

УДК 556.5:544.3.03(98)

С. И. Мазухина, В. А. Маслобоев, С. С. Сандимиров,
В. И. Пожиленко, С. В. Иванов

Формирование химического состава поверхностных вод в Арктике на примере озера Инари и реки Паз

Вопросы изучения формирования качества поверхностных и подземных вод, их взаимодействия с горными породами, разработка основ их рационального использования и охраны имеют большое фундаментальное и прикладное значение. Проведена оценка влияния состава горных пород северной части Фенноскандинавского (Балтийского) щита на формирование химического состава поверхностных вод в приграничном районе Финляндии – России – Норвегии (оз. Инари, р. Паз) с помощью физико-химического моделирования (ПК "Селектор"). Для физико-химического моделирования были сделаны две выборки химических анализов наиболее распространенных пород, слагающих площадь водосбора, с учетом их процентного соотношения. Поскольку область водосбора преобладающего большинства водотоков, питающих озеро Инари, сложена породами Лапландского гранулитового пояса (ЛГП) и его обрамления, то это будет главная выборка (условное влияние их состава на химический состав вод около 80 %). Ко второй выборке относятся гнейсы, мигматиты, гранитогнейсы, граниты и кварцевые диориты, характерные для террейна Инари (условное влияние их состава на химический состав вод около 20 %). Установлено, что формирование химического состава поверхностных вод происходит в результате взаимодействия атмосферных осадков с интрузивными, метаморфическими и осадочными породами северной Фенноскандии, содержащими кларковые концентрации S, C, F, Zn, Ni, Pb, Cu. Показано, что в результате взаимодействия в системе вода – порода химический состав вод оз. Инари, а также верхнего и среднего течения р. Паз сформирован в результате выветривания гранулитов Лапландского гранулитового пояса и гранитоидов террейна Инари района северной Фенноскандии. Химический состав вод р. Паз в нижнем течении формируется в результате выветривания метаморфизованных вулканогенно-осадочных пород Печенгской структуры и влияния промышленных загрязнений.

Ключевые слова: поверхностные воды, физико-химическая модель, террейн Инари, Лапландский гранулитовый пояс.

Введение

В связи с истощением запасов пресных вод и ухудшением их качества в результате антропогенного воздействия на экосистемы Арктики вопросы изучения формирования качества поверхностных и подземных вод, их взаимодействия с горными породами, разработка основ их рационального использования и охраны имеют большое фундаментальное и прикладное значение.

Цель работы – оценить влияние химического состава пород северной части Фенноскандинавского (Балтийского) щита на формирование химического состава поверхностных вод (оз. Инари, р. Паз) с помощью физико-химического моделирования [1] (ПК "Селектор").

Материалы и методы

В работе использованы опубликованные источники, а также материалы отчетов, выполнявшихся в рамках научно-исследовательских программ. Основным методом исследования является метод физико-химического (термодинамического) моделирования, реализованный в программном комплексе (ПК) "Селектор", разработанном под руководством профессора И. К. Карпова (Институт геохимии им. Виноградова СО РАН, г. Иркутск). ПК "Селектор" снабжен системой встроенных баз термодинамических данных и модулем формирования моделей различной сложности. Используемый алгоритм [1] позволяет производить расчеты сложных химических равновесий в изобарно-изотермических, изохорических и адиабатических условиях в мультисистемах, где одновременно могут присутствовать водный раствор электролита, газовая смесь, жидкие и твердые углеводороды, минералы в виде твердых растворов и однокомпонентных фаз, расплавы и плазма. С помощью ПК можно исследовать как многокомпонентные гетерогенные системы, так и мегасистемы, состоящие из взаимодействующих систем (резервуаров), связанных между собой и окружающей средой потоками вещества и энергии. В настоящей работе ПК используется для моделирования в системе вода – порода.

Геологическое положение

Река Паз (Патсойоки) является крупнейшей рекой Северной Фенноскандии и протекает по территории трех государств – Финляндии, России и Норвегии. Она берет свое начало от озера Инари, в которое впадает большое количество ручьев и речек, стекающих с горного массива северной Финляндии (возвышенность Маанселькя). Наиболее значительные из них – р. Камасйоки с притоком Киелайоки, р. Васкойоки, р. Лемменйоки, р. Ивалойоки с притоками Репойоки и Толосйоки (рис. 1).

В пределах водосбора притоков, питающих оз. Инари и р. Паз в ее верхнем течении, расположены в основном разнообразные раннедокембрийские метаморфические и интрузивные породы Лапландского гранулитового пояса и его обрамления, и в меньшей степени – разнообразные гнейсы и мигматиты с реликтами амфиболитов, гранитогнейсы, плагио- и плагиомикроклиновые граниты и кварцевые диориты террейна Инари (рис. 2) [2–4].

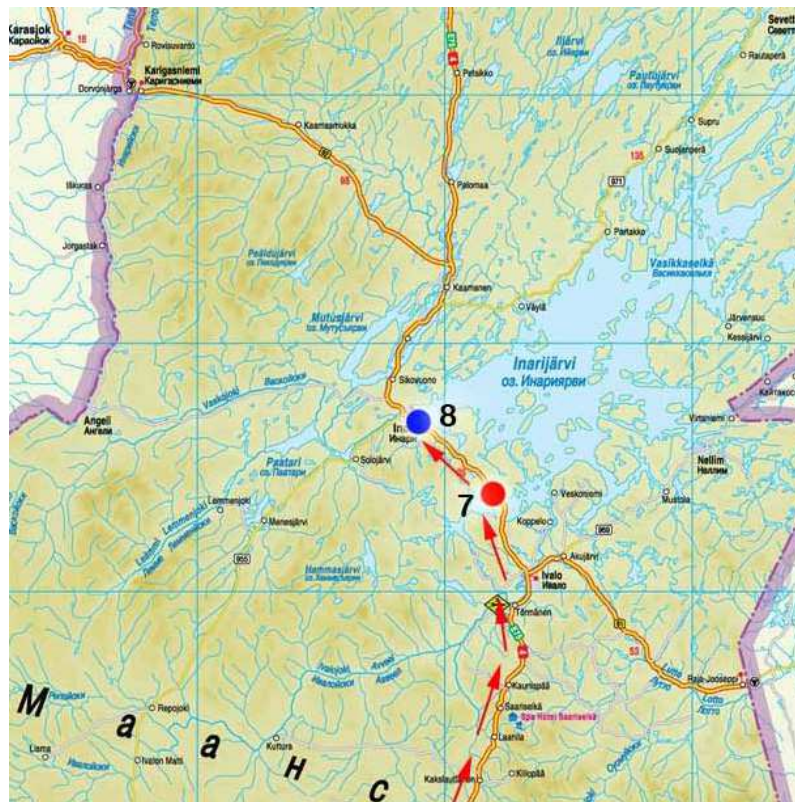


Рис. 1. Схематическая карта района оз. Инари (<http://i57.photobucket.com>)
Fig. 1. A schematic map of the Lake Inari area

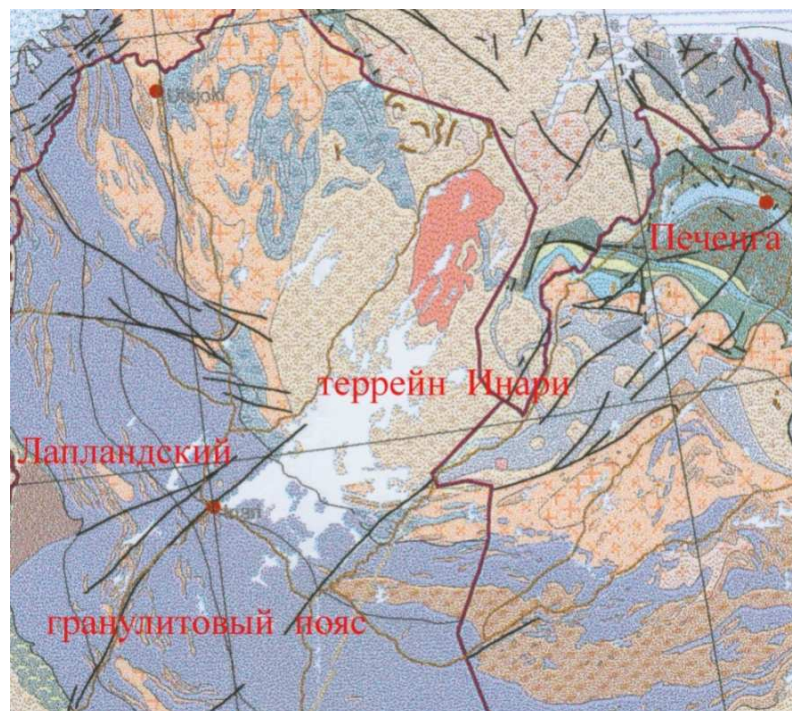


Рис. 2. Фрагмент геологической карты района оз. Инари [2]
Fig. 2. A fragment of the geological map of the Lake Inari area

Кристаллические породы почти везде перекрыты рыхлыми четвертичными образованиями разной мощности (от десятков сантиметров до десятков и более метров). Это частично переотложенные (перемещенные) продукты физического выветривания кристаллических пород, а также разнообразные гляциальные, флювиогляциальные и межстадиальные (межледниковые), болотные, озерные и др. образования. Поверхностные (атмосферные) и трещинные воды в той или иной мере и в разной продолжительности по времени соприкасаются с вышеперечисленными кристаллическими и рыхлыми образованиями. Учесть влияние химического состава рыхлых образований на состав вод практически невозможно, тем более что такие данные отсутствуют. Этим влиянием можно условно пренебречь, если исходить из положения, что средний состав переотложенных дезинтегрированных и рыхлых образований будет соответствовать усредненному составу кристаллических пород региона, за счет разрушения которых они образовались. Поэтому в дальнейших исследованиях учитывается химический состав только кристаллических пород, распространенных в области водосбора речных систем, питающих оз. Инари.

Для физико-химического моделирования были сделаны две выборки химических анализов наиболее распространенных пород, слагающих площадь водосбора, с учетом их процентного соотношения. Поскольку область водосбора преобладающего большинства водотоков, питающих оз. Инари, сложена породами Лапландского гранулитового пояса (ЛГП) и его обрамления, то это будет главная выборка (условное влияние их состава на химический состав вод около 80 %). В эту выборку входят пироксен-, кордиерит-, силлиманит-, биотит-, гранатсодержащие гранулиты основного, среднего и кислого состава, при преобладании последних (табл. 1) [5].

Таблица 1. Химический состав гранулитов Лапландского гранулитового пояса
Table 1. Chemical composition of the granulites of the Lapland granulite belt

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
SiO ₂	48,39	48,73	51,60	52,03	59,21	76,85	62,38	52,11	58,10	
TiO ₂	2,08	3,70	0,37	2,27	2,01	0,33	0,64	0,77	0,35	
Al ₂ O ₃	12,88	11,78	16,59	16,39	17,51	12,96	17,66	18,08	21,22	
Fe ₂ O ₃	2,83	5,67	0,50	0,82	1,93	—	1,50	1,04	0,91	
FeO	11,63	11,32	6,37	9,13	4,49	1,22	3,71	9,19	6,83	
MnO	0,33	0,28	0,08	0,17	0,06	0,03	0,32	0,07	0,11	
MgO	6,85	4,61	14,42	7,04	3,81	0,11	3,27	8,37	2,43	
CaO	11,84	9,13	8,03	8,78	5,87	3,32	4,52	5,20	7,05	
Na ₂ O	2,09	3,33	1,32	2,14	3,26	3,60	3,46	2,93	2,38	
K ₂ O	0,45	0,77	0,48	1,21	1,86	1,08	1,58	1,63	0,90	
P ₂ O ₅	0,17	0,13	0,00	0,06	0,05	0,09	0,43	—	0,04	
S	—	0,21	0,12	0,04	0,15	—	—	—	0,11	
H ₂ O ⁺	0,59	0,28	0,30	0,30	0,30	0,27	0,30	0,38	0,34	
H ₂ O ⁻	0,06	0,06	0,04	0,05	0,06	0,09	0,06	0,04	0,08	
Σ	100,19	100,00	100,22	100,43	100,54	99,86	99,83	99,81	100,84	
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO ₂	49,83	59,50	72,52	72,70	68,01	78,75	73,98	76,13	80,67	85,46
TiO ₂	1,39	0,20	2,01	след	1,39	0,23	след	0,21	0,42	0,63
Al ₂ O ₃	18,35	16,90	12,58	16,20	16,25	12,20	14,93	11,32	10,17	6,44
Fe ₂ O ₃	2,88	3,30	0,04	—	1,46	0,49	0,26	0,64	0,74	0,64
FeO	16,78	9,90	5,05	1,36	3,32	0,46	0,34	3,07	1,93	2,51
MnO	0,25	0,20	0,04	0,02	0,07	след	0,00	след	след	0,03
MgO	6,86	4,20	2,02	0,05	1,55	0,02	0,36	1,86	1,14	0,78
CaO	1,32	1,90	1,24	1,54	3,36	0,48	1,92	1,33	0,93	1,10
Na ₂ O	1,09	1,40	1,94	3,18	2,89	3,65	3,14	2,16	1,47	1,60
K ₂ O	1,09	1,80	2,30	5,19	2,04	3,89	5,07	3,51	2,41	1,02
P ₂ O ₅	след	—	0,00	—	0,00	0,00	0,00	след	след	0,04
S	—	0,20	—	0,04	0,09	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁺	0,80	0,25	0,23	0,15	0,18	0,20	0,10	0,45	0,15	0,24
H ₂ O ⁻	0,05	0,05	0,04	0,02	0,09	0,08	0,01	0,05	0,05	0,04
Σ	100,69	99,80	100,00	100,45	100,70	100,45	100,11	100,73	100,08	100,53

Ко второй выборке относятся гнейсы, мигматиты, гранитогнейсы, граниты и кварцевые диориты (табл. 2) [4], характерные для террейна Инари (условное влияние их состава на химический состав вод около 20 %).

Река Паз (Патсойоки) на всем протяжении соответствует природному для вод Кольского Севера порядку распределения главных ионов: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$; $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ и относится к классу гидрокарбонатов [6–8]. Формирование химического состава вод связано с выветриванием горных пород, которое в условиях земной поверхности обусловлено климатом, литологией, рельефом, временем, циклами смачивания и высыхания, деятельностью человека. Но все эти факторы могут быть описаны основными термодинамическими параметрами: температурой, давлением, химическим и минеральным составом пород и временем взаимодействия воды с породой.

Таблица 2. Химический состав пород террейна Инари
Table 2. Chemical composition of the rocks of Inari terrane

	1	2	3	4	5
SiO ₂	68,64	73,67	64,62	67,37	74,47
TiO ₂	0,58	0,16	0,39	0,74	0,23
Al ₂ O ₃	15,42	13,92	14,15	13,37	13,18
Fe ₂ O ₃	0,75	0,51	2,22	1,31	1,24
FeO	3,28	1,00	4,70	2,85	1,28
MnO	0,04	0,04	0,11	0,08	0,05
MgO	2,15	0,26	2,93	1,95	0,41
CaO	1,56	1,19	6,07	6,78	2,40
Na ₂ O	3,34	3,44	3,18	4,03	4,16
K ₂ O	2,43	5,01	0,68	0,30	1,82
P ₂ O ₅	0,08	0,04	0,11	0,22	0,04
CO ₂	0,00	0,00	0,04	–	–
H ₂ O ⁺	1,42	0,48	0,44	–	–
H ₂ O ⁻	0,12	0,03	0,06	–	–
H ₂ O + CO ₂	–	–	–	0,94	–
Σ	99,81	99,75	99,70	99,94	99,28

Примечание: 1 – биотитовый гнейс; 2 – плагио-микроклиновые граниты; 3 – кварцевые диориты; 4 – амфиболовый гнейс; 5 – кварц-полевошпатовые гнейсы (средний состав по 11 анализам).

Результаты и обсуждение

На основании разработанных ранее методик [9], данных мониторинга химического состава поверхностных вод и исследования химического состава пород было проведено физико-химическое моделирование (ФХМ) (ПК "Селектор"). В ФХМ включено 34 независимых компонента (Al-B-Br-Ar-He-Ne-C-Ca-Cl-F-Fe-K-Mg-Mn-N-Na-P-S-Si-Sr-Cu-Zn-Ni-Pb-V-Ba-Co-Cr-Hg-As-Cd-H-O-e), 996 зависимых компонента, в том числе в водном растворе – 369, в газовой фазе – 76, жидких углеводородов – 111, твердых фаз, органических и минеральных веществ – 440. Набор твердых фаз мультисистемы сформирован с учетом минерального состава кристаллических пород Фенноскандинавского (Балтийского) щита.

Изучены процессы формирования поверхностных вод в системе вода – порода – атмосфера, в зависимости от степени взаимодействия (ξ) пород с водными растворами в открытых условиях – 100 кг атмосферы, 1 000 кг воды, $T = 5^\circ\text{C}$, $P = 1$ бар, порода (100 г) – средний состав: 1) породы террейна Инари, 2) гранулиты Лапландского гранулитового пояса; учитывались кларковые концентрации S, C, F, Zn, Ni, Pb, Cu [10] с целью определения их влияния на процессы формирования химического состава водных растворов, коэффициенты водной миграции [11].

Таблица 3. Компьютерный аналог состава поверхностных вод и новообразованных фаз в результате взаимодействия "вода – порода – атмосфера" ($T = 5^\circ\text{C}$, $P = 1$ бар) (террейн Инари)

Table 3. Computer analogue of surface waters' composition and newly formed phases due to the interaction of "water – rock – atmosphere" ($T = 5^\circ\text{C}$, $P = 1$ bar) (Inari terrane)

KSI	Al _{общ}	Ca ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺²	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
Состав поверхностных вод, мг/л							
1	1,21E-05	0,25713	0,17001	0,18375	0,10983	0,2393	0,12
0,8	1,11E-05	0,40738	0,2682	0,29153	0,174	0,37893	0,19019
0,6	1,13E-05	0,61701	0,2903	0,4957	0,27561	0,5998	0,30142
0,4	1,26E-05	0,95834	0,27787	0,83114	0,4364	0,94869	0,47772
0,2	1,55E-05	1,513	0,25892	1,3625	0,69057	1,4986	0,75712
0	2,09E-05	2,3918	0,23182	2,2039	1,0918	2,3629	1,1999

	HCO ₃ ⁻	Sr ⁺²	Cu ⁺²	Zn ⁺²	P _{общ}	Ni ⁺²	pH
1	1,5487	0,004499	0,000197	0,000595	0,007735	7,96E-05	6,65
0,8	2,4375	0,007129	0,000307	0,00094	0,01226	0,000126	6,85
0,6	3,6873	0,011296	0,000477	0,00148	0,006286	0,000201	7,04
0,4	5,6436	0,017897	0,000722	0,002323	0,001253	0,000318	7,24
0,2	8,7626	0,028349	0,001032	0,003616	0,000259	0,000504	7,45
0	13,694	0,044889	0,001298	0,005553	4,83E-05	0,000799	7,69
Минеральный состав новообразованных фаз, моль							
	MnO ₂	FeO(OH)	Msc	Apt	Mnt	SiO ₂	
1	9,51E-05	0,00516	0	0	0,011793	0,00538	
0,8	0,000151	0,008178	3,2E-05	0	0,018649	0,046849	
0,6	0,000239	0,012961	0,003497	0,000141	0,025119	0,11851	
0,4	0,000379	0,020542	0,010204	0,000318	0,03381	0,23412	
0,2	0,0006	0,032557	0,020814	0,000522	0,047609	0,41703	
0	0,000952	0,051599	0,037554	0,000832	0,069576	0,70738	

Таблица 4. Компьютерный аналог состава поверхностных вод и новообразованных фаз в результате взаимодействия "вода – порода – атмосфера" при T = 5 °C, P = 1 бар (гранулиты Лапландского гранулитового пояса)

Table 4. Computer analogue of surface waters' composition and the newly formed phases due to the interaction of "water – rock – atmosphere" in T = 5 °C, P = 1 bar (granulites of the Lapland granulite belt)

KSI	Al	Ca ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺²	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
Состав поверхностных вод, мг/л							
1	1,38E-05	0,30688	0,25157	0,10925	0,12992	0,35287	0,16
0,8	1,13E-05	0,48617	0,26938	0,20545	0,20581	0,55869	0,25358
0,6	1,11E-05	0,72093	0,27049	0,36469	0,32595	0,88419	0,40189
0,4	1,22E-05	1,1196	0,26077	0,61993	0,516	1,398	0,63695
0,2	1,49E-05	1,7671	0,24251	1,0251	0,81628	2,2073	1,0095
0	1,98E-05	2,7923	0,22009	1,6656	1,2899	3,4774	1,5999
	HCO ₃ ⁻	Sr ⁺²	Cu ⁺²	Zn ⁺²	Pb	Ni ⁺²	pH
1	1,5205	0,004499	0,00056	0,000794	0,00019831	0,00095	6,64
0,8	2,2779	0,007129	0,000879	0,001254	0,00031521	0,001505	6,82
0,6	3,3812	0,011297	0,001366	0,001977	0,00050058	0,002386	6,99
0,4	5,1659	0,017899	0,002082	0,003105	0,00079457	0,003782	7,196
0,2	8,0145	0,028353	0,003027	0,004843	0,0012603	0,005993	7,41
0	12,523	0,044899	0,003937	0,007463	0,0019987	0,009499	7,64
Минеральный состав новообразованных фаз, моль							
KSI	MnO ₂	FeO(OH)	Msc	Apt	Mnt	SiO ₂	
1	0,000175	0,009422	0,00171		0,01028	2,13E-05	
0,8	0,000277	0,014933	0,006018		0,012034	0,041507	
0,6	0,00044	0,023668	0,013539	0,00024557	0,013921	0,11114	
0,4	0,000697	0,037511	0,025753	0,00049849	0,016533	0,22171	
0,2	0,001104	0,059451	0,045184	0,00081288	0,020578	0,39695	
0	0,00175	0,094224	0,075813	0,001293	0,027205	0,67492	

В табл. 5 представлены результаты моделирования химического состава вод верхнего (исток из оз. Инари) течения реки Паз.

Таблица 5. Аналитические данные и компьютерный аналог химического состава истока р. Паз из оз. Инари

Table 5. Analytical data and computer analogue of the chemical composition of the River Paz source from Lake Inari

Параметр	Анализ	Модель	Параметр	Анализ	Модель	Параметр	Анализ	Модель
T		25	K	0,38	3,80E-01	Si	0,00211	2,11E-03
P		1	K ⁺		3,80E-01	SiO ₂		1,57E-03
pH	7,06	7,0628	KCl		1,12E-07	HSiO ₃ ⁻		6,07E-06
Eh		0,799287	KHSO ₄		9,08E-14	H ₄ SiO ₄		4,71E-03

Al	0,0089	8,90E-03	KOH		2,32E-08	Sr	0,0185	1,85E-02
AlO ₂ ⁻		8,79E-03	KSO ₄ ⁻		2,48E-04	Sr ⁺²		1,84E-02
HAIO ₂		2,17E-03	Mg	1,05	1,05E+00	SrOH ⁺		1,27E-08
Al(OH) ⁺²		3,59E-06	Mg ⁺²		1,04E+00	SrCO ₃		2,21E-06
Al(OH) ₂ ⁺		1,33E-04	MgOH ⁺		4,26E-05	SrHCO ₃ ⁺		9,44E-05
Al(OH) ₃		1,99E-03	MgCO ₃		3,34E-04	SrCl ⁺		7,66E-07
Al(OH) ₄ ⁻		1,11E-02	Mg(HCO ₃) ⁺		7,16E-03	Zn	0,001	1,00E-03
AlSO ₄ ⁺		1,11E-10	MgCl ⁺		1,01E-04	Zn ⁺²		8,58E-04
Al(SO ₄) ₂ ⁻		2,69E-13	MgSO ₄		2,23E-02	ZnCl ⁺		1,09E-07
Al ⁺³		1,71E-08	MgHSiO ₃ ⁺		6,19E-09	ZnCl ₂		9,07E-12
Ca	2,65	2,65E+00	Mn	0,0017	1,70E-03	ZnCl ₃ ⁻		3,33E-16
Ca ⁺²		2,64E+00	Mn ⁺²		1,70E-03	ZnOH ⁺		1,79E-04
CaOH ⁺		6,37E-06	Mn ⁺³		1,86E-15	ZnO		1,65E-07
CaCO ₃		1,36E-03	MnOH ⁺		6,08E-07	HZnO ₂ ⁻		3,61E-10
Ca(HCO ₃) ⁺		1,33E-02	MnO		1,83E-11	Ni	0,0005	5,00E-04
CaHSiO ₃ ⁺		6,18E-09	MnSO ₄		9,68E-06	Ni ⁺²		5,00E-04
CaCl ⁺		1,35E-04	MnCl ⁺		1,07E-07	NiOH ⁺		1,16E-07
CaCl ₂		4,69E-09	CO ₃ ⁻²		6,02E-03	NiO		1,66E-10
CaSO ₄		2,88E-02	HCO ₃ ⁻	11,3	1,12E+01	HNiO ₂ ⁻		1,22E-13
Cu	0,0006	6,00E-04	HNO ₂		1,58E-08	PO ₄ ⁻³	0,001	2,38E-09
Cu ⁺		7,87E-15	NO ₂ ⁻		1,06E-04	H ₂ P ₂ O ₇ ⁻²		2,96E-14
Cu ⁺²		5,28E-04	HNO ₃		3,58E-11	H ₂ PO ₄ ⁻		5,90E-04
CuOH ⁺		9,11E-05	NO ₃ ⁻	0,011	1,10E-02	H ₃ PO ₄		7,59E-09
HCuO ₂ ⁻		3,45E-10	NH ₄ ⁺	0,043	4,30E-02	HPO ₄ ⁻²		4,27E-04
CuCl		1,45E-16	Na	1,42	1,42E+00	P ₂ O ₇ ⁻⁴		4,98E-16
CuCl ⁺		1,08E-07	Na ⁺		1,42E+00	HP ₂ O ₇ ⁻³		8,77E-14
CuCl ₂		6,49E-13	NaOH		1,80E-07	Ar		5,06E-01
Fe	0,0195	1,95E-02	NaAlO ₂		1,32E-07	HCl		3,35E-08
Fe ⁺²		2,97E-12	NaCl		3,24E-05	HClO		1,12E-16
FeSO ₄		1,76E-14	NaSO ₄ ⁻		9,18E-04	Cl ⁻	1,94	1,94E+00
Fe(OH) ₃		2,65E-03	NaHSiO ₃		3,31E-08	Pb	0,00034	3,40E-04
FeSO ₄ ⁺		7,39E-12	CO ₂		1,52	Pb ⁺²		4,03E-05
Fe(OH) ₄ ⁻		2,11E-04	N ₂		1,43E+01	PbCl ⁺		6,94E-08
Fe ⁺³		1,03E-11	O ₂		8,29	PbCl ₂		1,58E-11
FeOH ⁺²		9,57E-07	HSO ₄ ⁻		2,09E-05	PbCl ₃ ⁻		4,73E-16
FeOH ⁺		2,17E-14	SO ₄ ⁻²	2,58	2,54E+00	PbOH ⁺		3,24E-04
FeO ⁺		3,85E-03				PbO		7,28E-08
HFeO ₂		2,38E-02				HPbO ₂ ⁻		8,87E-12
FeO ₂ ⁻		6,69E-05						

Сопоставление результатов моделирования с результатами мониторинга истока р. Паз (табл. 3–5) свидетельствует, что химический состав вод оз. Инари, а также верхнего течения р. Паз сформирован в результате взаимодействия поверхностных, грунтовых и трещинных вод с гранулитами Лапландского гранулитового пояса, а также гнейсами, диоритами и гранитоидами террейна Инари района северной Фенноскандии.

Химический состав р. Паз в нижнем течении может меняться в результате антропогенного влияния и выветривания метаморфизованных вулканогенно-осадочных пород Печенгской структуры.

Заключение

В результате выполненного термодинамического моделирования установлено, что формирование химического состава поверхностных вод происходит в результате взаимодействия атмосферных осадков с интрузивными и осадочными породами северной Фенноскандии, содержащими кларковые концентрации S, C, F, Zn, Ni, Pb, Cu. Полученные модельные растворы свидетельствуют о том, что формирование поверхностных вод происходит в рамках рассматриваемой системы как результат взаимодействия "вода – порода – атмосфера".

Библиографический список

1. Чудненко К. В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. Новосибирск : Академ. изд-во "Гео", 2010. 287 с.
2. Geological map of the Fennoscandian Shield, scale 1:2000000. Main compilers and bibliographic reference: E. Koistinen, M. B. Stephens, V. Bogatchev, Ø. Nordgulen, M. Wennerström, J. Korhonen. Finland, 2001.
3. Hörmann P. K., Raith M., Raase P. et al. The granulite complex of Finnish Lapland: petrology and metamorphic conditions in the Ivalojoiki – Inarijärvi area // Geol. Surv. Finl. Bull. 1980. N 308. 95 p.
4. Meriläinen K. The granulite complex and adjacent rocks in Lapland, northern Finland // Geol. Surv. Finl. Bull. 1976. N 281. 129 p.
5. Eskola P. On the granulites of Lapland // Am. J. Sci. 1952. Bowen Volume. P. 133–171.
6. Сандимиров С. С. Современное гидрохимическое состояние озерно-речной системы реки Пасвик (Кольский полуостров) // Труды Кольского научного центра РАН. Сер. Прикладная экология Севера. Апатиты : КНЦ РАН, 2012. Вып. 1. С. 87–97.
7. Ylikörkkö J., Zueva M., Kashulin N., Kashulina T., Sandimirov S., Christensen G., Jelkänen E. Pasvik Water Quality Report until 2013. Environmental Monitoring Programme in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area. Report 96/2014. Juvenes Print : Rovaniemi, 2014. 43 p.
8. Puro-Tahvanainen A., Zueva M., Kashulin N., Sandimirov S., Christensen G. N., Grekela I. Pasvik Water Quality Report. Environmental Monitoring Programme in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area. Report 7/2011. Kuopio, 2011. 50 p.
9. Мазухина С. И. Формирование поверхностных и подземных вод Хибинского горного массива. Апатиты : КНЦ РАН, 2012. 173 с.
10. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
11. Перельман А. И. Геохимия : учеб. для геол. спец. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 1989. 528 с.

References

1. Chudnenko K. V. Termodinamicheskoe modelirovanie v geohimii: teoriya, algoritmy, programnoe obespechenie, prilozheniya [Thermodynamic modeling in geochemistry: theory, algorithms, software, applications]. Novosibirsk : Akadem. izd-vo "Geo", 2010. 287 p.
2. Geological map of the Fennoscandian Shield, scale 1:2000000. Main compilers and bibliographic reference: E. Koistinen, M. B. Stephens, V. Bogatchev, Ø. Nordgulen, M. Wennerström, J. Korhonen. Finland, 2001.
3. Hörmann P. K., Raith M., Raase P. et al. The granulite complex of Finnish Lapland: petrology and metamorphic conditions in the Ivalojoiki – Inarijärvi area // Geol. Surv. Finl. Bull. 1980. N 308. 95 p.
4. Meriläinen K. The granulite complex and adjacent rocks in Lapland, northern Finland // Geol. Surv. Finl. Bull. 1976. N 281. 129 p.
5. Eskola P. On the granulites of Lapland // Am. J. Sci. 1952. Bowen Volume. P. 133–171.
6. Sandimirov S. S. Sovremennoe gidrohichimicheskoe sostoyanie ozerno-rechnoy sistemy reki Pasvik (Kolskiy poluostrov) [The modern hydrochemical condition of lake – river system of the Pasvik River (the Kola Peninsula)] // Trudy Kolskogo nauchnogo tsentra RAN. Ser. Prikladnaya ekologiya Severa. Apatity : KNTs RAN, 2012. Vyp. 1. P. 87–97.
7. Ylikörkkö J., Zueva M., Kashulin N., Kashulina T., Sandimirov S., Christensen G., Jelkänen E. Pasvik Water Quality Report until 2013. Environmental Monitoring Programme in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area. Report 96/2014. Juvenes Print : Rovaniemi, 2014. 43 p.
8. Puro-Tahvanainen A., Zueva M., Kashulin N., Sandimirov S., Christensen G. N., Grekela I. Pasvik Water Quality Report. Environmental Monitoring Programme in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area. Report 7/2011. Kuopio, 2011. 50 p.
9. Mazuhina S. I. Formirovanie poverhnostnyh i podzemnyh vod Hibinskogo gornogo massiva [Formation of surface and ground waters of Khibiny massif]. Apatity : KNTs RAN, 2012. 173 p.

10. Vinogradov A. P. Srednee sodержanie himicheskikh elementov v glavnyh tipah izverzhennykh gornyykh porod zemnoy kory [Average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the crust] // Geohimiya. 1962. N 7. P. 555–571.

11. Perelman A. I. Geohimiya [Geochemistry] : ucheb. dlya geol. spets. vuzov. 2-e izd., pererab. i dop. M. : Vyssh. shk., 1989. 528 p.

Сведения об авторах

Мазухина Светлана Ивановна – мкр Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, канд. хим. наук, зав. лабораторией, e-mail: mazukhina@inep.ksc.ru

Mazukhina S. I. – 14a, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Cand. of Chem. Sci., Head of Laboratory; e-mail: mazukhina@inep.ksc.ru

Маслобоев Владимир Алексеевич – мкр Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, д-р техн. наук, директор; Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета, кафедра геоэкологии, профессор; e-mail: masloboev@ksc.ru

Masloboev V.A. – 14a, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Dr of Tech. Sci., Director; Apatity Branch of Murmansk State Technical University, Department of Geoeology, Professor; e-mail: masloboev@ksc.ru

Сандимиров Сергей Степанович – мкр Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, канд. геогр. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: sand@inep.ksc.ru

Sandimirov S. S. – 14a, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Cand. of Geogr. Sci., Senior Researcher; e-mail: sand@inep.ksc.ru

Пожиленко Владимир Иванович – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН, канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: pozhil@geoksc.apatity.ru

Pozhilenko V. I. – 14, Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Geological Institute KSC RAS, Cand. of Geol. & Miner. Sci., Senior Researcher; e-mail: pozhil@geoksc.apatity.ru

Иванов Станислав Викторович – мкр Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, и. о. мл. науч. сотрудника; e-mail: ivanov@inep.ksc.ru

Ivanov S. V. – 14a, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Acting Junior Researcher; e-mail: ivanov@inep.ksc.ru

S. I. Mazukhina, V. A. Masloboev, S. S. Sandimirov,
V. I. Pozhilenko, S. V. Ivanov

Forming chemical composition of surface waters in the Arctic. Case study of Lake Inari and the River Paz

Questions of studying the formation of surface and ground waters, their interaction with rocks, development of the basics of their rational use and protection are of great fundamental and practical importance. The influence of the northern Fennoscandian (Baltic) Shield rock composition on forming surface waters' chemical composition in the border area of Finland – Russia – Norway (Lake Inari, the River Paz) using physical-chemical modeling (Selector software package) has been evaluated. For the physical-chemical modeling there have been made two samples of chemical analyses of the most widespread rocks forming the catchment area, with their percentage ratio taken into consideration. Since the catchment area of the prevailing majority of streams feeding Lake Inari is composed of rocks of the Lapland granulite belt (LGB) and its framing, it will be the main sample (conditional influence of their composition on the chemical composition of waters is about 80 %). The second sample includes gneisses, migmatites, granite-gneisses, granites and quartz diorites typical for Inari terrane (conventional influence of their composition on the chemical composition of waters is about 20 %). It has been found that the chemical composition of the surface waters is formed by interaction of precipitation with intrusive, metamorphic and sedimentary rocks of northern Fennoscandia containing Clarke concentrations of S, C, F, Zn, Ni, Pb, Cu. It has been shown that due to interactions in the water – rock system the chemical composition of Lake Inari waters as well as upper and middle flow of the River Paz is formed by weathering of granulites of the Lapland granulite belt and Inari terrane granitoids of the northern Fennoscandia. The chemical composition of waters in the River Paz downstream is formed by weathering of metamorphosed volcanic and sedimentary rocks of the Pechenga structure and the impact of industrial pollution.

Key words: surface waters, physical-chemical model, Inari terrane, Lapland granulite belt.