	92	19	2540	5811	86,7	4,2	8,8
СМТ1	в33	198	26	1040	220	73	233	1790	71,1	13,7	11,1
СМТ1	в15	62	67	1004	38	12	750	1933	90,7	5,4	3,2
СМТ1	в35	88	49	810	190	79	887	2103	80,7	11,4	4,2
СМТ1	в28	480	78	3136	902	292	2140	7028	75,1	13,9	6,8

сокой вероятностью изливов подземных вод ТКТ из скважин на поверхность. Она располагается в центральной части и в береговой зоне Нижнезырянского водохранилища. Площадь зоны 1 в пределах рассматриваемого участка составляет 3,27 км².

Зона 2. Эта зона представляет собой область, где уровни вод СМТ могут быть равны или располагаться выше поверхности земли (см. рис. 4). В ее границах возможна разгрузка природных соленых вод по стволам скважин. При наличии естественных путей миграции здесь наблюдаются соленые источники. Именно такие выходы соленых подземных вод люди искали в XVI веке по берегам р. Зырянки для обустройства рассолоподъемных скважин. Эта зона охватывает долины рек Зырянка и Быгель, а также всю акваторию и береговую часть Нижнезырянского водохранилища. Площадь данной зоны составляет 8,03 км².

Зона 3. По результатам сопоставления пьезометрических уровней в ТКТ и СМТ были выделены области, где уровни вод СМТ устанавливаются выше уровней ТКТ. В этой зоне при наличии перетоков по стволам негерметичных скважин пресный водоносный горизонт будет засоляться на всю мощность. Учитывая, что в соляно-мергельной толще не содержится пресных вод, можно сделать вывод, что в пределах выделенной зоны будет происходить засоление пресноводных горизонтов ТКТ. Дефекты в скважинах потенциально могут сказаться на составе вод, разгружающихся в зоне 3. Зона 3 является самой обширной, занимая 20,44 км². Отметим, что провал, обведенный на рис. 4 красной линией, находится на участке совмещения зон 2 и 3. В настоящее время по нему происходит излив смешанных вод ТКТ и СМТ.

Анализ расположения выделенных зон (см. рис. 4) показывает, что перетоки и изливы наиболее вероятны в прибрежной полосе Нижнезырянского водохранилища. Здесь же расположено значительное количество старых скважин (см. рис. 1). При обследовании этой полосы также было выявлено 15 родников с минерализацией воды от 0,3 до 11 г/л. Суммарный дебит родников сопоставим с общим расходом притоков водохранилища, вследствие чего они играют значительную роль в формировании химического состава его вод (табл. 1).

По химическому составу выделяют *три группы родников*, воды которых разгружаются: (1) из терригенно-кар-



Рис. 5. Разгрузка подземных вод терригенно-карбонатной толщи (В19)

бонатной толщи; (2) из верхнесоликамского водоносного горизонта; (3) из нижнесоликамского водоносного горизонта. Это разделение было выполнено на основе сопоставления отношений содержания преобладающих ионов к общей минерализации родниковой воды с аналогичными соотношениями для проб из водоносных горизонтов (см. табл. 1).

Воды *первой группы родников* разгружаются из терригенно-карбонатной толщи. Отношение содержания в них к общей минерализации составляет более 70%. Это пресные воды с минерализацией до 0,3 г/л. На берегах водохранилища разгружается два таких родника, которые находятся на северном берегу водохранилища. Один из них используется местным населением в питьевых целях (рис. 5).

Воды *второй группы родников* разгружаются из верхнесоликамского водоносного горизонта. Отношение содержания в них суммы ионов и к общей минерализации составляет более 80%. Это солоноватые воды с минерализацией до 3 г/л. На территории исследования встречен только один родник данного типа (рис. 6), который расположен на южном берегу водохранилища.

Воды *третьей группы родников* (наиболее многочисленной) разгружаются из нижнесоликамского водоносного горизонта. Отношение содержания в них суммы ионов, и к общей минерализации составляет около 70%. Это соленые воды с минерализацией до 30 г/л. На левом берегу Нижнезырянского водохранилища в 100 м от родников, из которых были взяты пробы воды в35 и в26, имеется скважина. Здесь у ручьев, вытекающих из родников, нет выраженных каналов стока, а наблюдается площадная разгрузка подземных вод (рис. 7). Это говорит о том, что перетоки начались сравни-



Рис. 6. Разгрузка подземных вод верхнесоликамского водоносного горизонта (В34)

тельно недавно. Наибольшее количество родников третьей группы находится в хвостовой части водохранилища, где по архивным данным также имеется скважина.

Отметим, что оседания поверхности земли и провалы, описанные в работе [5], возможно, были вызваны именно интенсивной разгрузкой вод. В настоящее время наиболее интенсивные просадки наблюдаются в хвостовой части водохранилища, где родники имеют наибольшие дебит и минерализацию воды (рис. 8). Здесь локализуется зона оседания, где суммарная осадка поверхности достигает 800 мм (рис. 9).

Заключение

Результаты проведенных исследований показывают, что приповерхностная гидросфера Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей может подвергаться существенному засолению за счет перетоков высокоминерализованных вод из нижележащих водоносных горизонтов.

По соотношению напоров в водоносных горизонтах были выделены зоны с высокой вероятностью перетоков. Обследование этих зон показало, что по пробуренным в разные годы скважинам происходит загрязнение приповерхностной гидросферы, в том числе пресных подземных вод, используемых для водоснабжения.

Кроме того, вынос из водоносных горизонтов значительного количества солей может привести к нарушению гидрохимического равновесия и развитию техногенного карста.

Для улучшения экологической обстановки необходимо в ближайшее время провести поиск и тампонаж скважин, по стволам которых может происходить межпластовый переток высокоминерализованных вод, прежде всего в выделенных зонах с высокой вероятностью таких перетоков.



Рис. 7. Площадная разгрузка подземных вод нижнесоликамского водоносного горизонта в районе скважины 81



Рис. 8. Интенсивная разгрузка подземных вод в хвостовой части Нижнезырянского водохранилища

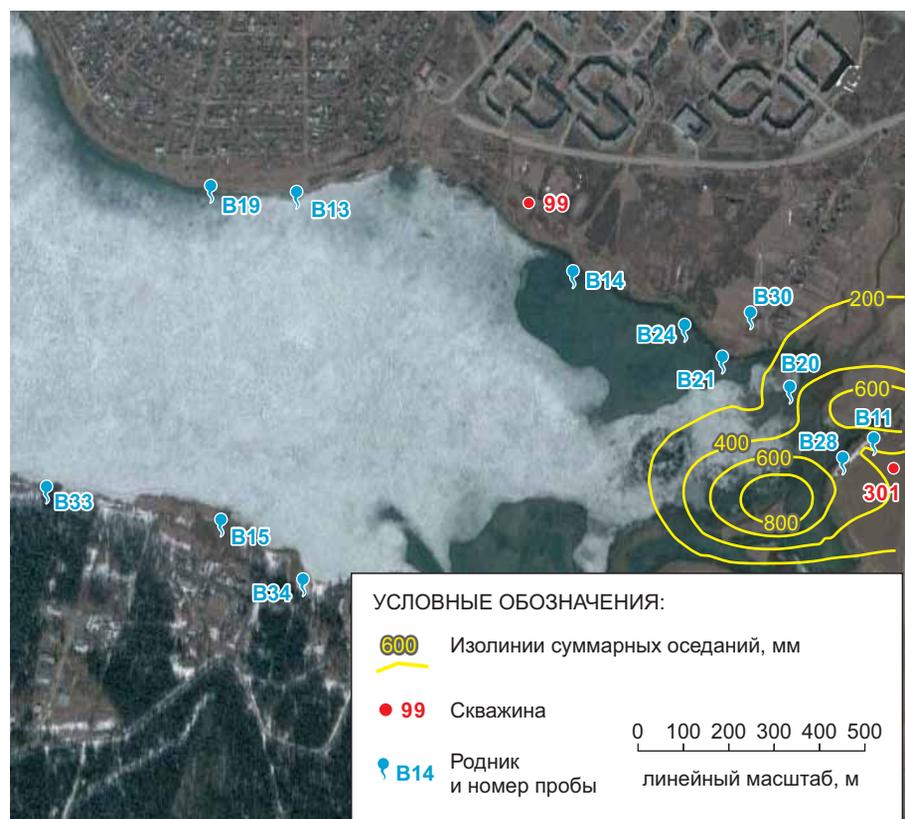


Рис. 9. Оседание земной поверхности в зоне интенсивной разгрузки высокоминерализованных вод (основа — снимок из Google Earth от 30.04.2006 г.)

Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-05-96017 р_урал_a «Теоретические основы создания искусственных геохимических барьеров для защиты окружающей среды при освоении природных ресурсов Западного Урала».

Список литературы

1. Бачурин Б.А., Бабошко А.Ю. О характере трансформации состава техногенно-минеральных образований горного производства в условиях гипергенеза // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 7. С. 336–342.
2. Белкин В.В. Состояние геологической среды Верхнекамского соленосного бассейна // Разведка и охрана недр. 2008. № 8. С. 77–82.
3. Белкин В.В. Техногенная трансформация геологической среды Верхнекамского соленосного бассейна: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Екатеринбург, 2010. 49 с.
4. Бельтоков Г.В. Основные источники загрязнения подземных и поверхностных вод на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Экология. Пермь, 1996. Вып 4. С. 128–140.
5. Болотов А.А. К вопросу о происхождении провалов почвы в районе пос. Новая Зырянка (южная окраина г. Березники Пермской области) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: сборник научных статей. Пермь, 2000. С. 145–149.
6. Гидрогеология СССР. Т. 14: Урал / под ред. А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1972. 648 с.
7. Зилинг Д.Г. Оценка региональных изменений геологической среды платформенных территорий, вызываемых деятельностью горнодобывающих предприятий // Инженерная геология сегодня: теория, практика, проблемы. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 269–281.
8. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. 429 с.
9. Кудряшов А.И., Коноплев А.В., Базанова О.В. Влияние калийных предприятий на геологическую среду района Верхнекамского месторождения // Методы геологических исследований. Пермь, 1984. С. 69–70.
10. Максимович Н.Г., Ворончихина Е.А., Пьянков С.В. и др. Оценка мощности и экологических характеристик донных отложений водохранилища с помощью геоинформационного моделирования // Инженерные изыскания. 2011. № 1. С. 32–38.
11. Шимановский Л.А., Шимановская И.А. Пресные подземные воды Пермской области. Пермь: Пермское книжное изд-во, 1973. 196 с.