

УДК 628.112 (470.21)

Исследование подземных источников для водоснабжения городов Заполярья экологически чистой водой на примере города Апатиты

*В.П. Коныхин, доктор технических наук,
А.А. Козырев, доктор технических наук,
А.О. Орлов, Ю.Г. Смирнов,
Горный институт Кольского научного центра РАН*

В статье представлены результаты исследований подземных источников для водоснабжения населённых пунктов экологически чистой водой и оценка возможности решения рассматриваемой проблемы на примере города Апатиты.

Активная эксплуатация горнопромышленных комплексов России оказывает негативное воздействие на все компоненты биосферы: водный и воздушный бассейны, почву, растительный и животный мир. В настоящее время преодоление экологического неблагополучия некоторых территорий и регионов страны стало проблемой исключительной важности.

Существующая экологическая обстановка в российских городах в первую очередь отрицательно сказывается на здоровье населения. Всё более очевидным становится то, что наше здоровье в определенной степени зависит от качества питьевой воды, и это вызывает большую озабоченность специалистов и населения.

Так, например, неблагоприятное влияние низкого содержания в воде солей жесткости и фтора создает риск развития патологии костей, сердечно-сосудистых заболеваний и кариеса. В случае дефицита кальция в воде прогрессируют заболевания сердечно-сосудистой системы (гипертония, ишемическая болезнь сердца и коронарной системы, паралич), а также развитие рахита и риск возникновения таких заболеваний как остеопороз (размягчение костей), нарушение функционального состояния сердечной мышцы и процесса свертываемости крови. В случае дефицита магния возрастает риск смертности детей до года и риск проявления нервно-мышечных и психиатрических симптомов, тахикардии

и фибрилляции сердечной мышцы, гипомagneмии (пониженное содержание магния в крови) [1].

В качестве такого примера можно рассматривать г. Апатиты и его окрестности. Город расположен в Мурманской области в центре Кольского полуострова. Экономическую базу города, прежде всего, составляет горнопромышленный комплекс, который является основным производителем апатитового концентрата и одновременно основным источником техногенного загрязнения.

В процессе горного производства образуются отвалы пустых пород и отходов переработки, которые оказывают отрицательное влияние на окружающую среду. Стационарными источниками выбросов загрязняющих веществ являются отвалы хвостов обогатительной фабрики ОАО «Апатит» и «Апатитской ТЭЦ», выбрасывающие в атмосферу пыль, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота и другие элементы. В результате многолетнего техногенного воздействия изменился природный ландшафт, увеличился уровень загрязнения воздуха и, главное, резко ухудшилось качество поверхностных вод.

В настоящее время единственным источником воды для хозяйственного и питьевого водоснабжения г. Апатиты является озеро Имандра, несмотря на то, что в озеро поступают сточные воды городов и предприятий, расположенных на его берегах. Следует также отметить, что в озеро Имандра впадают реки Белая и Жемчужная, в которые также осуществляется сброс хозяйственно-бытовых и сточных вод.

Установлено, что по санитарно-микробиологическим показателям воды этих рек также характеризуются как загрязненные, а присутствие тяжелых металлов и микроэлементов в сточных водах горнорудных предприятий ОАО «Апатит» является весьма высоким. По данным независимых экспертов озеро Имандра считается самым загрязненным промышленными и бытовыми стоками из всех водоемов Мурманской области [2].

При существующей схеме водоснабжения вода из озера Имандра подается по металлическим трубам протяженностью 9 км на насосную станцию ОАО «Апатитводоканал», где проходит обработку на водоочистных сооружениях г. Апатиты.

Вода характеризуется низким содержанием форм азота (аммонийного, нитритов, нитратов), малой общей минерализацией — сухой остаток 75–90 мг/л, и общей жесткостью около 0.3 мг-экв./л. Последние два фактора обуславливают высокие концентрации растворённого кислорода 11–12.5 мг/л

и свободной углекислоты 2.6–2.9 мг/л, что является причиной высокой коррозионной активности воды, приводящей к вторичным загрязнениям в трубопроводах.

Распределительная водопроводная сеть насчитывает более 90 км труб внутренним диаметром от 50 до 1000 мм. Основными материалами труб являются сталь и чугун, хотя в последнее время на предприятии всё большее применение находят трубы из полиэтилена низкого давления, которые позволяют снизить вторичное загрязнение воды продуктами окисления металлов и зарастание внутреннего сечения. Это говорит о развитии бактериальной жизни в трубах водопроводной сети (в частности, железобактерий), вызывающих зарастание труб.

В зависимости от времени суток фактическая скорость в магистральных водоводах составляет 0.25–0.13 м/с. Время пребывания питьевой воды в сооружениях и водоводах равно минимум 10 час, а в среднем — 14 час.

Резонно утверждать, что в качестве источника питьевой воды озеро Имандра не отвечает требованиям первого класса, на которые рассчитаны используемые традиционные технологии водоочистки: коагуляция, отстаивание, песочная фильтрация, а также обеззараживание воды хлором, так как оно относится к водоемам с высоким уровнем антропогенного загрязнения.

Для исправления сложившейся ситуации со снабжением питьевой водой было принято решение по оценке возможности использования подземных источников, расположенных в окрестностях города. В результате разведочных работ в долине реки Малая Белая был выявлен напорный водоносный горизонт, характеризующийся высокими фильтрационными свойствами.

Месторождение расположено на юго-западном склоне Хибинских гор в 16 км северо-западнее г. Апатиты и приурочено к долине реки Малая Белая (рис. 1). Показательно то, что формирование запасов подземных вод месторождения происходит за счет естественных ресурсов основного горизонта. Хорошая обнаженность Хибинского массива, а также интенсивная трещиноватость обеспечивают беспрепятственную инфильтрацию атмосферной влаги через зону аэрации, создают благоприятные условия для питания вод основного горизонта в бортах и ложе долины.

Естественные ресурсы были оценены величиной 76.3 тыс. куб. м/сутки по годовому подземному стоку 90%-ной обеспеченности. Возраст

подземных вод составляет 7.5 года для вод трещиноватых коренных пород и 4.4 года для вод четвертичных отложений [3].

С целью уточнения запасов, качества воды и возможности использования месторождения подземных вод в долине реки Малой Белой для водоснабжения г. Апатиты и его пригородов были проведены независимые экспертные исследования рассматриваемой проблемы.

состав воды и проведены дополнительные полевые геофизические исследования площадки и трассы трубопровода. Результаты исследований позволяют сделать следующую оценку месторождения подземных вод в районе реки Малая Белая.

В процессе разведки месторождения в предыдущие годы были выполнены опытные гидрогеологические работы и режимные наблюдения, геофизические исследования методами электро-

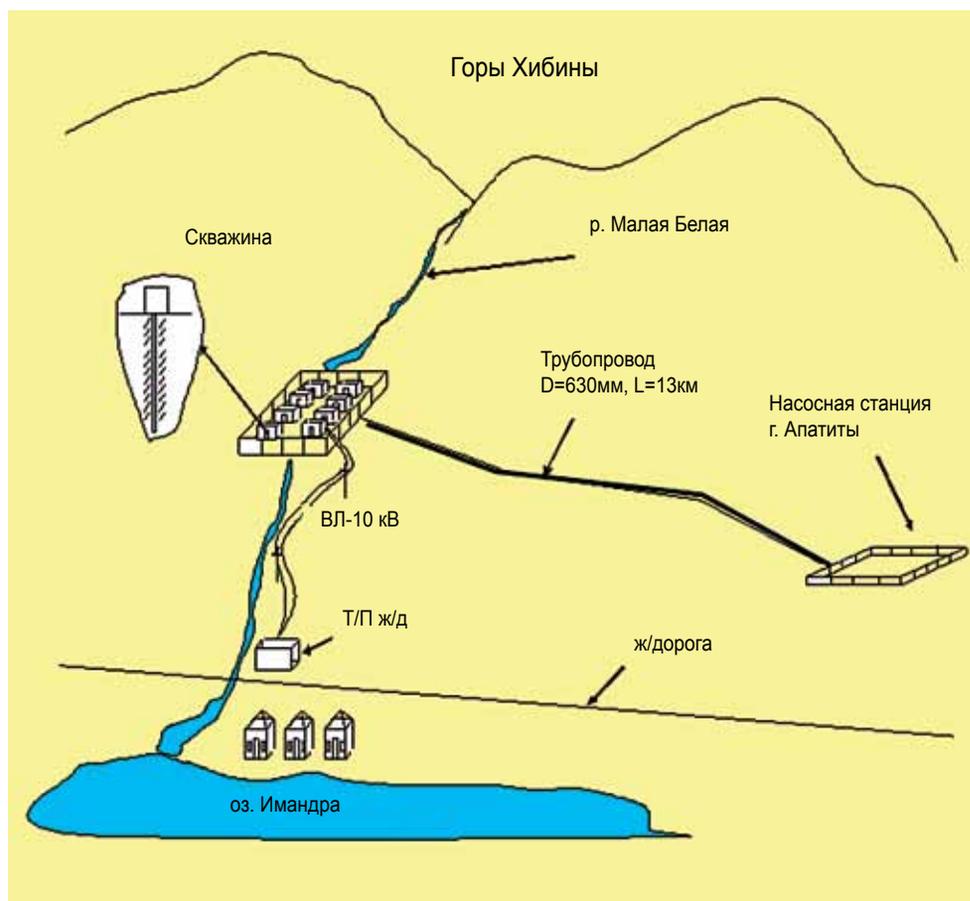


Рис. 1
Месторождение подземных вод вблизи г. Апатиты

В этих исследованиях кроме авторов данной статьи принимали участие эксперты Геологической службы Финляндии (ГТК) Ристо Пиетла, Йоуни Пихлая, Марти Меламиес, Юхо Купила, Ульпу Вайсянен, Ритта Похйола, Хейкки Сутинен, Олли Брейлин, Питер Йохансон, Юкка Райсанен, а также группа российских специалистов в составе В.Г. Зайцева, Н.Г. Михаэлис, В.Н. Колобова.

Эксперты проанализировали все имеющиеся геологические, геофизические и гидрогеологические данные по месторождению подземных вод в районе реки Малая Белая. Был детально изучен химический

разведки ВЭЗ и сейсморазведки КМПВ, «возраст» подземных вод определялся изотопным методом.

Месторождение расположено в межгорной долине, состав которой представлен четвертичными ледниковыми и водо-ледниковыми отложениями. Подземные воды приурочены к песчаным разностям в четвертичных отложениях, а также к трещиноватым скальным породам фундамента.

На всей площади предполагаемого водозабора первым от поверхности на глубине 0.3–1.5м залегает грунтовый водоносный безнапорный горизонт. Мощность горизонта изменяется от 3.9м до 5.9м.

Фильтрационные свойства водовмещающих пород изменяются в широких пределах от 2.26 м/сут до 60.64 м/сут. Питание горизонта осуществляется за счет атмосферных осадков. Режим подземных вод горизонта совпадает с режимом поверхностных вод реки.

Верхний напорный слой водно-ледникового горизонта находится на глубине от 9.4м на левобережье реки до 14.5м на правобережье. Мощность водоносного слоя не равномерна по площади и составляет от 1.25м до 7.4м. Водовмещающие породы представлены гравийно-галечниковыми разностями различной зернистости. Величина напора подземных вод изменяется от 10.55м до 15.9м. Коэффициенты фильтрации составляют 8.12–28.89 м/сут.

Эксплуатационные запасы подземных вод обеспечиваются естественными ресурсами основного водоносного горизонта. Основной напорный водоносный горизонт водно-ледниковых отложений залегает под мореной, разделён прослоем супесей на два напорных слоя, гидравлически связанных между собой. Суммарная мощность водоносного напорного горизонта изменяется от 22,6м до 40,9м, составляя в среднем 34,0м.

Разделяющий слабоводоносный ледниковый слой распространён по всему участку проектируемого водозабора. Глубина залегания разделяющего слоя 16.8м–27.0м. Его мощность непостоянна, изменяется от 2.0м до 10.6м, составляя в среднем 6.1м. Нижний напорный слой водно-ледникового горизонта залегает на глубине 18.8м–31.2м от поверхности непосредственно на скальных породах. Мощность нижнего напорного слоя составляет в среднем 18.2м.

Подземные воды, связанные со скальными породами, приурочены к трещинам в них. Величина напора изменяется от 47.4м до 62.45м.

Водоносный комплекс характеризуется довольно высокими фильтрационными свойствами: удельные дебиты изменяются от 1.32 до 3.64 л/см, коэффициент фильтрации составляет 1.51–16.8 м/сут, что связано с интенсивной трещиноватостью скальных пород. Продуктивный горизонт на участке водозабора обладает наилучшими фильтрационными свойствами.

Геофизические исследования площадки осуществлялись с помощью георадара. По результатам исследований была построена трехмерная модель долины реки. На *рисунке 2* показана трехмерная модель долины реки с разделением на коренные породы и горизонт грунтовых вод. На *рисунке*

2d (С-В направление) видно, что скальные породы расположены очень глубоко. Уровни грунтовых вод являются результатами интерполированных данных.

Трехмерная модель основана на существующих геологических данных и данных, собранных во время полевых исследований. Полученные данные были представлены в цифровом виде и подтверждены геологическими изысканиями с помощью GIS- программного обеспечения.

Можно отметить, что в изучаемом районе слой грунта и слой грунтовых вод очень мощные, особенно в С-3 части данного района. Толщина слоев грунта разная — от 1 до 100 метров, а толщина слоя грунта, насыщенного грунтовыми водами, составляет 13–84 метра.

Также были проведены геофизические исследования предполагаемой трассы прокладки водопровода. Протяженность участка водопровода от района водозабора до насосной станции Апатиты-Водоканал (второй подъем) составляет 12км. Абсолютное превышение района водозабора составляет, приблизительно, 200м и 149м в районе насосной станции Апатиты-Водоканал. Таким образом, относительная разность между участком водозабора и участком насосной станции Апатиты-Водоканал составляет приблизительно 50м. Поскольку в данном месторождении подземных вод есть давление, вода может поступать в город Апатиты естественным образом. На протяжении своего маршрута водопровод пересекает множество малых рек и ручьев, стекающих с юго-западных склонов Хибинских гор.

По маршруту водопровода материнские породы перекрыты рыхлыми четвертичными отложениями и не выходят на поверхность. Мощность рыхлых перекрывающих пород по маршруту водопровода составляет 2–6м, в то время как в районе малых рек и ручьев – до 30м. На участках ледниковых форм рельефа мощность перекрывающих пород составляет до 10м. По результатам работ была сделана корректировка расположения некоторых участков трассы. Фрагмент георадарного профиля с расположением скальной породы показан на *рис. 3*.

Для оценки химического состава производился отбор проб воды из наблюдательных скважин. Пробы грунтовых вод были, главным образом, основными. Имелась небольшая разница в значениях рН, полученных при полевых измерениях и в лабораториях Финляндии и России. Значения рН по различным скважинам составили 7.6–9.65 в поле

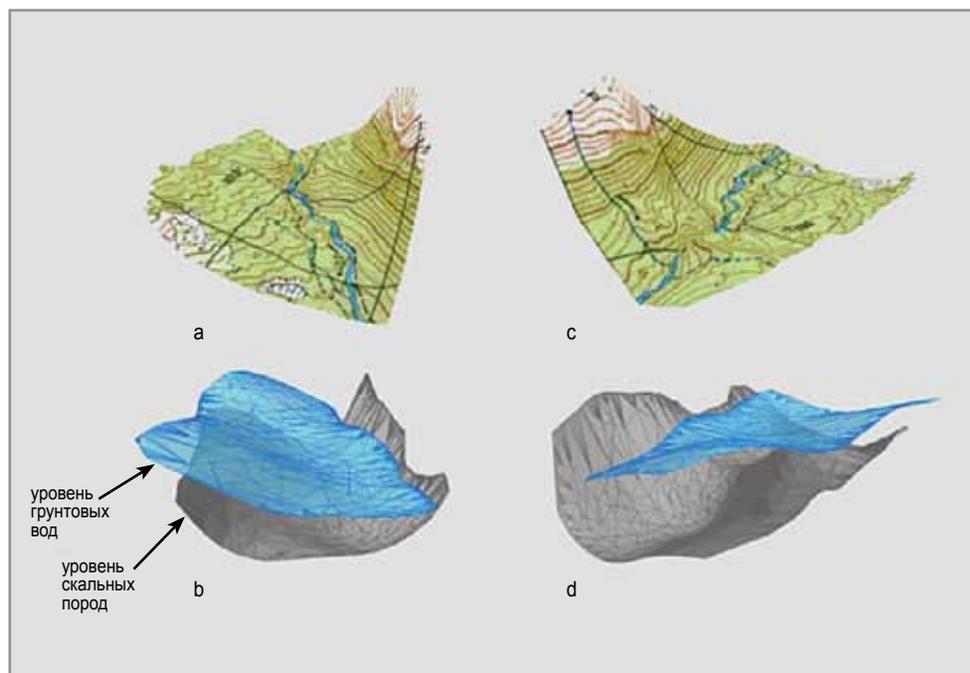


Рис. 2
3D-модель долины реки Малая Белая

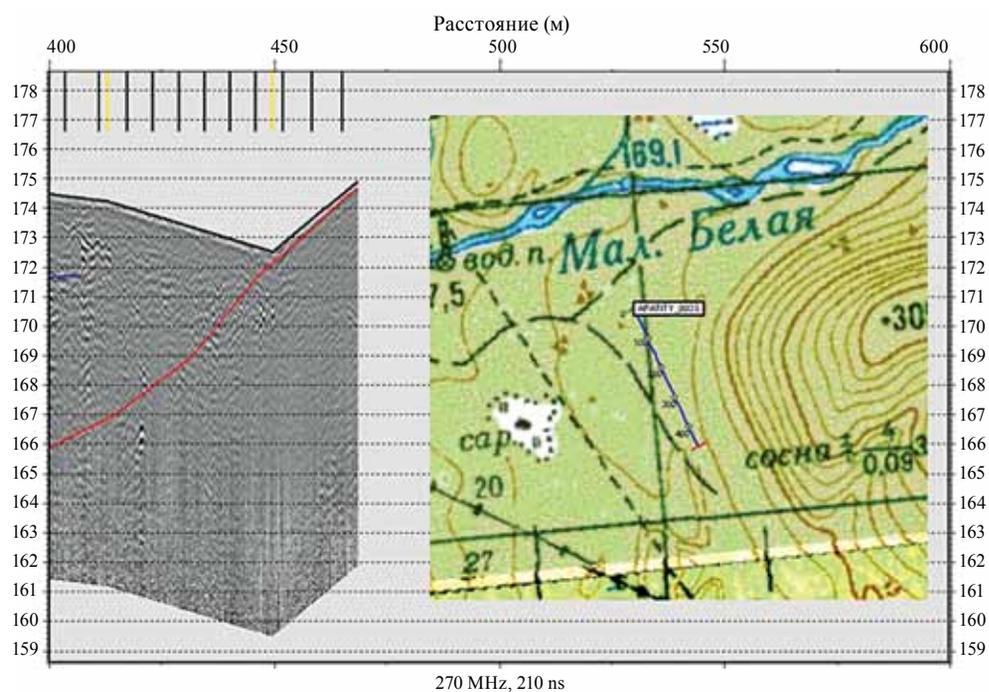


Рис. 3
Фрагмент георадарного профиля
(красным цветом отмечено расположение скальной породы)

Таблица 1

Содержание металлов в подземных водах наблюдательных скважин

Объект	Медь мг/л	Цинк мг/л	Хром 6-вал. мг/л	Кадмий мг/л	Марганец мг/л	Никель мг/л	Кобальт мг/л	Свинец мг/л
Скв.33.1	0.0005	0.0014	<0.0005	<0.0001	0.007	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Скв.33.2	0.0005	0.0014	<0.0005	<0.0001		<0.0005	<0.0005	<0.0005
Скв.32.1	0.0007	0.0011	<0.0005	<0.0001	0.005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Скв.32.2	0.0007	0.0011	<0.0005	<0.0001		<0.0005	<0.0005	<0.0005
Скв.35	0.0008	0.0014	0.0008	<0.0001	0.009	0.0007	0.0015	0.0007
Скв.10R					0.006	0.0008	<0.0005	<0.0005
Скв.2E					0.006	0.0007	<0.0005	<0.0005
Скв.36	0.0007	0.0012	0.0007	<0.0001	0.011	<0.0005	0.0014	0.0007
Скв.12.1		0.0014		<0.0001	0.008	<0.0005	<0.0005	0.0011
Скв.12.2			<0.0005	<0.0001	0.008	<0.0005	<0.0005	0.0011
Река	0.0022	0.0032	0.0009	<0.0001	0.018	0.0009	0.0008	0.0008

и 7.28–9.63 в лаборатории. Величина электропроводности составила 2.5–7.8 мС/м – в поле и 2.1–7.6 мС/м – в лаборатории.

Почти все концентрации серебра, бериллия, самородного висмута, кобальта, хрома, меди, железа, лития, никеля, люминофора (фосфора), свинца, селена и таллия были ниже предела чувствительности (таблица 1). Концентрации других элементов были также ниже предельно-допустимых значений (таблица 2). Определение содержания сульфатов, гидрокарбонатов и силикатов на данном этапе работ по указанным скважинам не проводилось, общая минерализация не определялась.

Количество воды, поступающее в реку Малая Белая из подземных источников, очень большое, различия в концентрациях при выполнении анализов были, в основном, незначительными. Для решения проблемы качества питьевой воды для населения города Апатиты необходимо использование подземных источников водо-

снабжения, которые являются наиболее защищёнными от загрязняющих воздействий и отличаются высоким качеством.

Одна из разведочных скважин месторождения подземной воды вблизи г. Апатиты показана на рисунке 4. Система мероприятий по улучшению качества водопроводной воды действующего водоисточника «Озеро Имандра» и проекта перехода на новый подземный источник водоснабжения «Малая Белая» различаются величиной единовременных затрат.

Резкая расчлененность рельефа и выпадение значительного количества осадков благоприятствуют восполнению естественных ресурсов подземных вод. Количество выпадающих за год осадков колеблется в пределах 900–1600 мм. За теплый период выпадает до 45% годовой суммы осадков, что благоприятно сказывается на питании грунтовых вод. Испарения с поверхности почвы характеризуются малой величиной (около 160 мм в год).

Сведения о качестве подземных вод из наблюдательных скважин

Объект	рН 20°С	Цветность, градусы	Жесткость, ммоль/л	Са, ммоль/л	Al, мг/л	Железо, мг/л	Бор, мг/л	Хлориды, мг/л	Щелочность, ммоль/л
Норматив по СанПин	6,0-9,0	20-35	1,7	30-140	0,2	0,3	0,5	350	0,5-6,5
Скв. 33.1	8.77	0.0	0.02	0.02	0.05	< 0.05	< 0.05	0.80	0.50
Скв. 33.2	8.50	0.0	0.03	0.03	0.05	< 0.05	< 0.05	1.00	0.40
Скв. 32.1	8.63	0.0	0.05	0.05	0.04	< 0.05	< 0.05	1.00	0.50
Скв. 32.2	8.63	0.0	0.07	0.07	0.03	< 0.05	< 0.05	1.00	0.46
Скв. 35	8.66	0.0	0.25	0.25	0.05	< 0.05	< 0.05	1.00	0.40
Скв. 10R	9.63	0.0	0.05	0.05	0.03	< 0.05	< 0.05	1.50	0.50
Скв. 2 E	8.83	0.0	0.25	0.25	0.07	< 0.05	< 0.05	1.00	0.43
Скв. 13.2	8.71	0.0	0.06	0.06	0.05	< 0.05	< 0.05	0.80	0.46
Скв. 9.2	9.10	0.0	0.02	0.02	0.10	< 0.05	< 0.05	1.00	0.40
Скв. 36	9.11	0.0	0.00	0.00	0.18	< 0.05	< 0.05	1.00	0.40
Скв. 12.1	8.44	0.0	0.02	0.02	0.06	< 0.05	< 0.05	1.00	0.40
Скв. 12.2	8.82	0.0	0.03	0.03	0.07	< 0.05	< 0.05	1.00	0.40
Скв. 7	8,56	0,0	0,00	0,00	0,51	< 0,05	< 0,05	1,00	0,50
Река	7,43	1,8	0,05	0,05	0,02	< 0,05	< 0,05	0,80	0,30



Скважина 35, «Малая Белая»

Рис. 4

Разведочная скважина месторождения подземной воды вблизи г. Апатиты

Водосборная площадь долины составляет 79,9 км², понижение уровневой поверхности подземных вод при работе водозабора не превысит 2м на расстоянии 2,5км. Участок для водозабора выбран в зоне транзита подземных вод, выше зоны разгрузки основного водоносного горизонта. Ущерб речному стоку при эксплуатации составит 27% от среднегодового подземного стока.

По результатам выполненных исследований был рекомендован площадной водозабор из 8-ми скважин глубиной 41–56м с проектной производительностью 3750 куб. м в сутки каждая.

Эксперты геологической службы Финляндии и Горного института Кольского научного центра РАН пришли к общему однозначному заключению: для города Апатиты лучшим решением обеспечения его чистой питьевой водой является переход на

использование подземных источников в районе реки Малая Белая.

Литература

1. Рахманин Ю.А. и др. Сборник «Региональные проблемы и управление здоровьем населения России», С. 414–426, М., 1996.
2. Сандимиров С.С., Кашулин Н.А., Евдокимова Г.А., Кошкин В.В. ИС-анализ техногенного загрязнения хибинских рек и озер в результате деятельности горного и обогатительного производства, Журнал «ARCREVIEW», № 4 (31), 2004.
3. Леонов С.Н. Отчёт «Поиски подземных вод для водоснабжения г. Апатиты Мурманской области, проведенные в 1976–1978 гг.», 1978 г.