

ISSN 0869-7803

Номер 4

Июль - Август 2006



ГЕОЭКОЛОГИЯ

Инженерная геология

Гидрогеология

Геокриология

<http://www.naukaran.ru>
<http://www.maik.ru>



“НАУКА”

2.3. / 5.

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 550.4 (470.4)

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ ВОД ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЧЕТЛАССКОГО КАМНЯ (СРЕДНИЙ ТИМАН)

© 2006 г. А. Б. Макеев, Н. И. Брянчанинова

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН

Поступила в редакцию 01.02.2005 г. После исправления 08.06.2005 г.

Представлены результаты изучения гидрогеохимии речных и подземных природных вод Четласского Камня (Средний Тиман). Охарактеризован компонентный состав вод на 72 элемента таблицы Д.И. Менделеева, рассчитана соленость и определена граница пресных и ультрапресных природных вод в районе исследования, коррелирующая с распространением двух типов толщ древних осадочных пород (карбонатных и терригенных). Выделены два комплекса аномалииобразующих индикаторных элементов – примесей, которые связаны с дренированием двух типов проявлений полезных ископаемых – ультраосновных вулканитов и полиметаллов, которые можно использовать в поисковой геохимии.

В меженный период август–сентябрь 2004 г. проведено гидрогеохимическое опробование природных питьевых вод в бассейне верховий рек Мезень–Печорская Пижма–Вьмь в пределах Четласского Камня (Средний Тиман). Территория исследования находится на границе трех районов Республики Коми: Удорского, Княжпогостского, Усть-Цилемского. Задачами работ были: геохимическая характеристика речных вод в исследуемом районе, определение степени солености пресных вод, загрязненность их малыми элементами-примесями и установление возможности использования особенностей микрокомпонентного состава воды в поисковых целях, для обнаружения месторождений полезных ископаемых. На исследуемой территории находится крупное промышленное добычное предприятие ОАО “Бокситы Тимана”, которое открытым (карьерным) способом разрабатывает бокситы Вежа-Ворыквинского месторождения. Карьер Вежа-Ворыквинского месторождения бокситов расположен в левом борту р. Ворыква в 2–3 км от ее русла и в 12 км южнее поселка Тиман. Исследование пресных вод проводилось в 40 километровой зоне в западном, северо-западном и северном секторах вокруг бокситового рудника. Всего собрано и проанализировано 30 проб воды. На рис. 1 показана схема гидрогеохимического опробования.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор проб воды проводился в пластмассовые пробирки с притертыми пробками объемом 15 мл с необходимыми предосторожностями отбора и сохранения чистоты проб для дальнейшего анализа. Анализ воды на 72 элемента выполнен в Аналитическом сертификационном испытатель-

ном центре (АСИС) Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья (ВИМС) по современной методике ICP-MS и ICP-AES (масс-спектральный с индукционно-связанной плазмой спектрометр Elan-6100 “Perkin Elmer”, США; атомно-эмиссионный с индукционно-связанной плазмой спектрометр Optima-4300 DV “Perkin Elmer”, США). Чувствительность определения отдельных элементов варьировала от 0.002 мкг/л для редких элементов до 5 мкг/л для макрокомпонентов. Все анализируемые в воде элементы-примеси можно разделить на три группы. В первую группу объединены основные хорошо растворимые элементы, так называемые, “макрокомпоненты”, которые находятся в воде в виде диссоциированных на ионы растворимых солей. К ним можно отнести десять элементов: Na, K, Fe, Mn, Mg, Ca, Sr, S, Al, Si, содержание которых определяет соленость вод (табл. 1). Содержание этих элементов условно пересчитывалось на растворимые соли с учетом анионных комплексов ($MgCl_2$, $FeCl_3$, K_2CO_3 , $Ca(HCO_3)_2$, Na_2SO_4 , $SrCO_3$, $MnCO_3$, Na_2SiO_3 , $AlPO_4$), эти компоненты суммировались и, таким образом, рассчитывалась общая соленость вод. Во вторую группу вошли среднерастворимые в воде элементы, которые быстро переходят в трудно растворимые соли и соединения, коагулируют и выпадают в осадок. Эти элементы (чаще всего металлы и металлоиды) могут выступать в качестве индикаторов загрязненности вод, создают индивидуальный гидрогеохимический портрет вод и могут быть использованы в поисковой геохимии. К этим элементам-примесям в данном случае отнесены сорок элементов: Li, B, Be, Ti, Cu, Zn, V, Ni, Co, W, Mo, As, Br, Ba, Cs, Rb, Ag, Cd, Sb, Tl, Bi, Pb, Th, U, Y, Zr, а также все редкоземельные элементы от

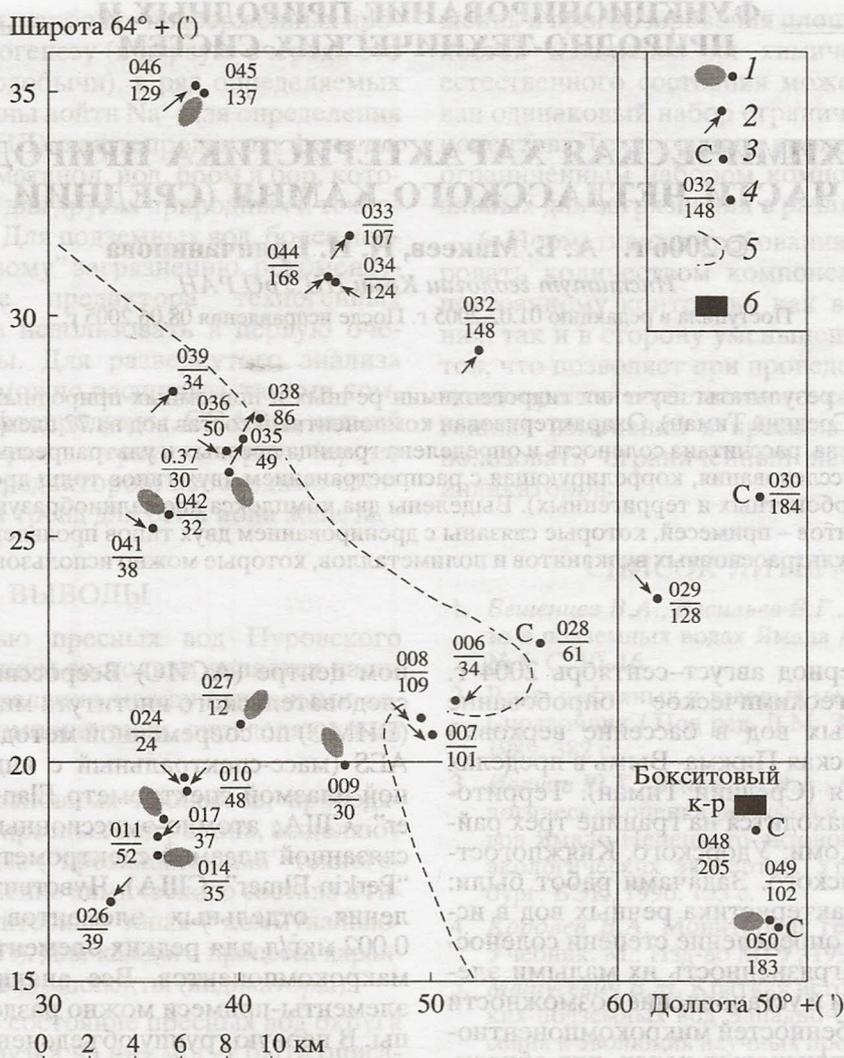


Рис. 1. Схема гидрогеохимического опробования южной части Четласского Камня. Условные обозначения: 1 – точки отбора проб выявленных аномалий и предполагаемая область дренирования, 2 – точки опробования рядовых проб и направление стока реки, 3 – точки опробования воды из скважин, 4 – номера проб и расчетная соленость вод, 5 – предполагаемая граница распространения ультрапресных и пресных вод, 6 – положение бокситового рудника.

La до Lu. Оставшиеся двадцать крайне слабо растворимых в воде элементов-примесей объединены в третью группу. Они в силу своих особенностей и низкого предела обнаружения обычно данным видом анализа не фиксируются вообще. В эту третью группу элементов-примесей вошли редкие, трудно растворимые и благородные металлы: Sc, Cr, Ga, Ge, Nb, Ta, In, Sn, Rh, Pd, Ru, Pt, Os, Ir, Au, Te, Re, Se, Hf, Hg.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Расчетная соленость природных вод в исследуемом районе варьирует от 12 до 205 мг/л (см. табл. 1). По этому признаку речные воды можно разделить на две группы – ультрапресные с соленостью менее 60 мг/л, которые характерны для гор-

ных рек; и обычные пресные с несколько большей соленостью, в нашем случае 60–205 мг/л, которые характеризуют межгорные депрессии и равнинные реки. На схеме (см. рис. 1) рядом с номерами точек опробования приведены цифры общей солености вод. Оказалось, что ультрапресные воды характерны для рек западной части района исследования, для холмистой возвышенности собственно Четласского Камня. Здесь под небольшим 1–2-метровым чехлом рыхлых четвертичных отложений залегают древние терригенные отложения позднего протерозоя: глинистые сланцы, аргиллиты, песчаники и кварциты четлаской серии, которые обнажаются по берегам рек и в промоинах [1, 2, 7, 9]. В северном и северо-западном секторах района исследования к поверхности близко подходят карбонатные отло-

Таблица 1. Макрокомпонентный состав (мкг/л) и соленость (мг/л) природных вод Четласского Камня

Элементы	006	007	008	009	010	011	014	017	024	026	027	028	029	030	032
Na	1400	2500	2800	1200	1500	1700	1100	1000	880	1200	810	1100	1200	1800	1300
Mg	780	4500	4700	720	2200	2400	1000	970	430	1600	290	3700	10000	11000	11000
Al	22	4.6	4.5	60	15	10	140	130	80	39	160	1.0	27	1.0	4.1
Si	4100	5100	5200	3600	3300	3400	3300	3200	3200	2700	860	5500	3000	3600	2600
S	620	1000	950	270	400	540	700	470	310	390	110	2900	760	1300	890
K	310	540	550	280	510	450	310	450	320	620	230	1500	470	750	500
Ca	2500	17000	19000	2100	6400	7300	3200	4300	1400	4900	870	2800	22000	37000	28000
Mn	3.3	5.8	13	28	5.9	5.0	31	20	2.4	6.0	280	1.4	7.0	0.2	5.6
Fe	110	100	130	360	240	140	590	360	41	330	610	5	160	5	46
Sr	11	45	49	11	19	22	20	13	7.0	17	5.2	18	34	92	35
Сол, мг/л	34	101	109	30	48	52	35	37	24	39	12	61	128	184	149
Элементы	033	034	035	036	037	038	039	041	042	044	045	046	048	049	050
Na	1400	1300	1500	1500	1000	2100	1400	1100	1200	930	1500	1200	1000	1400	5825
Mg	6300	7900	1800	1800	730	5400	920	850	460	15000	8500	7800	20000	8000	20118
Al	5.3	11	23	12	87	9.8	36	58	200	1.0	1.0	5.2	1.0	100	1.0
Si	3200	2800	4000	4100	3000	3700	4500	3700	4400	2800	3000	2500	3700	3100	3844
S	850	760	700	1200	450	1500	610	330	610	840	830	770	1000	700	2725
K	430	470	500	520	360	820	690	240	300	550	420	630	260	630	564
Ca	20000	24000	5900	5800	2600	13000	1700	4400	1500	29000	27000	26000	33000	16000	24053
Mn	4.4	8.2	23	12	100	3.4	2.2	37	31	3.5	3.5	8.5	0.77	16	0.2
Fe	48	73	200	97	520	12	34	160	150	5	12	110	17	240	5
Sr	29	30	18	15	11	43	10	11	11	48	44	33	18	32	140
Сол, мг/л	107	124	49	50	30	86	34	38	32	168	137	129	205	102	183

Примечание. Пробы 006–009 – верховья р. Мезень, 010–027 – р. Косью, 028 – скважина № 3 ОАО “Геолог-1”, 029, 049 – р. Воряквя, 030 – скважина пос. Тиман, 032 – р. Павьюга, 033–044 – р. Бобровая, 045 – р. Нижний Паун, 046 – р. Светлая, 048 – скважина пос. ОАО “Бокситы Тимана”, 050 – параметрическая скважина ОАО “Геолог-1”.

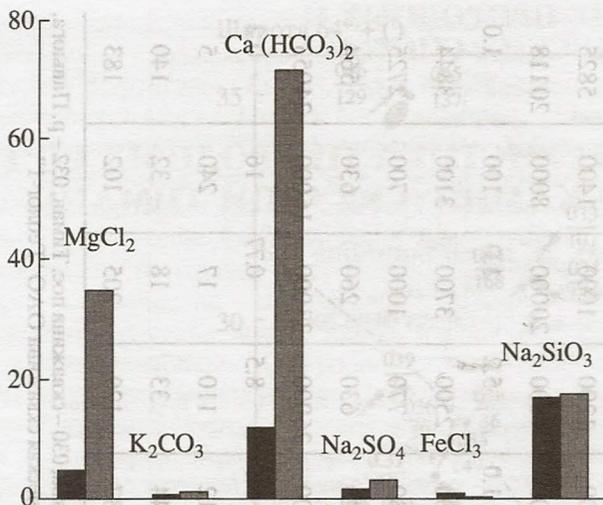


Рис. 2. Диаграмма средних содержаний “макрокомпонентов” в пресных (серая заливка) и ультрапресных водах (чёрная заливка) Четласского Камня.

жения ворыквинской свиты (известняки и доломиты), поэтому речные воды здесь характеризуются большей солёностью и повышенным содержанием кальция и магния, причем кальция всегда больше, чем магния. Но все же воды относятся к гидрокарбонатно-кальциевым (рис. 2, табл. 2). В северном и северо-западном секторах района исследования Са в виде гидрокарбоната является основным компонентом солёности вод, дренирующих карбонатные отложения. Растворимые же соединения кремния – главные компоненты ультрапресных вод западного сектора (возвышенной части Четласского Камня), оказались характерными для вод, дренирующих терригенные отложения. Во всех водах содержание натрия всегда

Таблица 2. Средний компонентный состав пресных ($n = 15$) и ультрапресных ($n = 15$) вод Четласского Камня

Компоненты	Концентрация			
	мг/л	%	мг/л	%
MgCl ₂	37.63	28.61	4.43	12.22
K ₂ CO ₃	1.07	0.81	0.72	1.98
Ca(HCO ₃) ₂	71.59	54.44	11.63	32.07
Na ₂ SO ₄	3.25	2.47	1.41	3.88
SrCO ₃	0.08	0.06	0.02	0.06
MnCO ₃	0.01	0.01	0.08	0.23
FeCl ₃	0.19	0.14	0.76	2.11
Na ₂ SiO ₃	17.63	13.41	16.88	46.56
AlPO ₄	0.05	0.04	0.32	0.89
Sum	131.50	100.00	36.26	100.00
Воды	Пресные		Ультрапресные	

превалирует над содержанием калия. Из макрокомпонентов характерными аномалииобразующими являются Al, Mn, Fe, Sr. Содержание этих компонентов в разных пробах варьирует в сотни раз и резко уменьшается при смешении вод в гидросети, что связано с флокуляцией коллоидных частиц оксидов и гидроксидов.

Вредных примесей тяжелых металлов, которые могли бы быть индикаторами загрязнения окружающей среды, в районе не обнаружено. Не обнаружено и загрязняющего влияния в близлежащих реках деятельности бокситового карьера. Уже на расстоянии 6 км от бокситового рудника вниз по течению в воде р. Ворыква нет взвесей бокситов, а макро- и микрокомпонентный состав воды соответствует предельно допустимым нормам ПДК. Такую же оценку дают и гидрогеологи ЗАО МЕРЕКО, осуществляющие мониторинг окружающей среды вблизи рудника. Именно такую окружающую среду необходимо оставить потомкам, а данные по макро- и микрокомпонентному составу природной речной воды можно принять как эталон для сравнения и мониторинга водных ресурсов Среднего Тимана в дальнейшем по мере развития промышленного освоения района бокситовых месторождений. Плановое освоение и разработка бокситовых залежей Среднего Тимана предусматривает наращивание темпов добычи и быстрое продвижение карьера на север и северо-запад. Надо сказать, что вода, отбираемая из скважины на бокситовом руднике для питьевых и технических целей, оказалась не самая лучшая на вкус и наиболее жесткая (205 мг/л) из всех изученных проб.

Очень интересными оказались результаты исследования микрокомпонентного состава природных вод Четласского Камня на редкие и редкоземельные элементы. Надо сказать, что современная высокочувствительная методика ICP-MS и ICP-AES определения микрокомпонентного состава вод применена нами впервые в западном, северо-западном и северном секторах района бокситового месторождения. Результаты оказались несколько неожиданными. С помощью корреляционного анализа выявлено два комплекса компонентов с аномально высоким содержанием редких элементов (заметно отличающихся от фонового содержания), которые могут быть индикаторами двух типов полезных ископаемых (табл. 3). В первый комплекс вошли следующие элементы: Al, Mn, Fe, Co, Y, Zr, Th и все четырнадцать редкоземельных (от La до Lu) – всего 21. Во второй комплекс – другие 11 элементов: Be, Co, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sb, Tl, Pb, U. Повторяется в обоих комплексах только присутствие кобальта.

Концентрация всех этих элементов в десятки и сотни раз превышает их фоновые содержания в рядовых пробах. Интересно отметить, что ано-

Таблица 3. Содержания 36 информативных индикаторных элементов-примесей (мкг/л) в аномальных пробах воды Челасского Камня

Элемент	Номера проб									
	009	014	017	027	037	042	049	045	029	048
Be	0.013	0.016	0.013	0.022	0.010	0.033	0.010	0.270	0.010	0.010
Al	60	140	130	160	87	200	100	1.0	27	1.0
V	0.06	0.06	0.10	0.06	0.06	0.29	0.35	0.28	0.20	0.42
Mn	28	31	20	280	100	31	16	3.5	7.0	0.77
Fe	360	590	360	610	520	150	240	12	160	17
Co	0.050	0.190	0.068	1.400	0.150	0.140	0.130	0.210	0.050	0.100
Ni	1.0	1.0	1.0	1.0	2.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Cu	0.83	0.83	0.33	0.56	0.81	0.51	0.55	13.0	0.53	0.10
Zn	1.0	1.0	1.0	8.3	4.6	3.3	7.0	12.0	1.0	1.0
As	0.23	0.25	0.15	0.34	0.20	0.04	0.04	0.23	0.04	0.04
Rb	0.28	0.38	0.33	1.20	0.51	0.71	0.89	0.63	0.44	0.18
Sr	11	20	13	5.2	11	11	32	44	34	18
Y	0.300	0.590	0.490	0.200	0.240	0.430	0.220	0.012	0.075	0.029
Zr	0.087	0.130	0.130	0.089	0.094	0.200	0.089	0.010	0.010	0.010
Mo	0.08	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.35	0.04	0.04
Cd	0.033	0.005	0.005	0.041	0.048	0.031	0.019	0.230	0.005	0.005
Sb	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.39	0.05	0.05
Ba	8.2	8.8	8.3	7.8	4.8	8.0	6.5	4.9	2.3	0.86
La	0.210	0.280	0.290	0.140	0.150	0.250	0.130	0.005	0.041	0.005
Ce	0.300	0.720	0.520	0.590	0.310	0.710	0.270	0.003	0.120	0.003
Pr	0.074	0.130	0.110	0.059	0.059	0.098	0.043	0.002	0.013	0.002
Nd	0.320	0.560	0.490	0.260	0.260	0.450	0.210	0.004	0.078	0.004
Sm	0.079	0.160	0.130	0.066	0.068	0.120	0.054	0.003	0.018	0.003
Eu	0.018	0.046	0.026	0.011	0.013	0.026	0.010	0.003	0.003	0.003
Gd	0.085	0.180	0.130	0.057	0.069	0.120	0.057	0.003	0.019	0.003
Tb	0.012	0.026	0.018	0.009	0.008	0.017	0.003	0.003	0.003	0.003
Dy	0.054	0.110	0.087	0.010	0.047	0.086	0.010	0.010	0.010	0.010
Ho	0.010	0.023	0.019	0.006	0.009	0.015	0.007	0.003	0.003	0.003
Er	0.034	0.070	0.057	0.020	0.030	0.053	0.019	0.003	0.003	0.003
Tm	0.002	0.009	0.008	0.002	0.002	0.007	0.002	0.002	0.002	0.002
Yb	0.038	0.069	0.050	0.019	0.025	0.048	0.019	0.002	0.002	0.002
Lu	0.006	0.013	0.007	0.002	0.002	0.008	0.002	0.002	0.002	0.002
Tl	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.240	0.005	0.005
Pb	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.92	0.20	0.20
Th	0.017	0.023	0.022	0.021	0.023	0.054	0.020	0.003	0.003	0.003
U	0.002	0.016	0.016	0.002	0.038	0.011	0.110	0.240	0.180	0.120
Сол. мг/л	30	35	37	12	30	32	102	137	128	205

Примечание. Жирным шрифтом выделены аномально-высокие содержания элементов-примесей в двух типах аномальных объектов по сравнению с фоном. В качестве объектов сравнения приведены пробы 028 в верховьях р. Ворыквы и 048 из скважины с питьевой водой в жилом поселке на Вежа-Ворыквинском месторождении бокситов.

мально высокие содержания компонентов быстро исчезают, разубоживаются вниз по течению реки. Примерно через 1 км уже нет никаких следов водной аномалии. Очевидно, эти два комплекса элементов-примесей могут быть успешно использованы в качестве поисковых индикаторов на определенный тип месторождений. Никак в водных аномалиях не проявилось Бобровское проявление редкометалльных (ксенотим-торитовых) руд [10], хотя р. Бобровая специально была опробована в нескольких местах для того, чтобы получить эталонную пробу с набором аномально высоких содержаний характерных элементов-примесей. Концентрация ни одного из элементов не превышает ПДК.

Вопрос о содержании редких земель (РЗЭ) в ультраосновных вулканитах, в окружающих их метасоматитах, карбонатитах, а также их сопоставление с вмещающими осадочными породами был предметом нашего специального исследования. Для этого в ГЕОХИ РАН проведен нейтронно-активационный анализ пород на РЗЭ и некоторые другие компоненты. Установлено повышенное содержание РЗЭ в лампрофирах и кимберлитах, а также в окружающих их метасоматитах в сумме от 92 до 465 г/т, среднее содержание суммы РЗЭ в трех группах пород примерно одинаковое – 260 г/т. С помощью микронзондового анализа установлены минеральные формы нахождения редких земель в этих породах. Во всех этих породах найдены микровыделения (1–15 мкм) собственных минералов РЗЭ (монацита, ксенотима, карбоната РЗЭ). Установлено высокое содержание РЗЭ в акцессорном апатите. Во вмещающих глинистых сланцах, песчаниках, кварцитах, аргиллитах и базальтах содержание редких земель на один-два порядка меньше, а минералы-концентраты отсутствуют. Лампрофиры, кимберлиты и метасоматиты вокруг них содержат от 0.5 до 3% акцессорного фтор-apatита. Видимо, растворение именно этих фосфатных минералов создает повышенную концентрацию редких земель и фосфора в пресных водах. Аномальное содержание РЗЭ в природных водах района исследования в сумме составляет 2.0–2.4, фоновое – 0.10–0.12 мкг/л. Как видно, разница существенная – в 20 раз.

С помощью электронно-микронзондового анализа изучен минеральный и химический состав акцессорных сульфидов из вмещающих пород, ультраосновных вулканитов и метасоматитов. Во вмещающем осадочном комплексе в глинистых сланцах, так же как в песчаниках и аргиллитах, встречаются выделения пирита, халькопирита, мельниковита, пирротина, сфалерита и галенита. Пирит, халькопирит и пирротин из осадочных пород представлены довольно чистыми от примесей разновидностями.

Изучены сульфиды из метасоматитов вокруг лампрофировых и кимберлитовых тел, и только в этих зонах сульфидная минерализация значительно богаче по разнообразию, количеству и вещественному составу по сравнению с сульфидами из собственно вмещающих осадочных древних толщ. Следует отметить, что мощность метасоматитов значительно больше, чем мощность самих вулканических тел. В них присутствуют никелевый, кобальтовый, мышьяковый пирит, содержащий до 5% этих глубинных компонентов. Встречены никелевый халькопирит, миллерит, пентландит, кобальтовые разности пентландита, троилита и пирротина, сульфоарсениды (никелин и кобальтин), железистый сфалерит, галенит, блеклая руда, барит. Только в самих глубинных ультраосновных вулканитах и метасоматитах вокруг них присутствуют никелевые и кобальтовые сульфиды и минералы мышьяка. В этом метасоматически измененные породы вокруг лампрофировых даек и кимберлитовых тел на Среднем Тимане весьма похожи на минерализованные песчаники вокруг кимберлитовых трубок Зимнего берега Архангельской области [8]. Проходя через метасоматиты и вулканиты, пресные поверхностные воды обогащаются редкими, редкоземельными и глубинными элементами, поэтому они несут в себе ценную поисковую информацию.

Элементы-примеси второго комплекса по своему видовому составу (медь, цинк, свинец, кадмий и другие) соответствуют полиметаллическим рудам. Возможно, р. Нижний Паун, в которой взята данная проба воды, дренирует полиметаллическое проявление.

На Среднем Тимане (Четласском Камне) широко распространены гипабиссальные ультраосновные образования – трубки и жильные тела слюдяных пикритов, лампрофиров и кимберлитов, а также карбонатиты и редкометалльные проявления [1–3, 7–11]. Именно с ультраосновными вулканами и алмазоносными объектами, а также метасоматическими ореолами вокруг них [4–8], вероятно, связано аномально-высокое содержание комплекса индикаторных элементов лантаноидов и др. в воде первого типа. Наиболее хорошо известны эти объекты в бассейнах рек Косью и Бобровая, где обнаружены шесть водных аномалий, которые возможно указывают на близость коренных объектов (см. рис. 1). Седьмая аномалия первого типа с высоким содержанием редких земель неожиданно проявилась в р. Ворыкка (проба 049), южнее бокситового рудника, возможно, эта аномалия связана с метасоматитами пока не ясной природы. Все водные аномалии (см. табл. 3) первого типа весьма похожи друг на друга, хотя пробы воды разделены значительным расстоянием и относятся к трем разным водным бассейнам (Печорскому, Мезенскому, Вымскому). Скорее всего, это семь совершенно разных

объектов, и все они потребуют дальнейшей детализации работ и проверки другими методами, как для установления истинной природы аномалий, так и значимости объектов.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, с одной стороны, девственную чистоту природных вод Четласского Камня в месте формирования истоков трех речных бассейнов, которую необходимо как можно дольше сохранять. С другой стороны, выявлена высокая информативность гидрогеохимии природных вод как источника скрытой информации, которую можно умело использовать в поисковых целях. Выявлены два комплекса элементов примесей, которые могут быть использованы как эффективные индикаторы при поисках полиметаллических и алмазных месторождений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 04-05-64174.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костюхин М.Н., Степаненко В.И. Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона. Л.: Наука, 1987. 232 с.
2. Макеев А.Б., Дудар В.А. Минералогия алмазов Тимана. СПб.: Наука, 2001. 336 с.
3. Малахов И.А., Любимцева Ю.П. Использование редкоземельных элементов для определения генетической принадлежности кимберлитов и пикритов Тимана и Урала // Тез. Всес. симп. "Формационное расчленение, генезис и металлогения ультрабазитов". Хромтау, 1985. С. 152–155.
4. Малов А.И. Взаимодействие вода–порода в ходе геологической эволюции месторождений алмазов им. М.В. Ломоносова // Геоэкология. 2000. № 1. С. 18–27.
5. Малов А.И. Магний в рассолах Северо-Двинского артезианского бассейна, как индикатор кимберлитового магматизма // Докл. РАН. 2001. Т. 377. № 1. С. 82–85.
6. Малов А.И. Подземные воды Юго-Восточного Беломорья: формирование, роль в геологических процессах. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 235 с.
7. Оловянишников В.Г. Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 164 с.
8. Соболев В.К., Макеев А.Б., Кисель С.И., Брянчинова Н.И., Филиппов В.Н. Новые индикаторные признаки пород, вмещающих кимберлиты. Сыктывкар: Геопринт, 2003. 60 с.
9. Черный В.Г., Черная И.П., Смирнов В.С. Основные черты металлогении Тимана // Геология и полезные ископаемые Северо-Востока европейской части СССР и Севера Урала. Тр. VI Геологической конференции Коми АССР. Сыктывкар, 1965. С. 491–497.
10. Черный В.Г. Генетические типы редкометалльных руд, связанных с ультраосновной-щелочной магматической формацией на Тимане // Метасоматизм и рудообразование. Л.: Наука, 1972. С. 205–206.
11. Францессон Б.В., Черная И.П. Кимберлиты Среднего Тимана // Методы крупномасштабного прогноза месторождений алмазов. М.: Тр. ЦНИГРИ, 1983. Вып. 182. С. 53–63.