

УДК 556.5:544.3.03(98)

С. И. Мазухина, В. И. Пожиленко, В. А. Маслобоев,  
С. С. Сандимиров, Т. Т. Горбачева, С. В. Дрогобужская, С. В. Иванов

## Формирование химического состава подземных вод в южном Прихлебине на примере водозабора "Предгорный"

Исследователи России и зарубежных стран, занимающиеся медико-экологическим загрязнением питьевой воды, указывают на связь здоровья населения с химическим составом подземных вод и антропогенных включений. Целью работы является обнаружение изменения химического состава природных вод, формирующихся в пределах Хибинского массива и его ближайшего обрамления, в зависимости от состава пород области водосбора и от антропогенного влияния с помощью физико-химического моделирования (программный комплекс (ПК) "Селектор") и современных прецизионных методов анализа. Для достижения цели был произведен отбор проб на водозаборе "Предгорный" (п. Коашва, Кировский район). Полный гидрохимический анализ показал присутствие в водах таких элементов, как уран, молибден, серебро, барий, что пополнило базу данных химического состава подземных вод. Для физико-химического моделирования были сделаны выборки химических анализов наиболее распространенных пород, слагающих юго-восточную часть Хибинского массива как основную область водосбора. Анализ полученных результатов позволил отделить породное влияние от антропогенного, природный химический состав вод от профильтрованных рудничных (антропогенных). Показано, что уже в природных (чистых) водах соотношения Ca/P и Ca/Sr могут приводить к болезням костей у населения. Установлено, что на формирование химического состава подземных вод водозабора "Предгорный" оказывают влияние химические составы пород и поверхностных вод, содержащие кислород, нитраты азота, хлор, которые влияют на значения pH (уменьшая их), формы миграции алюминия, марганца, железа и других элементов. В костях человека и животных примерно 70 % приходится на гидроксил апатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ . Группу OH могут заменять F, Cl, O. Кальций может быть изоморфно заменен рядом элементов: Sr, U, Ba и др., что вызывает заболевания костей и зубов у населения. Результаты исследований могут быть полезны в областях геохимии, гидрологии, экологии, медицине.

**Ключевые слова:** подземные воды, физико-химическая модель, хибиниты, Хибинский массив, медико-экологические исследования, гидроксил апатит.

### Введение

Средние уровни заболеваемости взрослого населения Мурманской области по сумме болезней находятся на уровне среднероссийских показателей, вместе с тем по некоторым классам заболеваний и нозологическим формам, мониторируемым в рамках Федерального информационного фонда, превышают среднероссийские уровни: новообразования, болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ, болезни костно-мышечной системы<sup>1</sup>. Наибольшее превышение среднероссийского уровня по заболеваемости взрослого населения отмечается в г. Апатиты и г. Кировске. В целом по сумме заболеваний показатели заболеваемости детского населения выше среднероссийского уровня на 30–40 % на протяжении многих лет.

Петербургским геохимиком В. И. Лебедевым сформулирован принцип: человек по отношению к внешней среде есть открытая система, к которой применимы законы физикохимии [1]. В работе Л. И. Эльпинера и И. С. Зекцера [2] подчеркнуто, что исследователи России и зарубежных стран, занимающиеся медико-экологическим загрязнением питьевой воды, устанавливают связь здоровья населения с химическим составом подземных вод и антропогенных включений.

С. М. Кравченко [1] считает, что объяснение состояния костей и зубов и их лечение не достаточно ограничивать изучением человеческого организма и избытком или недостатком Sr, Se, U, Th и других микроэлементов во внешней среде, большинство из которых изоморфно замещают кальций в структуре апатита (в костях человека и животных ~ 70 % гидроксил апатита). Также упомянуто, что в щелочных массивах Кольского полуострова обнаружен апатит с содержанием SrO до 39,31 %. Все это указывает на то, что в исследовании вод и оценке их для питьевых целей необходимы объединения усилий различных специалистов и новый комплексный подход.

Цель работы – оценка антропогенного влияния и химического состава горных пород Хибинского массива на формирование химического состава поверхностных и подземных вод водозабора "Предгорный" с помощью физико-химического моделирования (ПК "Селектор") [3].

### Материалы и методы

В работе использованы опубликованные источники, материалы отчетов, выполнявшихся в рамках научно-исследовательских программ, а также результаты химического анализа проб воды, отобранных

<sup>1</sup> <http://mpr.gov-murman.ru>.

в процессе выполнения задач по гранту РФФИ 17-45-510640р\_а. 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, а также модулем формирования моделей различной сложности. Используемый алгоритм [3] позволяет производить расчеты сложных химических равновесий в изобарно-изотермических, изохимических 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".

#### *Географическое и геологическое положение*

На территории Кольского региона северо-восточной части Балтийского щита (административно – Мурманская область) рыхлые образования ныне представлены редкими находками (реликтами) маломощных площадных и линейных неогеновых кор выветривания и, в основном, четвертичными (антропогеновыми) образованиями разного генезиса – ледниковыми, водно-ледниковыми, озерными, речными, болотными и т. д. [4]. Эти рыхлые образования, как и зоны трещиноватости в кристаллических породах, являются накопителями подземных вод, которые в виде родников (ключей) широко проявляются на территории Кольского полуострова [5].

Все вышесказанное относится и к Хибинскому массиву и его окрестностям, с тем лишь отличием, что на большей части высокогорной площади развиты маломощные элювиальные образования, зато широкий спектр четвертичных образований и морфологических структур развит в эрозионных долинах расчлененного рельефа и в окрестностях массива.

Наличие структурных особенностей Хибинского массива, зон трещиноватости, расчлененного рельефа и значительных перепадов высот в областях водосбора обусловили появление большого количества родников. Они расположены как на склонах долин, так и в долинах и даже в прилегающих, присклоновых ("прихибинских") рыхлых образованиях, в разной степени удаленных от Хибинского массива, мощность которых в Прихибинье колеблется от первых сантиметров до 80 и более метров, и наиболее максимальная – в скрытых эрозионных долинах.

Огромную роль в строении Хибинского массива играют конические и радиальные разрывные нарушения первого порядка [6] и многочисленные разноориентированные разломы второго порядка [7]. Наличие разрывных нарушений способствует накоплению трещинных подземных вод, длительность соприкосновения которых с вмещающими кристаллическими породами массива и продуктами их разрушения может достигать от года до нескольких десятков и даже тысяч лет [8]. Трещинные подземные воды в благоприятных условиях поступают в напорные водные горизонты, расположенные как в трещинных зонах, так и в рыхлых образованиях, смешиваясь с более молодыми водами, образовавшимися за счет атмосферных осадков.

Учитывая размеры площадей водосбора и значительный перепад высот, напор воды и дебит, ряд этих источников уже представляют практическую значимость и используются для обеспечения качественной водой населения Кировска, Коашвы и др.<sup>2</sup> Для обеспечения водой населения г. Апатиты подземные водные источники пока не используются, хотя попытки привлечь внимание к некоторым из них в районе реки Малая Белая уже были [9].

В качестве объектов исследования выбраны действующие скважины водозабора "Предгорный", который расположен у подножья юго-восточной части горного массива Хибины (рис. 1) на мелко-грядовых ледниковых холмах с высотной отметкой около 200 м. К юго-востоку от водозабора и к северу от оз. Китчапахк расположен технологический отстойник Восточного рудника (рис. 2).

Относительное превышение устьев водозаборных скважин относительно уровня вод отстойника около 30 м. Водонесный горизонт расположен в рыхлых четвертичных водно-ледниковых отложениях, которые залегают на неогархейских гранитоидах. Естественно предположить, что насыщение его происходит не только за счет поверхностных вод, скатывающихся с юго-восточных склонов горного массива, но и за счет трещинных вод, поступающих с отрогов Хибинского массива. Эта часть массива сложена в основном массивными и трахитоидными хибинитами и несколькими телами пород щелочной ультрамафитовой серии (рис. 3).

<sup>2</sup> Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры муниципального образования "Город Кировск с подведомственной территорией на период 2011–2013 годы и на перспективу до 2020 года". Санкт-Петербург, 2016. 284 с.



Рис. 1. Положение водозабора на топокарте<sup>3</sup>  
Fig. 1. The position of the water intake on the topographical map



Рис. 2. Положение скважин водозабора "Предгорный" на космоснимке<sup>4</sup>  
Fig. 2. The position of the wells of the "Predgorny" water intake on the space image

<sup>3</sup> Топографическая карта (Российская Федерация. Мурманская область. Лист № 15 – Ревда). Масштаб 1 : 200 000. 1993.

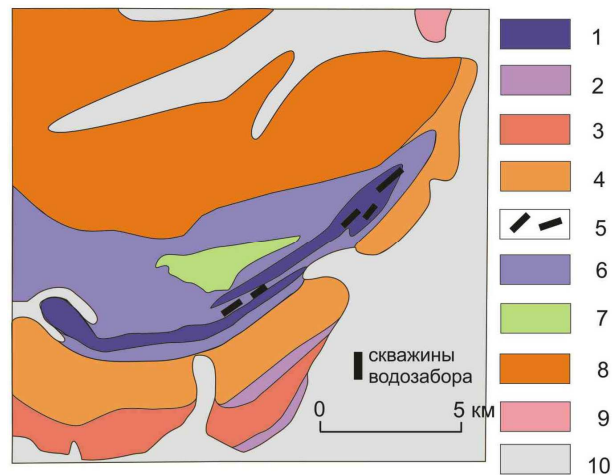


Рис. 3. Положение скважин водозабора на схематической геологической карте юго-восточной части Хибинского массива по [10]: 1 – перидотиты, пироксениты, мелилитолиты; 2 – ультраосновные фойдолиты; 3 – хибиниты массивные; 4 – хибиниты трахитоидные; 5 – апатито-нефелиновые руды; 6 – ристчорриты, ювиты, уртиты массивные; 7 – неравномернозернистые нефелиновые сиениты; 8 – фойяиты; 9 – породы карбонатного штока; 10 – четвертичные отложения

Fig. 3. The position of the water intake wells on the schematic geological map of the South-Eastern part of the Khibiny massif [10]: 1 – peridotite, pyroxenite, melilitic; 2 – ultrabasic foidolite; 3 – massive khibinites; 4 – trachytoid khibinites; 5 – apatite-nepheline ore; 6 – ristschorrites, juvites, urtites massive; 7 – nepheline syenites; 8 – foyaite; 9 – rocks of carbonate stock; 10 – quaternary deposits

Чтобы оценить роль влияния химического состава пород Хибинского массива на химический состав воды водозабора "Предгорный" для физико-химического моделирования были сделаны выборки химических анализов пород площади водосбора – массивных и трахитоидных хибинитов и пород щелочной ультрамафитовой серии (табл. 1–3).

Таблица 1. Химический состав мельтейгитов, ийолитов, уртитов и ювитов Хибинского массива  
Table 1. Chemical composition of melteigites, ijolites, urtites and juvites of the Khibiny massif

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вес, %	mlg 170	mlg 309	ijl 304	ijl 414	urt 460	urt 240	juv 670	urt 100	urt 500	urt-mlg	urt-mlg
SiO <sub>2</sub>	41,5	42,5	41,2	45,6	44,6	42,44	46,5	43,1	40,3	43,1	43,3
TiO <sub>2</sub>	4,35	3,33	2,16	3,29	2,10	2,31	2,33	3,07	2,09	2,78	3,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,91	2,78	16,80	13,29	22,54	24,65	20,15	23,46	27,16	17,30	17,97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,99	10,95	7,42	5,72	3,18	2,84	3,31	2,86	1,96	5,69	5,08
FeO	10,58	10,36	5,90	3,84	2,17	2,26	2,16	2,67	1,37	4,59	3,83
MnO	0,54	0,52	0,35	0,24	0,13	0,11	0,16	0,13	0,04	0,25	0,25
MgO	6,01	8,39	3,08	4,83	1,89	0,97	2,51	1,22	0,20	3,23	2,71
CaO	10,8	14,80	7,80	9,82	5,27	3,28	4,63	4,61	4,52	7,28	6,92
Na <sub>2</sub> O	4,67	3,48	9,71	8,77	12,6	14,3	10,0	12,4	15,1	10,1	10,5
K <sub>2</sub> O	1,22	0,67	3,69	2,37	4,61	5,91	6,88	5,74	4,98	4,01	4,21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,37	0,79	1,26	0,38	0,43	0,47	0,50	0,60	1,65	0,72	0,74
CO <sub>2</sub>	0,03	0,14	0,11	0,20	0,16	0,18	0,14	0,09	–	0,116	–
F	0,22	0,18	0,19	0,21	0,10	0,08	0,12	0,16	0,23	0,165	–
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	–	–	–	–	–	–	0,26	0,47	0,76	0,497	0,58
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	–	–	–	–	–	–	0,38	0,11	0,01	0,167	0,13
п.п.п	1,10	0,66	0,36	0,57	0,66	0,41	–	–	–	–	–
Σ	99,50	99,91	100,3	99,35	100,7	100,4	99,99	100,6	100,4	99,94	99,33

Примечание. 1–9 – мельтейгиты (mlg), ийолиты (ijl), уртиты (urt) и ювиты (juv) по [11], цифры под названием пород – глубина отбора пробы из керна скважины; 10 – средний состав выборки из 9 анализов (1–9 в табл.); 11 – средневзвешенный состав дифференцированного комплекса уртитов-мельтейгитов по 109 анализам по [12].

<sup>4</sup> Спутниковая онлайн-карта: Хибины (Мурманская область). URL: <https://www.google.ru/maps/>.

Таблица 2. Химический состав нефелиновых сиенитов, массивных и трахитоидных хибинитов Хибинского массива  
Table 2. Chemical composition of nepheline syenite, massive and trachytoid khibinite from khibinite rocks of the Khibiny massif

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вес, %	ns	ns	khibm	khibm	khibm	khibm	khibt	khibt	khibt	средн	средн
SiO <sub>2</sub>	55,0	55,0	49,4	49,9	54,6	52,3	55,1	54,1	54,2	53,3	53,1
TiO <sub>2</sub>	0,91	1,11	2,72	1,96	0,77	0,85	0,85	0,76	0,69	1,18	0,97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,6	19,3	16,2	18,4	23,2	21,0	21,3	21,2	20,6	20,1	21,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,18	2,61	4,43	2,85	1,75	3,48	4,04	4,55	3,14	3,23	2,39
FeO	3,11	2,97	3,68	4,42	1,77	1,24	0,01	0,01	1,03	2,03	1,65
MnO	0,16	0,18	0,35	0,27	0,13	0,23	0,19	0,19	0,18	0,21	0,20
MgO	0,62	0,63	1,32	1,09	0,34	0,33	0,46	0,33	0,40	0,61	0,70
CaO	1,23	1,79	4,78	3,97	1,01	1,04	1,10	1,20	1,06	1,91	1,87
Na <sub>2</sub> O	9,76	9,14	9,65	9,71	9,91	11,3	10,3	10,3	11,21	10,13	9,87
K <sub>2</sub> O	5,97	6,29	4,66	4,85	4,82	5,45	5,86	6,25	5,63	5,53	6,51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22	0,14	0,64	0,38	0,11	0,09	1,16	0,12	0,12	0,33	0,29
CO <sub>2</sub>	0,10	0,12	0,11	0,10	0,48	0,20	–	–	0,06	0,167	0,13
S	0,09	0,08	0,02	0,12	0,01	0,02	–	–	0,18	0,074	–
Cl <sup>-</sup>	0,01	0,01	–	–	0,02	0,01	–	–	0,06	0,022	–
F <sup>-</sup>	0,12	0,10	0,28	0,17	0,10	0,12	–	–	0,14	0,147	0,05
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,52	0,31	0,65	0,69	0,20	1,40	0,40	0,70	0,73	0,62	0,71
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,08	0,10	0,13	0,23	0,12	0,12	0,10	0,15	0,15	0,104	0,14
Σ	100,6	99,96	99,67	99,77	99,91	99,92	99,77	99,74	100,1	99,67	99,90

Примечание. 1–2 – нефелиновые сиениты (ns), хибиниты массивные (khibm) и хибиниты трахитоидные (khibt) по [11]; 10 – средний состав выборки из 9 анализов (1–9 в табл.); 11 – химический состав средней пробы пород Хибинского массива по [13].

Таблица 3. Химический состав пород щелочно-ультрамафитовой серии Хибинского массива по [10]  
Table 3. The chemical composition of rocks of the alkaline-ultramafic series in the Khibiny massif [10]

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вес, %	перидотиты		оливиновые пироксениты		ультраосновные фойдолиты						средн
SiO <sub>2</sub>	38,3	43,6	41,4	41,6	43,8	42,1	46,4	42,6	45,9	39,5	42,5
TiO <sub>2</sub>	3,51	3,41	4,18	4,91	4,51	5,14	2,42	2,95	2,42	7,25	4,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,29	5,21	7,37	5,92	14,2	13,1	13,5	14,0	14,5	9,17	10,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,3	5,41	8,90	4,33	2,76	6,74	2,16	4,80	4,75	8,00	5,81
FeO	5,25	7,06	5,22	11,3	9,01	7,30	8,74	7,52	5,76	7,00	7,41
MnO	0,28	0,19	0,23	0,23	0,32	0,34	0,17	0,30	0,21	0,28	0,255
MgO	19,9	17,9	13,38	11,7	4,43	4,49	6,35	5,35	5,00	7,01	9,55
CaO	12,6	9,36	9,09	11,2	6,41	6,87	9,59	8,69	8,52	11,7	9,41
Na <sub>2</sub> O	0,65	2,26	3,18	3,47	7,89	7,26	6,34	7,83	6,97	4,56	5,04
K <sub>2</sub> O	2,06	2,91	3,60	2,11	2,87	2,91	2,25	2,76	3,57	2,36	2,74
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,50	0,36	0,43	0,33	1,07	1,20	0,41	0,61	0,53	1,51	0,695
CO <sub>2</sub>	0,38	0,14	0,32	0,23	0,17	0,07	0,07	0,31	0,10	0,32	0,211
S	0,16	0,03	0,04	0,12	0,06	0,05	0,07	0,23	0,05	0,19	0,100
F	1,06	0,45	0,91	0,60	0,38	0,32	0,18	0,41	0,31	–	0,47
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,57	0,88	0,95	1,12	0,56	0,83	1,16	0,91	0,79	0,29	0,81
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,11	0,13	0,37	0,42	0,15	0,00	0,15	0,17	0,13	0,19	0,182
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18	0,16	0,11	0,11	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,067
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	0,04	0,05	0,04	0,07	0,07	0,04	0,06	0,05	0,07	0,056
BaO	–	0,07	0,07	0,06	0,39	0,36	0,08	0,11	0,11	–	0,125
SrO	0,14	0,10	0,19	0,11	0,56	0,62	0,11	0,14	0,14	0,27	0,24
NiO	0,13	0,11	0,07	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,042
CoO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,008
Σ	100,5	99,76	100,0	99,89	99,63	99,82	100,3	00,79	99,80	99,78	99,92

Для получения необходимой информации и решения задач, поставленных в проекте по гранту РФФИ 17-45-510640р\_а, на территории водозабора "Предгорный" 09.11.2017 г. отобраны пробы воды из 2-й, 3, 4, 5 и 9-й скважин.

На основании разработанных раньше методик формирования химического состава природных вод с учетом химического состава пород 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 Хибинского массива [14–17].

Изучены процессы формирования природных вод в системе "вода – порода – атмосфера" в зависимости от степени взаимодействия ( $\xi$ ) пород с водными растворами в открытых условиях (100 кг атмосферы, 1000 кг воды, T 276,15, P 1 бар, порода 100 г – средний состав пород Хибинского массива (табл. 3 – столбик 11, табл. 2 – столбик 10, табл. 1 – столбик 10)), коэффициенты водной миграции S, F, Cl [18].

### Результаты и обсуждение

Результаты моделирования взаимодействия "вода – порода" представлены в табл. 4. Аналитические данные анализа проб воды из скважин водозабора приводятся в табл. 5. Анализ результатов моделирования и полученных аналитических данных указывает на сопоставимость концентраций по кальцию, натрию, магнию, стронцию, сульфатам, фтору, гидрокарбонатам и значениям pH. Кроме того, результаты моделирования указывают на возможность присутствия в водах хрома, кобальта и ванадия. Состав новообразованных фаз – мусковит (Msc), гетит, апатит (Apt), монтмориллонит (Mnt) и аморфный кремнезем – соответствует новообразованиям, обнаруженным в Хибинском щелочном массиве в результате выветривания нефелина. Смектиты – смешаннослойные алюмосиликаты, содержащие кальций, магний и натрий. По результатам моделирования содержание калия должно быть значительно меньше, чем обнаружено в водах из скважин водозабора. Кроме того, в водах водозабора обнаружены нитраты. Сопоставление этих данных с химическим составом поверхностных вод позволяет сделать вывод, что на химический состав вод водозабора оказывают влияние и поверхностные воды, содержащие больше чем природные такие элементы, как хлор, калий и нитраты (табл. 6).

Таблица 4. Результаты моделирования системы "вода – порода"  
(водозабор "Предгорный", поселок Коашва), T 3 °C, P 1 бар

Table 4. The results of modeling of the system "water – rock" ("Predgorny" water intake, Koashva), T 3 °C, P 1 bar

$\xi$	NU	Компоненты раствора, мг/л							
		Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Co <sup>2+</sup>	HVO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
1	0,1	4,15E-01	5,70E-01	2,69E-01	1,02E-01	3,73E-03	1,84E-03	2,09E-04	2,35E-03
0,8	0,15849	6,20E-01	8,95E-01	4,26E-01	1,97E-01	5,91E-03	2,92E-03	3,32E-04	3,75E-03
0,6	0,25119	9,73E-01	1,44	6,74E-01	2,06E-01	9,37E-03	4,63E-03	2,92E-04	5,97E-03
0,4	0,39811	1,54	2,33	1,07	1,84E-01	1,49E-02	7,34E-03	9,73E-05	9,47E-03
0,2	0,63096	2,43	3,72	1,68	1,57E-01	2,35E-02	1,16E-02	2,75E-05	1,5E-02
0	1	3,82	5,92	2,65	1,18E-01	3,73E-02	1,84E-02	5,24E-06	2,38E-02
-0,2	1,58489	5,99	9,41	2,26	9,54E-02	5,90E-02	2,92E-02	1,25E-06	3,77E-02
-0,4	2,51189	9,24	14,9	3,83E-01	6,94E-02	9,31E-02	4,62E-02	2,08E-07	5,98E-02
		Sr <sup>2+</sup>	CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P <sub>общ</sub>	F <sup>-</sup>	pH
1	0,1	7,38E-02	2,63E-03	2,07	3,48E-01	3,82	1,26E-02	1,66E-02	7,04
0,8	0,15849	7,77E-02	4,57E-03	3,18	5,51E-01	5,96	2,70E-03	2,28E-02	7,25
0,6	0,25119	8,38E-02	7,71E-03	3,43	8,71E-01	9,27	5,27E-04	3,53E-02	7,47
0,4	0,39811	9,36E-02	1,28E-02	3,43	1,37	14,5	1,01E-04	5,58E-02	7,71
0,2	0,63096	1,09E-01	2,08E-02	3,44	2,16	22,7	1,90E-05	8,83E-02	7,98
0	1	1,33E-01	3,66E-02	3,43	3,39	35,3	3,01E-06	1,40E-01	8,34
-0,2	1,58489	1,41E-01	5,36E-02	3,44	5,36	45,3	5,71E-07	2,22E-01	8,66
-0,4	2,51189	5,25E-02	8,54E-02	3,43	8,50	52,7	9,50E-08	3,52E-01	9,05
		Состав новообразованных фаз, моль							
		MnO <sub>2</sub>	FeO(OH)	Msc	Apt	Mnt	SiO <sub>2</sub>	Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Smc
1	0,1	3,34E-04	1,27E-02	3,76E-03	1,37E-04	8,50E-03	5,69E-06	–	–
0,8	0,15849	5,29E-04	2,01E-02	5,04E-03	4,04E-04	1,46E-02	1,24E-04	–	–
0,6	0,25119	8,39E-04	3,18E-02	1,07E-02	6,80E-04	1,97E-02	3,18E-02	1,33E-06	–
0,4	0,39811	1,33E-03	5,04E-02	2,07E-02	1,09E-03	2,65E-02	8,99E-02	4,17E-06	–
0,2	0,63096	2,11E-03	7,99E-02	3,62E-02	1,72E-03	3,76E-02	1,82E-01	7,33E-06	–
0	1	3,34E-03	1,27E-01	6,07E-02	2,73E-03	5,53E-02	3,26E-01	1,18E-05	–
-0,2	1,58489	5,29E-03	2,01E-01	9,85E-02	4,33E-03	8,45E-02	4,46E-01	1,88E-05	2,67E-02
-0,4	2,51189	8,39E-03	3,18E-01	1,58E-01	6,86E-03	1,31E-01	5,61E-01	2,98E-05	8,73E-02

Соотношения Ca/Sr в скважинах водозабора (табл. 5) – 107,58, 52,74, 59,71, 95,07, 52,38 соответственно. К категории "относительно нормальная экологическая ситуация" относится ситуация, когда Ca/Sr > 100. Как видно, это соотношение реализовано только в скважине 2. Соотношение Ca/P в соответствующих скважинах – 780,52, 519,9, 365,05, 1257,67, 675,35. Такая ситуация, скорее всего, должна быть отнесена к категории "чрезвычайной экологической ситуации" [1].

Анализ состояния заболеваемости массовыми неинфекционными заболеваниями (отравлениями) и приоритетными заболеваниями в связи с вредным воздействием факторов среды обитания населения Мурманской области показывает, что в структуре общей заболеваемости взрослого населения первое место занимают болезни системы кровообращения (17,4 %), на втором месте – костно-мышечной системы (12,5 %)⁵. Наибольшее превышение среднероссийского уровня по заболеваемости взрослого населения отмечается в г. Апатиты и г. Кировске.

Таблица 5. Результаты мониторинга подземных вод водозабора "Предгорный", мг/л  
(глубины скважин 49–58 м)

Table 5. Results of groundwater monitoring of "Predgorny" water intake, mg/l  
(depth of wells 49–58 m)

Номер скважины	Компоненты раствора, мг/л							
	Ca <sup>2+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe <sub>общ</sub>	Ni <sup>2+</sup>
2	7,10	0,0012	7,91	0,86	3,26	31,6	0,020	0,0138
3	4,84	0,0005	6,94	0,62	2,91	25,5	0,019	0,0005
4	3,25	0,0003	5,68	0,40	2,64	23,1	0,014	0,0036
5	10,8	0,0005	10,9	1,18	3,72	37,3	0,045	0,0026
9	5,88	0,0005	8,82	0,74	3,34	28,8	0,018	0,0017
	Sr <sup>2+</sup>	Mo	Al <sup>3+</sup>	F <sup>-</sup>	P <sub>общ</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH
2	0,066	0,0033	0,0045	0,31	0,0091	6,7	9,55	8,24
3	0,092	0,0018	0,012	0,07	0,0093	5,95	4,75	7,96
4	0,055	0,0014	0,011	0,16	0,0089	4,1	2,06	8,11
5	0,114	0,0059	0,011	0,45	0,0086	13,8	16,5	8,00
9	0,112	0,0026	0,017	0,14	0,0087	7,6	6,2	8,00

Таблица 6. Результаты мониторинга поверхностных вод реки  
(1 – р. Вуоннемйок, устье; 2 – р. Вуоннемйок (Коашва, мост, 13.09.2009)), мг/л

Table 6. The results of monitoring of surface waters of the river  
(1 – r. Vuonnemyok, mouth; 2 – r. Vuonnemyok (Koashva, bridge, 13.09.2009)), mg/l

Место отбора	Компоненты раствора, мг/л						
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Al <sup>3+</sup>
1	5,57	0,54	24,3	7,38	43,8	26,8	0,101
2	8,34	0,57	39,5	12,4	57,2	54,4	0,061
	Sr <sup>2+</sup>	Fe	Cu <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	pH	
1	0,259	0,047	0,0009	2,72	2,72	7,76	
2	0,428	0,019	0,0012	4,15	2,34	7,85	

### Заключение

На основании выполненных исследований установлено, что на формирование химического состава подземных вод водозабора "Предгорный" оказывают влияние химические составы пород и поверхностных вод. Поверхностные воды содержат кислород, нитраты и хлорид, которые влияют на значения pH (уменьшая их) и формы миграции алюминия, марганца, железа и других элементов.

Показано, что уже в природных (чистых) водах соотношения Ca/P и Ca/Sr могут приводить к болезням костей у населения. В костях человека и животных примерно 70 % приходится на гидроксил апатит Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH. Группу OH могут заменять F, Cl, O. Кальций может быть изоморфно заменен рядом элементов: Sr, U, Ba и др., что приводит к заболеванию костей и зубов у населения [1]. Результаты исследований могут быть полезны в областях геохимии, гидрологии, экологии, медицине. Меняя систему водоподготовки и питания, можно снизить или вообще избежать заболеваний опорно-двигательного аппарата.

<sup>5</sup> <http://mpr.gov-murman.ru>.



Таким образом, экологические исследования питьевых вод, направленные на совершенствование методов охраны природных вод и водоподготовки, необходимы для обоснования эффективных управленческих водохозяйственных решений, подчиненных приоритетам охраны здоровья населения.

#### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность Генеральному директору АО "Апатитыводоканал" П. Н. Евшину и главному технологу А. А. Горбачеву за помощь в выполнении представленной работы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Мурманской области в рамках научного проекта о17-45-510640 "Геохимическая оценка подземных вод Хибинского массива (возраст и идентификация происхождения подземных вод, химический состав, формы миграции элементов)".

#### **Библиографический список**

1. Кравченко С. М. Кальций-фосфорное отношение в геохимических ландшафтах и его влияние на здоровье человека // *Геоэкология. Инженерная экология. Гидрогеология. Геокриология*. 1998. № 1. С. 30–36.
2. Эльпинер Л. И., Зекцер И. С. Междисциплинарный подход к оценке использования подземных вод для питьевых целей // *Водные ресурсы*. 1999. Т. 26, № 4. С. 389–396.
3. Чудненко К. В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения = *Thermodynamic modeling in geochemistry: the theory, algorithms, the software, applications* / отв. ред. В. Н. Шарапов. Новосибирск : Гео, 2010. 283 с.
4. Пожиленко В. И., Гавриленко Б. В., Жиров Д. В., Жабин С. В. Геология рудных районов Мурманской области = *Geology of mineral areas of the Murmansk region* / под ред. Ф. П. Митрофанова, Н. И. Бичука. Апатиты : КНЦ РАН, 2002. 359 с.
5. Ананьев В. Н. Родники земли Кольской. Мурманск : Кн. изд-во, 2009. 144 с.
6. Онохин Ф. М. Особенности структуры Хибинского массива и апатито-нефелиновых месторождений. Ленинград : Наука. Ленингр. отд-ние, 1975. 106 с.
7. Разработка геодинамической схемы (тектонических разломов) района деятельности апатитовых рудников ОАО "Апатит": отчет о НИР / Горный институт КНЦ РАН; отв. исполн. А. К. Шпаченко, Д. В. Жиров. 2003. 49 с.
8. Гудков А. В., Каменский И. Л., Мелихова Г. С., Скиба В. И., Токарев И. В. [и др.]. Третий-гелий-3 метод и его применение для датирования подземных вод (на примере Кировского горнопромышленного района, Мурманская область) // *Геохимия*. 2014. № 7. С. 646–653.
9. Конухин В. П., Козырев А. А., Орлов А. О., Смирнов Ю. Г. Исследование подземных источников для водоснабжения городов Заполярья экологически чистой водой на примере города Апатиты // *Арктика: экология и экономика*. 2012. № 2 (6). С. 58–65.
10. Арзамасцев А. А. Щелочные ультрамафиты в Хибинском массиве: новые данные и петрологические следствия // *Щелочной магматизм северо-восточной части Балтийского щита : сб. статей. Апатиты : КНЦ АН СССР, 1990. С. 4–19.*
11. Arzamastsev A. A. Unique Paleozoic intrusions of the Kola Peninsula / Ed. F. P. Mitrofanov. Apatity : KSC RAN, 1994. 79 p.
12. Арзамасцев А. А., Иванова Т. Н. Геология, условия формирования и рудоносность дифференцированного комплекса уртитов, мельтейгитов в Хибинах // *Петрология и минералогия щелочных, щелочно-ультраосновных и карбонатитовых комплексов Карело-Кольского региона. Апатиты : КНЦ АН СССР, 1985. С. 21–31.*
13. Иванова Т. Н., Дудкин О. Б., Козырева Л. В., Поляков К. И. Йолит-уртиты Хибинского массива. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1970. 179 с.
14. Мазухина С. И. Формирование поверхностных и подземных вод Хибинского горного массива = *Formation of surface and underground waters of the Khibiny mountain massif*. Апатиты : КНЦ РАН, 2012. 173 с.
15. Калинин В. Т., Мазухина С. И., Максимова В. В., Маслобоев В. А., Чудненко К. В. Физико-химические факторы некондиционности химического состава природных вод Хибинского массива // *Доклады Академии наук*. 2014. Т. 458, № 5. С. 551–554.
16. Мазухина С. И. Применение термодинамического моделирования в решении гидрологических проблем Кольского Севера // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2016. № 42. С. 33–54.
17. Мазухина С. И., Маслобоев В. А., Сандимиров С. С., Пожиленко В. И., Иванов С. В. Формирование химического состава поверхностных вод в Арктике на примере озера Инари и реки Паз // *Вестник МГТУ*. 2017. Т. 20, № 1/2. С. 252–260. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-252-260.
18. Перельман А. И. Геохимия. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 1989. 528 с.



## References

1. Kravchenko S. M. Kaltsiy-fosforное отношение в геохимических ландшафтах и его влияние на здоровье человека [Calcium-phosphorus ratio in geochemical landscapes and its impact on human health] // *Geoekologiya. Inzhenernaya ekologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 1998. N 1. P. 30–36.
2. Elpiner L. I., Zektser I. S. Mezhdistsiplinarnyi podhod k otsenke ispolzovaniya podzemnykh vod dlya pitevykh tseley [The interdisciplinary approach to assessing the use of underground waters for drinking purposes] // *Vodnye resursy*. 1999. V. 26, N 4. P. 389–396.
3. Chudnenko K. V. Termodinamicheskoe modelirovanie v geohimii: teoriya, algoritmy, programmnoe obespecheniem, prilozheniya [Thermodynamic modeling in geochemistry: the theory, algorithms, the software, applications] / *otv. red. V. N. Sharapov*. Novosibirsk : Geo, 2010. 283 p.
4. Pozhilenko V. I., Gavrilenko B. V., Zhiron D. V., Zhabin S. V. Geologiya rudnykh rayonov Murmanskoy oblasti [Geology of mineral areas of the Murmansk Region] / *pod red. F. P. Mitrofanova, N. I. Bichuka*. Apatity : KNTs RAN, 2002. 359 p.
5. Ananov V. N. Rodniki zemli Kolskoy [Springs of Kola land]. Murmansk : Kn. izd-vo, 2009. 144 p.
6. Onohin F. M. Osobennosti struktury Hibinskogo massiva i apatito-nefelinovykh mestorozhdeniy [Peculiarities of structure of the Khibiny massif apatite-nepheline deposits]. Leningrad : Nauka. Leningr. otd-nie, 1975. 106 p.
7. Razrabotka geodinamicheskoy shemy (tektonicheskikh razlomov) rayona deyatel'nosti apatitovykh rudnikov OAO "Apatit" [Development of the geodynamic scheme (tectonic fractures) of the area of apatite mines of JSC "Apatit" (responsible executors)] : *otchet o NIR / Gornyi institut KNTs RAN; otv. ispoln. A. K. Shpachenko, D. V. Zhiron*. 2003. 49 p.
8. Gudkov A. V., Kamenskiy I. L., Melihova G. S., Skiba V. I., Tokarev I. V. [i dr.]. Tritiy-geliy-3 metod i ego primeneniye dlya datirovaniya podzemnykh vod (na primere Kirovskogo gornopromyshlennogo rayona, Murmanskaya oblast) [Tritium-helium-3 method and its application to dating of groundwater (on the example of the Kirov mining district, the Murmansk region)] // *Geohimiya*. 2014. N 7. P. 646–653.
9. Konuhin V. P., Kozyrev A. A., Orlov A. O., Smirnov Yu. G. Issledovanie podzemnykh istochnikov dlya vodosnabzheniya gorodov Zapolyarya ekologicheskoi chistoy vodoy na primere goroda Apatity [Investigation of groundwater sources for water supply of cities of the polar region clean water on the example of the city of Apatity] // *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2012. N 2 (6). P. 58–65.
10. Arzamastsev A. A. Schelochnye ultramafity v Hibinskom massive: novye dannye i petrologicheskie sledstviya [Alkaline ultramafites in the Khibiny massif: new data and petrological investigation] // *Schelochnoy magmatizm severo-vostochnoy chasti Baltiyskogo schita : sb. statey*. Apatity : KNTs AN SSSR, 1990. P. 4–19.
11. Arzamastsev A. A. Unique Paleozoic intrusions of the Kola Peninsula / *Ed. F. P. Mitrofanov*. Apatity, 1994. 79 p.
12. Arzamastsev A. A., Ivanova T. N. Geologiya, usloviya formirovaniya i rudonosnost differentsirovannogo kompleksa urtitov, melteygitov v Hibinakh [Geology, conditions of formation and ore potential of the differentiated complex urtites, melteigites in the Khibiny mountains] // *Petrologiya i minerageniya schelochnykh, schelochno-ultraosnovnykh i karbonatitovykh kompleksov Karelo-Kolskogo regiona*. Apatity : KNTs AN SSSR, 1985. P. 21–31.
13. Ivanova T. N., Dudkin O. B., Kozyreva L. V., Polyakov K. I. Yolit-urtity Hibinskogo massiva [Jolite-urtites of the Khibiny massif]. L. : Nauka. Leningr. otd-nie, 1970. 179 p.
14. Mazuhina S. I. Formirovanie poverhnostnykh i podzemnykh vod Hibinskogo gornogo massiva [Formation of surface and underground waters of the Khibiny mountain massif]. Apatity : KNTs RAN, 2012. 173 p.
15. Kalinnikov V. T., Mazuhina S. I., Maksimova V. V., Masloboev V. A., Chudnenko K. V. Fiziko-himicheskie faktory nekonditsionnosti himicheskogo sostava prirodnykh vod Hibinskogo massiva [Physical-chemical factors of the substandard state of the chemical composition of natural waters of the Khibiny massif] // *Doklady Akademii nauk*. 2014. V. 458, N 5. P. 551–554.
16. Mazuhina S. I. Primeniye termodinamicheskogo modelirovaniya v reshenii gidrologicheskikh problem Kolskogo Severa [Application of thermodynamic modeling in solving hydrological problems of the Kola North] // *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. 2016. N 42. P. 33–54.
17. Mazuhina S. I., Masloboev V. A., Sandimirov S. S., Pozhilenko V. I., Ivanov S. V. Formirovanie himicheskogo sostava poverhnostnykh vod v Arktike na primere ozera Inari i reki Paz [Forming the chemical composition of surface waters in the Arctic. Case study of Lake Inari and the River Paz] // *Vestnik MGTU*. 2017. V. 20, N 1/2. P. 252–260. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-252-260.
18. Perelman A. I. Geohimiya [Geochemistry]. 2-e izd., pererab. i dop. M. : Vyssh. shk., 1989. 528 p.

#### Сведения об авторах

**Мазухина Светлана Ивановна** – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Кольский научный центр РАН, канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: simazukhina@mail.ru

**Mazukhina S. I.** – 14, Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Kola Science Center of RAS, Cand. of Chem. Sci., Senior Researcher; e-mail: simazukhina@mail.ru

**Пожиленко Владимир Иванович** – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН, канд. геол.-минерал. 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

**Маслобоев Владимир Алексеевич** – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Кольский научный центр РАН, д-р техн. наук, профессор; e-mail: masloboev@admksk.apatity.ru; ул. Ферсмана, 50а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета, профессор

**Masloboev V. A.** – 14, Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Kola Science Center of RAS, Dr of Tech. Sci., Professor; e-mail: masloboev@admksk.apatity.ru; 50a, Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Apatity Branch of Murmansk State Technical University, Professor

**Сандимиров Сергей Степанович** – мкр. Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН; канд. геогр. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: sand1966@rambler.ru

**Sandimirov S. S.** – 14а, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Research Center for Human Adaptation in the Arctic KSC RAS, Cand. of Geogr. Sci., Senior Researcher; e-mail: sand1966@rambler.ru

**Горбачева Тамара Тимофеевна** – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Кольский научный центр РАН; канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: podzol\_gorby@mail.ru

**Gorbacheva T. T.** – 14, Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Kola Science Center of RAS, Cand. of Biol. Sci., Senior Researcher; e-mail: podzol\_gorby@mail.ru

**Дрогобужская Светлана Витальевна** – мкр. Академгородок, 26а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: Drogo\_sv@chemy.kolasc.net.ru

**Drogobuzhskaya S. V.** – 26а, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials KSC RAS, Cand. of Chem. Sci., Senior Researcher; e-mail: Drogo\_sv@chemy.kolasc.net.ru

**Иванов Станислав Викторович** – мкр. Академгородок, 15а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, инженер; e-mail: etostas@mail.ru

**Ivanov S. V.** – 15а, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute KSC RAS, Engineer; e-mail: etostas@mail.ru

S. I. Mazukhina, V. I. Pozhilenko, V. A. Masloboev,  
S. S. Sandimirov, T. T. Gorbacheva, S. V. Drogobuzhskaya, S. V. Ivanov

### **The formation of the chemical composition of groundwater in South Prohibiny using the example of "Predgorny" water intake**

Researchers from Russia and foreign countries, studying medical and environmental contamination of drinking water, point to the relationship of public health with chemical composition of groundwater and anthropogenic inclusions. The aim of the work is to detect the change in chemical composition of natural waters formed within the Khibiny massif and its closest framing depending on the composition of rocks in the catchment area and on anthropogenic impact by means of physical and chemical modeling and modern precision methods of analysis. To achieve the goal the sampling has been taken at the "Predgorny" water intake (Koashva, the Kirovsk district). The complete hydrochemical analysis has shown the presence in waters of such elements as uranium, molybdenum, silver, barium, which supplemented the database of groundwater chemical composition. For the physical-chemical modeling, there have been made some samples of chemical analyzes of the most common rocks composing the southeastern part of the Khibiny massif as the main catchment area. The analysis of the obtained results has made it possible to separate the rock influence from anthropogenic, natural chemical composition of waters from filtered mined (anthropogenic). It has been shown that already in natural (pure) waters the ratios of Ca/P and Ca/Sr can lead to bone diseases. It has been determined that the chemical composition of groundwater from the "Predgorny" water intake is affected by the chemical composition of rocks and surface waters containing oxygen, nitrogen nitrates, chlorine, which affect pH (reducing it), the migration patterns of aluminum, manganese, iron and other elements. In the bones of humans and animals, approximately 70 % falls on hydroxyl apatite  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ . OH group can be replaced by F, Cl, O. Calcium can be isomorphically replaced by a number of elements: Sr, U, Ba, etc. that lead to diseases of bones and teeth. The research results can be useful in the fields of geochemistry, hydrology, ecology, and medicine.

**Key words:** groundwater, physical-chemical model, khibinites, Khibiny massif, medical and ecological studies.