

САНКТ – ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Бородулина Галина Сергеевна

**Эколого-геохимические особенности
подземных вод Карелии**

Специальность 25.00.36 – «Геоэкология»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург
2003

Работа выполнена в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук,
профессор, Куриленко Виталий Владимирович

Официальные оппоненты:
Доктор геолого-минералогических наук
Коротков Алексей Иванович, СПГГИ (ТУ)
Кандидат геолого-минералогических наук
Беляев Анатолий Михайлович, СПбГУ

Ведущая организация: Институт геологии Карельского научного центра РАН

Защита диссертации состоится2004 г. в.....часов
на заседании диссертационного совета Д 212. 232. 47 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук при Санкт-Петербургском государственном университете по адресу: 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная 7/9, аудитория.....

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного университета

Автореферат разослан.....2003 г.

Отзывы на диссертацию и автореферат в двух экземплярах просим направлять по адресу: 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9, геологический факультет, диссертационный совет Д 212. 232.47, ученому секретарю

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук

Бутрова И.Ю.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Проблема изучения химического состава подземных вод, принадлежит к числу наиболее актуальных в экологической геологии, науке, ориентированной на исследование экологических функций (свойств) литосферы (включая подземные воды и газы), и, прежде всего, в связи с жизнью и деятельностью человека.

Изучение эколого-гидрогеохимических особенностей подземных вод Карелии имеет большое значение в связи с возросшей необходимостью привлечения подземных источников для решения проблемы водоснабжения, являющейся в настоящее время одной из самых острых экологических проблем в республике. Водоснабжение ориентировано практически полностью на поверхностные воды, однако на большей части территории природное качество вод не соответствует нормативам питьевого водоснабжения из-за высокого содержания гумусовых веществ и железа. Кроме того, поверхностные воды испытывают значительную антропогенную нагрузку. Доля подземных воды в общем балансе водопотребления Карелии никогда не превышала 5%, что является наименьшим показателем для регионов России. Оценка прогнозных эксплуатационных ресурсов (Поленов, 1987) показала перспективность использования подземных вод для водоснабжения, особенно в районах развития флювиогляциальных отложений, характеризующихся наиболее высокой водообильностью. Эксплуатация водозаборов из четвертичных отложений наиболее эффективна, но воды особенно уязвимы к загрязнению.

Гидрогеохимическая изученность Карелии в региональном плане остается весьма неравномерной, а с экологических позиций – слабой. В то же время назрела потребность проведения эколого-гидрогеологических исследований для целенаправленных поисков источников питьевого водоснабжения, решения экологических вопросов, оценки современного состояния подземных вод в условиях техногенеза.

Цель работы – установить эколого-геохимические особенности подземных вод Карелии, обусловленные воздействием природных и антропогенных факторов.

Задачи исследований: 1) выяснить основные черты и закономерности формирования минерализации, химического (в том числе микрокомпонентного) состава подземных вод региона в различных комплексах четвертичных и докембрийских пород; 2) выявить зональность подземных вод с учетом эколого-гидрогеохимических параметров; 3) определить степень влияния основных видов хозяйственной деятельности на состояние подземных вод; 4) оценить состояние подземных вод Карелии.

Научная новизна. На новой методологической основе с созданием ГИС рассмотрены региональные закономерности и особенности формирования минерализации, химического состава подземных вод Карелии и выявлено влияние природных и антропогенных факторов на эколого-геохимическое состояние подземных вод.

Впервые определены уровни содержания и закономерности распространения всего спектра микроэлементов в подземных водах региона, установлены их фоновые и аномальные содержания в водах основных комплексов пород.

Выявлены эколого-гидрогеохимические показатели, определяющих степень экологической опасности на отдельных месторождениях полезных ископаемых и урбанизированных территориях с различными видами техногенного загрязнения.

Выполнена оценка состояния эколого-геологических условий, обусловленных геохимическими особенностями подземных вод, на основе интегрированного показателя гидроэкологичности, учитывающего региональные фоновые концентрации элементов, их ПДК (для питьевых вод) и класс опасности, что позволило осуществить районирование, которое может быть положено в основу рационального и эколого-безопасного использования подземных вод Карелии.

Основные защищаемые положения:

1. Разнообразие химического состава преимущественно ультрапресных и пресных подземных вод Карелии обусловлено структурно-вещественным составом водовмещающих отложений, физико-химическими и биогеохимическими процессами, проявлением природных (ландшафтно-климатических, геолого-гидрогеологических) и антропогенных факторов.
2. Дифференциация подземных вод по химическому составу характеризуется зональным региональным и аazonальным локальным распространением основных эколого-гидрогеохимических показателей. Распределение поливалентных элементов в подземных водах региона в значительной степени обусловлено окислительно-восстановительной зональностью.
3. Выявленные природные гидрогеохимические аномалии определяются не только избытком отдельных элементов (Rn, U, Fe, Mn, Ba), но и недостатком биологически важных (Ca, Mg, I, F). Антропогенное воздействие на подземные воды Карелии связано с хозяйственно-бытовой деятельностью и в меньшей степени с влиянием других видов техногенеза. Основными загрязнителями подземных вод региона являются нитраты, хлориды, калий.

4. Оценка природного и природно-техногенного воздействия на подземные воды Карелии основана на использовании прямых, косвенных, индикационных показателей, позволяющих получить интегральную эколого-геохимическую характеристику подземных вод.

Практическая значимость работы заключается в создании постоянно действующей модели состояния подземных вод, что позволяет на качественно новом уровне решать следующие задачи: целенаправленные поиски источников питьевого водоснабжения; прогнозные оценки экологического состояния среды; разработка мероприятий по снижению техногенной нагрузки на водные объекты.

Результаты исследований были использованы: при поисках и оценке запасов подземных вод для водоснабжения городов и поселков (Суоярви, Олонец, Пряжа, Калевала, Поросозеро); для оценки эксплуатационных запасов лечебных радоновых вод для г. Костомукша; для организации и проведения мониторинга на месторождениях подземных вод; при изучении временных изменений химического состава грунтовых вод, используемых для децентрализованного водоснабжения; в экологической экспертизе проектов: выбор места для свалки промышленных отходов Сегежского ЦБК, разработка месторождений строительного камня (Питкяранта, Медвежьегорск), рудных и нерудных месторождений (Аганозерское, Максовское, Средняя Падма).

Апробация работы. Материалы диссертации неоднократно докладывались на научных семинарах лаборатории гидрохимии и гидрогеологии и заседаниях Ученого Совета ИВПС КарНЦ РАН. Отдельные положения диссертации были представлены на следующих международных, всероссийских и региональных научных симпозиумах и конференциях: Всесоюзной конференции «Подземные воды и эволюция геосферы» (Москва, 1986), Всероссийском совещании «Экологические проблемы Севера Европейской территории России» (Апатиты, 1996), Международной конференции «Финно-угорский мир: состояние природы и региональная стратегия защиты окружающей среды» (Сыктывкар, 1997), Всероссийском совещании «Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия» (Апатиты, 1998), Международной конференции «Экологическая геология и рациональное недропользование» (С.-Петербург, 2000), Второй межвузовской молодежной научной конференции «Школа экологической геологии и рационального недропользования» (С.-Петербург, 2001), II Международной конференции «Металлы в окружающей среде» (Вильнюс, 2001), The Second AMAP-International Symposium on Environmental Pollution of the Arctic (Finland, 2002),

Второй международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр» (Москва, 2003).

Личный вклад автора. В основу работы положены результаты исследования подземных вод Карелии, в выполнении которых автор принимал непосредственное участие. Постановка цели и задач, научные разработки, определившие структуру и основные результаты диссертации, обобщение и анализ полученных результатов осуществлены автором самостоятельно.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 27 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложения, общим объемом 225 страниц, содержит 56 рисунков и 27 таблиц. Список литературы включает 248 названий (иностранных 43).

Автор выражает глубокую благодарность и признательность научному руководителю д.г.-м.н., профессору В.В.Куриленко, всем сотрудникам ИВПС КарНЦ и особенно коллегам лаборатории гидрохимии и гидрогеологии за помощь при проведении исследований. Автор пользовался поддержкой, помощью, ценными советами и консультациями к.г.-м.н. Иешинной А.В., к.х.н. Мазухиной С.И., которым выражает особую признательность и благодарность.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Характеристика геоэкологических условий

Физико-географические условия региона характеризуются умеренно-холодным климатом с избыточным увлажнением. Специфика гидрографической сети, принадлежащей к бассейнам Белого и Балтийского морей, определяется ее геологической молодостью, близостью главного Беломорско-Балтийского водораздела к базисам эрозии – Белому морю, Онежскому и Ладожскому озерам. Характерна высокая плотность речной сети, большое количество озер и болот. Большая часть территории Карелии представляет собой холмистую равнину с преобладающими высотами 100-200 м. Частая смена гряд, холмов и понижений придает поверхности чрезвычайно расчлененный характер, несмотря на сравнительно малые относительные высоты.

В геологическом строении региона участвуют сложнодислоцированные и глубокометаморфизованные породы архея и протерозоя, на юге кристаллический фундамент перекрыт верхнепротерозойскими отложениями чехла Русской платформы. Среди кристаллических пород выделяются структурно-формационные комплексы (СФК), некоторые из которых слагают самостоятельные

структуры. К наиболее крупным относятся Ладожский синклиниорий, Онежская мульда. Большую часть территории занимают гранито-гнейсовые поля.

Четвертичный покров имеет крайне неоднородное строение, что обусловлено колебанием мощности осадков (от первых метров до 150 м), различием состава и неравномерным распределением по площади отдельных генетических типов образований.

Гидрогеологические условия подавляющей части территории характеризуются развитием единого безнапорного водоносного комплекса, приуроченного к верхней трещиноватой зоне кристаллического массива и рыхлым четвертичным отложениям. И только на юге и юго-востоке небольшие площади относятся к окраинам артезианского бассейна Русской платформы. На большей части территории подземные воды практически не защищены от загрязнения.

Основными источниками антропогенного загрязнения окружающей среды в регионе являются предприятия целлюлозно-бумажной промышленности, металлургического комплекса, жилищно-коммунальное хозяйство, транспорт. Техногенные процессы в регионе в последнее десятилетие развиваются в обстановке снижения уровня производства в различных отраслях промышленности и низкого уровня развития сельского хозяйства. Основная техногенная нагрузка приходится на водные объекты, на берегах которых располагаются главные промышленные центры республики: Костомукша, Кондопога, Петрозаводск, Сегежа, Питкяранта, Надвоицы. Они создают различные по интенсивности локальные очаги загрязнения, основное влияние которых сказывается на состоянии поверхностных водных объектов. Региональным техногенным фактором являются слабокислые атмосферные выпадения за счет трансграничного переноса воздушных масс.

2. Методические особенности проведения региональных эколого-гидрогеологических исследований.

Теоретической и методической основой исследований послужил экологический подход, предполагающий рассмотрение и оценку состояния экосистем, подверженных воздействию природно-техногенных факторов (Трофимов и Зилинг, 2002; Куриленко, 2003). В работе используются методологические положения и приемы, применяемые в геохимии питьевых вод и поисковой гидрогеохимии. Это касается методики отбора, методов химических анализов, интерпретации полученных материалов, основой чего являются общие законы миграции элементов.

В основу работы положены результаты эколого-гидрогеохимических исследований и работ по поиску и оценке запасов подземных вод на территории Карелии в период 1983-2003 гг., гидрохимической съемки на территории Печенгской структуры (Кольский п-ов) в 1995-96 гг., а также фоновые материалы геоэкологических и гидрогеологических работ. Химико-аналитические работы выполнялись в аккредитованных лабораториях, микрокомпоненты (65 элементов) определялись методом масс-спектрометрии с лазерным испарением.

При обработке материалов применялись методы математической статистики и компьютерные технологии с использованием ГИС ArcView 3.2. В базе данных содержится характеристика 3410 водопунктов трещинных и поровых вод (4800 анализов, из них на микрокомпоненты 700 и содержание Rn 1550), максимальное число параметров - 120.

При оценке состояния подземных вод помимо прямого сравнения концентраций компонентов с их ПДК (для питьевых вод) использовались геохимические коэффициенты и показатели, такие как суммарный показатель загрязнения Z_c , характеризующий эффект воздействия группы элементов (Сагг, 1990), интегральный показатель гидроэкологичности (ГЭ) подземных вод, который учитывает фоновые концентрации элемента, его ПДК и степень токсичности (Иванов, 1994), а также метод биотестирования. Оценка состояния эколого-гидрогеохимических условий выполнялась в соответствии с широко распространенной четырехбалльной классификацией (Трофимов, 2003; Куриленко 2000).

3. Региональная гидрогеохимическая характеристика подземных вод.

На большей части территории Карелии в четвертичных отложениях формируются кислые и слабокислые воды ($pH < 6.5$) с минерализацией менее 0.2 г/л, преимущественно гидрокарбонатные или гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-магниевого, реже кальциево-натриевого состава. На фоне определяющего климатического фактора в формировании химического состава вод четвертичных отложений, выделяются участки, на которых гидродинамические, литологические и другие факторы приобретают существенное значение. Так, повышенная (до 0.5 г/л) минерализация под ледниковых отложений в пределах Онежской мульды определяется влиянием подстилающих пород ятулийского вулканогенно-терригенно-карбонатного и людиловийского заонежско-суйсарского вулканогенно-терригенного СФК с многочисленными интрузиями габбро-долеритов и перидотитов. Изменение состава подземных вод на гидрокарбонатно-хлоридный наблюдается в прибрежной полосе Белого моря. В районах распространения пород основного и ультраосновного состава в четвертичных отложениях формируются околонеутральные и слабощелочные воды.

Резкие отличия в химическом составе вод водно-ледниковых отложений при одинаковой степени минерализации (< 0.1 г/л) наблюдаются при изменении геоморфологических и гидродинамических условий. При этом в «антиклинальном» типе горизонтов формируются кислородсодержащие воды, а в «синклинальном» типе - практически бескислородные воды сульфатного типа с высокими концентрациями Fe (до 33 мг/л) и Mn (до 0.9 мг/л), которые нередко переходят в разряд макрокомпонентов. Резкая смена условий часто происходит на незначительных расстояниях, в таких случаях возникают проблемы при оценке эксплуатационных запасов подземных вод.

Бескислородные воды напорного межледникового онегозерского горизонта отличаются повышенной минерализацией (0.1-0.6 г/л), небольшим диапазоном pH 6.3-7.4, гидрокарбонатным кальциево-магниевым составом с высокими концентрациями Fe (до 40 мг/л) и Mn (до 3.7 мг/л).

Формирование химического состава вод докембрийских структур в большей степени зависит от состава водовмещающих пород. Большую часть территории занимают воды с минерализацией 0.2-1 г/л. Солоноватые (более 1 г/л) воды вскрываются скважинами на юге республики, в Восточном Заонежье, в прибрежной полосе Белого моря. В кристаллических породах значительно меньше распространены кислые и слабокислые воды, они приурочены преимущественно к гранито-гнейсовым полям западной части территории. Большая часть региона занята околонеутральными и слабощелочными водами. Щелочные воды (pH до 9.8) приурочены к породам основного и ультраосновного состава и зонам щелочного метасоматоза.

Несмотря на общность природных и гидрогеологических условий Карельского региона, гидрогеохимические поля основных геологических структур имеют свою специфику. Минимальные величины общей минерализации характерны для вод гранито-гнейсовых полей Западно-Карельской возвышенности. Изменение химизма подземных вод протерозойских структур определяется литолого-фациальными условиями их образования и, в первую очередь, литолого-петрографическим составом. Наибольшее разнообразие в химическом составе и максимальная минерализация характерна для подземных вод, формирующихся в породах Онежской мульды, где в разрезе сочетаются пачки разнообразных первично-глинистых, карбонатных, вулканических и вулканогенно-осадочных, а также чрезвычайно характерных для этого комплекса углеродсодержащих пород. На фоне преобладающих в докембрийских породах гидрокарбонатно-кальциевых вод в Онежской мульде распространены гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-

хлоридные натриевые воды. В районах распространения шунгитсодержащих пород распространены воды гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-магниевого состава. В этой же структуре формируются и «Марциальные воды» уникального сульфатно-гидрокарбонатного магниево-железисто-кальциевого состава с концентрацией железа до 116 мг/л.

Впервые в подземных водах Карелии определены уровни содержания и закономерности распространения всего спектра микрокомпонентов. Абсолютные концентрации их в целом сравнительно низкие. Для различных компонентов они изменяются в широких пределах, от долей и единиц до десятков и сотен мкг/л (табл.). Очень низка встречаемость (<10%) Rh, Ru, Pd, Te, Tm, Lu, Ta, Re, Au, Hg, Tl, Bi, не определены в значимых количествах Hf, Ir, Pt. За фоновые значения элементов приняты медианные концентрации. По величине региональных фоновых содержаний элементы образуют убывающий ряд: Fe-Sr-Ba-Zn-Al-Mn-Li-Br-I-Cu-Sc-Ni-B-Rb-Ti-V-La-Pb-Ce-As-Se-Cr-Mo-Nd-Y-Co-Pr-U-Sb-Cd-Zr-Sm-Ga-Ge-Eu-Gd-Dy-W-Sn-Ag-Cs-Th-(Pd,Te,Re,Au,Hg,Be,Er,Yb,Nb,Ru,Rh,Tb,Ho,Lu,Ta,Tl,Bi).

В главе дается эколого-геохимическая характеристика большинства элементов, но особое внимание уделено элементам, фоновые концентрации которых близки к ПДК для питьевых вод (Fe, Mn, Ba), токсичным и радиоактивным, а также биологически важным элементам, концентрации которых в естественно-природных подземных водах региона, как правило, низки (F, I, Se, Cr, Co, Mo, Ni, V).

Характер распределения большинства микроэлементов в водах различных комплексов пород отличается незначительно. Дифференциация концентраций отдельных элементов связана с региональным зональным и аazonальным распределением эколого-гидрогеологических показателей. Так, гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-хлоридные) натриевые воды людиковия, велсия и венда Онежской мульды и ее обрамления отличаются избытком Ba, медианные значения которого уже выше ПДК, а максимальные достигают 10-20 ПДК, а также повышенными концентрациями Sr, B, Li, иногда I. Повышенные фоновые и максимальные в регионе содержания Ni, Co, Zn, Cd характерны для вод шунгитсодержащих пород. Уровни содержания и формы поливалентных элементов в подземных водах в значительной степени обусловлены окислительно-восстановительной зональностью.

Таблица
Концентрации микроэлементов (мкг/л) в подземных водах Карелии

Элемент	%	Пределы	Фон	Элемент	%	Пределы	Фон
Li	100	0.01-47.7	1.9	Sn	53	<0.02-3.5	0.02
Be	25	<0.02-0.2	<0.02	Sb	90	<0.02-100	0.09
B	80	<1-484	10	Te	8	<0.05-0.53	<0.05
Al	95	0.15-770	35	I	98	<0.2-1600	4.5
Sc	45	<1-15	2.5	Cs	46	<0.01-3.38	0.01
Ti	85	<0.5-36	1.6	Ba	100	3.9-2200	57
V	92	<0.2-15.3	0.9	La	100	0.01-22.6	0.9
Cr	85	<0.1-15.3	0.4	Ce	98	<0.01-53.7	0.52
Mn	100	0.1-6355	24.4	Pr	92	<0.01-4.23	0.10
Fe	90	<10-89370	200	Nd	93	<0.02-16	0.27
Co	90	<0.02-50.6	0.18	Sm	77	<0.02-2.7	0.04
Ni	83	0.5-360	2.0	Eu	62	<0.02-0.44	0.03
Cu	80	0.5-100	2.5	Gd	50	<0.02-1.97	0.03
Zn	100	0.5-1800	36	Tb	35	<0.01-0.3	<0.01
Ga	60	<0.01-0.45	0.03	Dy	31	<0.02-1.79	0.03
Ge	57	<0.01-1.23	0.03	Ho	30	<0.01-0.39	<0.01
As	65	<0.1-69	0.5	Er	20	<0.02-1.18	<0.02
Se	20	<0.5-10	0.5	Tm	10	<0.01-0.16	<0.01
Br	40	<0.5-379	5	Yb	20	<0.02-1.07	<0.02
Rb	100	0.13-39	1.7	Lu	10	<0.01-0.15	<0.01
Sr	100	7-1700	81	Ta	11	<0.01-0.3	<0.01
Y	80	<0.01-9.6	0.17	W	65	<0.02-15.5	0.03
Zr	62	<0.02-12.4	0.05	Re	8	<0.05-1.8	<0.05
Nb	18	<0.01-0.43	<0.01	Au	1	<0.05-0.12	<0.05
Mo	98	<0.02-48	0.38	Hg	3	<0.05-0.68	<0.05
Ru	4	<0.01-0.07	<0.01	Tl	10	<0.01-5.3	<0.01
Rh	7	<0.01-0.04	<0.01	Pb	82	<0.1-75	0.7
Pd	3	<0.05-0.30	<0.05	Bi	8	<0.01-6.7	<0.01
Ag	15	<0.01-0.66	0.01	Th	43	<0.01-1.24	0.01
Cd	75	<0.01-21	0.06	U	90	<0.01-304	0.09

Подземные воды Карелии формируются в различных физико-химических условиях и занимают большой диапазон значений pH и Eh (pH 4.8-9.8 и Eh +20÷560 мВ). Характер связей pH-Eh значительно изменяется в зависимости от конкретных гидродинамических и гидрогеохимических условий среды. Вертикальная окислительно-восстановительная зональность выражается в закономерных изменениях значений Eh с глубиной их формирования: от кислородных вод (Eh>250 мВ), до бескислородных и бессильфидных (Eh 100÷250 мВ) и редко

сульфидных ($Eh < 100$ мВ). Горизонтальная зональность наиболее ярко проявляется в водоносных горизонтах четвертичных отложений и выражается в уменьшении Eh в зависимости от изменений ландшафтных и гидродинамических условий, когда кислородные воды положительных форм рельефа сменяются бескислородными на пониженных участках рельефа, где из-за близкого к поверхности залегания подземных вод происходит заболачивание территории, и кислород расходуется при окислительных и микробиологических процессах.

Широко распространенные железо-марганцевые воды формируются в четвертичных и докембрийских породах в условиях низких положительных значений Eh (< 250 мВ). Марганецсодержащие воды встречаются и при высоких Eh , наиболее часто на территориях, подверженных загрязнению. Максимальные концентрации Mn (3.3-6.4 мг/л) характерны для подземных вод с высоким содержанием органических веществ. Избыточные количества Mn , возможно, усугубляют характер эндемического зоба (Ломоносов, 1990) при недостатке йода, региональная фоновая концентрация которого составляет всего 4 мкг/л. Низкие содержания фтора в водах (в основном 0.01-0.3 мг/л) отражают эндемическое неблагополучие региона по заболеванию кариесом, особенно в сочетании с невысокими концентрациями кальция. Последнее обстоятельство опасно и в связи с развитием флюороза при техногенном поступлении фтора (п.Надвоицы) в количествах, даже не превышающих ПДК. Концентрации Sr в водах региона намного ниже ПДК, но наиболее биогеохимически важно соотношение с Ca , которое в гидрокарбонатных (гидрокарбонатно-хлоридных) натриевых водах протерозойских структур < 100 , что характерно для известных районов урвской эндемии (Крайнов, 1987).

Повышенные и аномальные концентрации радиоактивных элементов (U до сотен мкг/л, Rn до тысяч Бк/л) характерны для подземных вод, приуроченных к системам разломов, которые контролируют размещение основной массы радиоактивных пород разного состава. Аномальные радиогеохимические зоны установлены в разных частях региона, в первую очередь, в юго-западной, центральной и северной Карелии (Савицкий и др., 1992). Воды каждой второй скважины и каждого пятого родника содержат Rn выше допустимого уровня (60 Бк/л), что характеризует этот элемент как один из наиболее экологически опасных природных компонентов подземных вод (рис.).

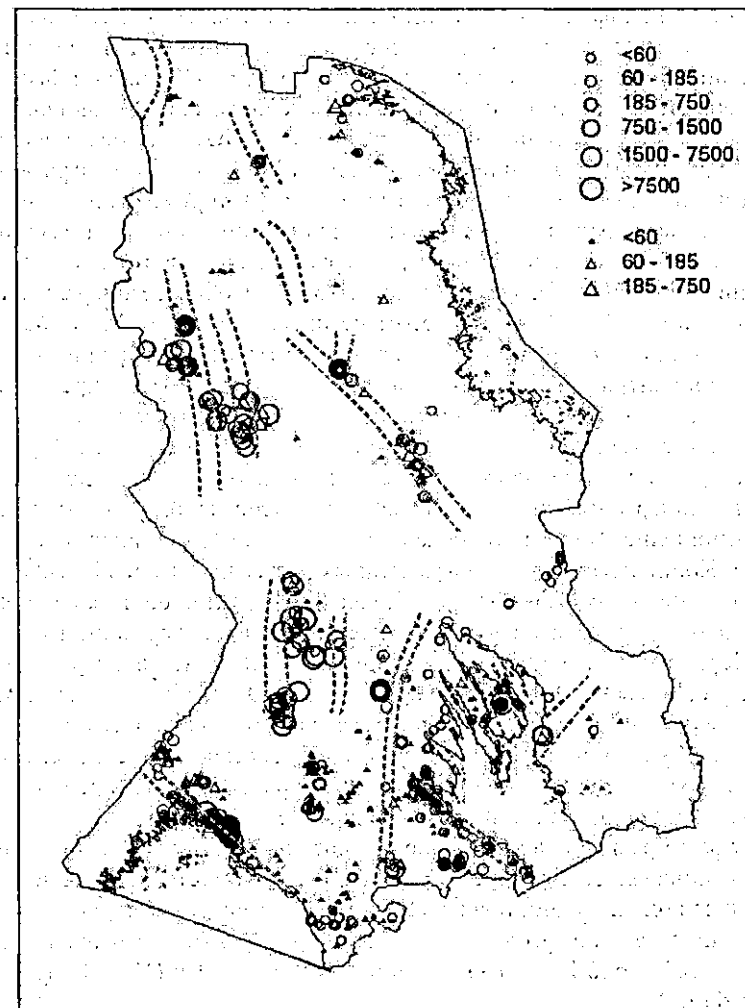


Рис. Концентрация радона (Бк/л) в подземных водах Карелии (треугольник и кружок – водопункты четвертичных и докембрийских пород, пунктирные линии – аномальные радиохимические зоны (по Савицкому и др., 1992).

4. Оценка состояния эколого-геохимических условий подземных вод

Кроме специфических показателей загрязнения подземных вод региона, к числу которых относятся нефтепродукты, фториды, достаточно информативными являются NO_3^- , Cl^- , K^+ (Крайнов и Закутин, 1991; Lahermo, 1990). Естественный фон азотсодержащих компонентов в подземных водах Карелии низкий (мг/л): NO_2^- и NO_3^- - сотые и десятые доли, NH_4^+ - до единиц при низких значениях Eh. В условиях загрязнения с ростом Eh, единственным геохимическим фактором, влияющим на изменение концентраций различных соединений азота в подземных водах, до значений более +200 мВ, содержание NO_3^- достигает высоких значений - 200-330 мг/л, и составляет до 50% от общей минерализации. Концентрации NO_2^- и NH_4^+ при этом не превышают 1 мг/л. Из общего количества проб, отобранных в городах и поселках Карелии в 45% случаев концентрации NO_3^- составляют 9-45 мг/л, в 20% - превышают ПДК. Наблюдается отчетливая пространственная приуроченность нитратного загрязнения подземных вод к населенным пунктам Карелии. На их территориях отмечаются и высокие концентрации K^+ - до 64 мг/л (фоновые содержания для различных комплексов пород 0.7-5 мг/л), при этом отношение Na/K приближается к 1 и иногда становится даже меньше. Концентрация Cl^- в загрязненных водах достигает 200 мг/л при фоновых значениях 0.3-2.6 мг/л. Более 50% родников и колодцев в населенных пунктах вскрывают грунтовые воды с содержанием $\text{Cl}^- > 10$ мг/л. Характерно азональное распределение Cl^- и K^+ в разрезе - их концентрация выше в верхних горизонтах. NO_3^- и Cl^- в загрязненных водах нередко становятся преобладающими компонентами, что свидетельствует о полной метаморфизации состава вод с изменением исходного химического типа (Самарина и др., 1999). Как правило, для таких вод характерно и стойкое бактериальное загрязнение.

Характер распределения микроэлементов в загрязненных подземных водах региона свидетельствует о том, что встречаемость, контрастность и медианные концентрации практически всех элементов выше, чем в водах естественных ландшафтов, но максимальные редко превышают ПДК (мкг/л): в 10% проб Hg (до 1), в единичных пробах Cu (100), Pb (38), Sb (100), Cd (2.1).

Оценка степени загрязнения вод тяжелыми металлами в условиях отсутствия специфического источника загрязнения представляет определенную трудность, поскольку концентрации элементов значительно варьируют во времени и по площади и редко превышают ПДК, и только анализ данных режимного опробования позволил определить наличие аномалий, их природу, устойчивость и интенсивность. Для оценки загрязнения на урбанизированных площадях

использовался суммарный показатель загрязнения Z_c . Характер изменения картины распределения показателя за 7-летний период наблюдений свидетельствует, что на территории Петрозаводска - города со смешанной промышленно-селитебной застройкой при условии, что источники промышленного загрязнения не дают выбросов значительной интенсивности и разобщены в пространстве, не образуется единый комплексный зональный ореол, а формируются полиэлементные аномальные участки без закономерной смены ассоциаций. По этим участкам определить конкретные источники загрязнения микроэлементами трудно, так как не наблюдается специфичность комплексов, и существенную роль в формировании аномалий играют природные факторы. Однако выявляются общие контуры очагов загрязнения подземных вод, приуроченные к неблагоустроенным районам города, и отчетливая пространственная корреляция с аномалиями NO_3^- , что свидетельствует о преимущественно хозяйственно-бытовом источнике поступления поллютантов. Интенсивность загрязнения в отдельные периоды наблюдений по оценочной шкале достигает опасной и чрезвычайно опасной степени (Z_c до 154), а площадь зон значительно изменяется во времени.

На территориях поселков преимущественно сельского типа также формируются природно-техногенные аномалии (Z_c до 70). Стойкое нитратное загрязнение и присутствие в аномалиях элементов, поступающих с минеральными удобрениями (K, Rb, редкоземельных), обусловлено хозяйственно-бытовым и сельскохозяйственным загрязнением.

Для выявления геохимических особенностей техногенных ореолов в городах с мощной промышленной зоной и высокой концентрацией производства рассмотрены условия формирования химического состава грунтовых вод на территории г. Никеля с горнообогатительным комбинатом. Выбросы и стоки горнодобывающей и перерабатывающей промышленности способствуют образованию ореолов опасной и чрезвычайно опасной степени загрязнения подземных (Z_c до 320) и поверхностных (Z_c до 2160) вод, со специфической ассоциацией элементов, включающей металлы Ni, Mn, W, Mo, Co.

Рассмотрены эколого-гидрогеохимические условия на отдельных месторождениях Карелии и Кольского п-ва. Выявленные техногенные аномалии в поверхностных и подземных водах сульфидных месторождений Печенгской структуры могут являться аналогом экологических последствий разработки не только собственно сульфидных, но и нерудных месторождений Карелии (например, шунгитов, обогащенных рудогенными элементами). Гидрогеохимические

условия формирования химического состава подземных вод на месторождении шунгитов и ассоциация приоритетных элементов аномалии (Fe-Mn-Ni-Co-Mo-Cd-As-Zn-U) во многом сходны с условиями и характеристикой аномалий в подземных водах сульфидных месторождений Печенгской структуры, хотя значительно уступают им по интенсивности (максимальные величины Zc достигают 1000 и 40000 соответственно).

С щелочными водами U-V месторождения Средняя Падма, приуроченного к одной из зон структурно-разрывных дислокаций (СРД) Онежской структуры, связаны высокие концентрации аниогенных элементов (мкг/л): В 89-335, Br 58-364, Mo 8.8-36, W 5-15.5, U 20-187. Результаты моделирования показали, что по мере увеличения объемов шахтных вод и сбросе их в водоемы произойдет подщелачивание поверхностных вод, увеличение концентрации Cl^- , K^+ , Mg^{+2} , Na^+ , Sr^{+2} , уран-, ванадий-, молибден- и медьсодержащих комплексов. Как показали исследования (Дубровина, 1999) и оценка качества подземных вод с применением биотестирования, преобладание щелочных металлов над щелочноземельными является для организмов неблагоприятным фактором.

Региональная оценка состояния подземных вод, определяемого природными и техногенными факторами, проведена на основе суммарного показателя гидроэкологичности элементов:

$$ГЭ = \sum_{i=1}^n (K_c T_{Э})_i,$$

где K_c - коэффициент концентрации, T - коэффициент гидротоксичности элемента (I класс - 100, II класс - 50, III класс и общетоксичные элементы - 10), $Э$ -условные показатели, соответствующие значениям коэффициента гидроэкологичности (ГЭФ - отношение фона элемента к его ПДК для пищевых вод).

По снижению значений ГЭФ в подземных водах региона получен следующий ряд: Fe 0.6; Mn 0.24; K 0.12; Ba 0.11; Mg 0.08; Al 0.068; Li 0.063; Cd 0.06; Be, Hg, Tl, 0.05; Na, SO_4 , NO_3 0.03; Cl, Se 0.025; Pb 0.023; B, Rb, Ni 0.02; Ti 0.016; Sr 0.012; As 0.01; Zn 0.007; V 0.004; Cu 0.0025; Co, Cr 0.002; Sb 0.0018; Mo 0.0016; U 0.0015; Nb 0.01; W 0.0006; Ag 0.0002. Полученные значения отличаются от ГЭФ, рассчитанных на основе кларков для речной воды в работе (Иванов, 1994). Для элементов с максимальными значениями ГЭФ (0.01-0.н) условно приняты высокие коэффициенты $Э = 100-20$: Rn, Fe, Mn, Ba, K 100; Al, Mg 90; Li 80; Cd 70; Be, Hg, Tl 60; Se, Pb, Na, SO_4 , NO_3 50; Ni, B, Rb 40; Ti 30; As, Sr 20. Для элементов с меньшими ГЭФ (<0.01) приняты $Э=10$ (Zn, V, Cu, Co, Cr, Sb,

Mo, U, Nb, W, Ag, Ca, Cl). Приведенные оценки коэффициентов гидроэкологичности являются полуколичественными, но дают общее представление о состоянии среды. Показатели ГЭ изменяются в пределах $(0.2-26.5) \cdot 10^5$, на U-V месторождении достигают $376 \cdot 10^5$. В естественно-природных условиях распространения кислородных подземных вод ГЭ не превышает $2 \cdot 10^5$, на участках шунгитсодержащих пород уже фоновая величина ГЭ составляет $3.2 \cdot 10^5$. Аномально высокие показатели ГЭ в загрязненных грунтовых водах обусловлены даже незначительными абсолютными содержаниями экзотических для естественных условий токсичных элементов с максимальными ГЭФ (Tl, Hg, Sb, Be) при постоянно высоких концентрациях компонентов с невысокими ГЭФ (NO_3 , Sr, K, Rb, Ca, Ba). Основной вклад в величину ГЭ вносят высокие концентрации Rn.

Выполненная оценка состояния подземных вод региона на основе критериев, учитывающих избыточное содержание компонентов в среде, свидетельствует о преимущественном распространении вод удовлетворительного (неизмененного) состояния. Подземные воды условно удовлетворительного и неудовлетворительного состояния имеют локальное распространение и приурочены к аномалиям, возникающих в природных условиях (зоны метасоматоза, глинисто-терригенные и особенно шунгитсодержащие породы) или под воздействием техногенных факторов (преимущественно хозяйственно-бытовое загрязнение). Наибольшую опасность представляют радиогеохимические зоны, часто совпадающие с СРД, в пределах которых состояние эколого-гидрогеохимических условий по содержанию Rn в подземных водах классифицируется как катастрофическое.

Заключение

1. На территории региона формируются преимущественно пресные и ультрапресные подземные воды, разнообразие химического состава которых определяется неоднозначным проявлением природных и антропогенных факторов.
2. Региональная гидрогеохимическая зональность устанавливается в соответствии с закономерностями увеличения минерализации и изменения химического состава подземных вод, обусловленными физико-географическими и геолого-гидрогеологическими факторами, и в большей степени изменением литолого-петрографического состава водовмещающих пород: от четвертичных до докембрийских, а в пределах последних - от архейских гранито-гнейсов до вулканогенно-терригенно-карбонатных комплексов нижнепротерозойских структур.

3. Впервые для подземных вод Карелии определены уровни содержания всего спектра микроэлементов. Абсолютные содержания большинства из них низкие. По величине региональных фоновых концентраций элементы образуют убывающий ряд: Fe-Sr-Ba-Zn-Al-Mn-Li-Br-I-Cu-Sc-Ni-B-Rb-Ti-V-La-Pb-Ce-As-Se-Cr-Mo-Nd-Y-Co-Pr-U-Sb-Cd-Zr-Sm-Ga-Ge-Eu-Gd-Dy-W-Sn-Ag-Cs-Th-(Pd,Te,Re,Au,Hg,Be,Er,Yb,Nb,Ru,Rh,Tb,Ho,Lu,Ta,Tl,Bi).
4. Характер распределения большинства микроэлементов в водах различных комплексов пород отличается незначительно. Дифференциация концентраций отдельных элементов связана с региональным зональным (Ba, Sr, Li, B, I) и аazonальным (рудогенные) распределением эколого-гидрогеохимических показателей. Уровни содержания и формы поливалентных элементов в подземных водах региона в значительной степени обусловлены окислительно-восстановительной зональностью. Вертикальная выражается в уменьшении величины Eh с глубиной формирования подземных вод во всех комплексах пород. Горизонтальная характерна для вод четвертичных отложений и устанавливается в соответствии с изменением ландшафтных и гидродинамических условий, в результате чего в песчаных горизонтах «синклинального» типа формируются ультрапресные воды с высокими концентрациями Fe и Mn.
5. Основное антропогенное воздействие на подземные воды Карелии связано с хозяйственно-бытовым загрязнением, которое выражается, прежде всего, в увеличении концентраций NO_3^- , Cl^- , K^+ и микробиологических показателей. Оценка степени загрязнения подземных вод микроэлементами показала, что на территориях, где нет источников промышленного загрязнения или они не дают выбросов значительной интенсивности, образования единого комплексного зонального ореола не происходит, а формируются полиэлементные аномальные участки без закономерной смены ассоциаций. Загрязнение подземных вод в городах с интенсивным промышленным производством приводит к образованию аномалий со специфической ассоциацией элементов: в г. Никеле (медно-никелевый ГОК) - Ni-Cu-Co-Su, в п.Надвоицы (алюминиевое производство) - F.
6. Приведены характеристики природных и природно-техногенных гидрогеохимических аномалий на отдельных месторождениях Онежской и Печенгской структур. Показано, что в подземных водах шунгитов, обогащенных сульфидами, формируется аномалия во многом сходная с гидрохимическими аномалиями на сульфидных месторождениях Печенгской структуры. Сброс шахтных вод в озерно-речную систему при эксплуатации U-V месторождения Средняя Падма

приведет к подщелачиванию поверхностных вод и увеличению концентраций Cl^- , K^+ , Mg^{+2} , Na^+ , Sr^{+2} , уран-, ванадий-, молибден- и медьсодержащих комплексных соединений.

7. Выявленные природно-техногенные гидрогеохимические аномалии Карелии обусловлены не только избытком отдельных элементов и соединений (Rn, Fe, Mn, U, Ba, NO_3^- , Cl, K), но и недостатком биологически важных (Ca, Mg, I, F, Cr, Co, Mo, Se, Ni, Sn, V), а также экологически неблагоприятным соотношением некоторых элементов (Ca и F, Ca и Sr, Mn и I, Na и K).
8. Показано, что преимущественное распространение на территории региона имеют подземные воды удовлетворительного (неизмененного) состояния. Воды условно удовлетворительного и неудовлетворительного состояния имеют локальное распространение и связаны с природными и природно-техногенными аномалиями. Среди природных наибольшую экологическую опасность представляют радоновые аномалии.

По материалам диссертации опубликованы следующие основные работы:

1. Физико-химическое моделирование в системе порода-вода //Подземные воды и эволюция литосферы. Матер. всесоюз. конф. М. Наука, 1985. Т.2. С.328-332. (Соавторы Самарина В.С., Иешина А.В., Куличенко Г.П.)
2. Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии. Петрозаводск, 1987. 151с. (Соавторы Иешина А.В., Поленов И.К., Богачев М.А., Теруков В.С., Логинова Л.Ф., Перская Е.А.)
3. Гидрогеологические условия и гидрогеохимическая зональность подземных вод северной части побережья Повенецкого залива //Большая губа Повенецкого залива Онежского озера. Петрозаводск, 1992. С.50-53.
4. Флюидные включения в минералах как составляющая часть водорастворимого комплекса кристаллических пород //Методика исследований и гидрогеологическая зональность. Препринт доклада. Петрозаводск, 1993. С. 3-11.
5. Изменение состава подземных вод в условиях городской техногенной системы //50 лет Карельскому научному центру Российской Академии наук. Тез. докл., Петрозаводск, 1996. С. 87-88.
6. Изменение состава подземных вод под влиянием антропогенной нагрузки на примере Западного Прионежья //Экологические проблемы севера Европейской территории России. Тез. докл. Апатиты, 1996. С. 46-47.
7. Техногенное влияние на состав природных вод в районе деятельности ГОКа «Печенганикель» //Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия. Тез. докл. всесоюз. конф. Апатиты, 1998. С. 114-115. (Соавтор А.В.Иешина)

8. Инженерно-экологические проблемы использования подземных вод для водоснабжения //Инженерная экология. 1998. №5. С.57-62. (Соавтор Н.Е.Перский)

9. Решение проблемы питьевого водоснабжения Карелии на основе подземных вод четвертичных отложений //Экологическая геология и рациональное недропользование. Матер. конф. С-Петербург, 2000. С. 154-155. (Соавторы М.А.Богачев; Р.Паартикиви; А.Саркиной)

10. Оценка состояния подземных вод Карелии с помощью аналитической экспертной системы //Экологическая геология и рациональное недропользование. Материалы конф. С-Петербург, 2000. С. 155-157. (Соавтор Перский Н.Е.)

11. Радиоактивные элементы в подземных водах Карелии //Радон, гелий и другие радиогенные компоненты в природных водах: экологические и научные аспекты. Тез. докл. С-Петербург., 2000. С. 42-44. (Соавтор Богачев М.А.)

12. Формы миграции элементов в природных водах уран-ванадиевого месторождения //Школа экологической геологии и рационального недропользования. Материалы конф. С.-Петербург, 2001. 209-211. (Соавтор Мазухина С.И.)

13. Физико-химическое моделирование состава природных вод уран-ванадиевого месторождения //Геоэкология, 2002, № 6. С.445-454. (Соавтор Мазухина С.И.)

14. Использование подземных вод Карелии для водоснабжения //Водная среда Карелии: исследование, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 66-72. (Соавтор Тренин В.В.)

15. Оценка качества подземных вод месторождения Средняя Падма методом биотестирования //Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр. Матер. второй междунар. конф. Москва, 2003. С.295-296. (Соавторы Мазухина С.И., Дубровина Л.В.)

16. Hydrogeology of Karelia: major lines of research and prospects of development //Proc. of the Scientific Conference held in Karelian Research Centre RAS within framework of the Days of Norway in Republic of Karelia. Petrozavodsk, 1998. P. 74-75.

17. Springs along the Astervajarvi nature path in Paanajarvi National Park //Oulanka Reports, University of Oulu. № 25, 2001. P.5-8. (Соавтор Ю.И.Сыстра)

Изд. лиц. № 00041 от 30.08.99. Подписано в печать 21.11.03. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Гарнитура «Times». Печать офсетная.

Уч.-изд. л. 1,0. Усл. печ. л. 1,2. Тираж 100 экз. Изд. № 69. Заказ № 380

Карельский научный центр РАН
185003, Петрозаводск, пр. А. Невского, 50
Редакционно-издательский отдел