

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО “НЕДРАИНВЕСТ”  
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ “БЕЛАРУСЬГЕОЛОГИЯ”  
БЕЛОРУССКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ

Р.А.Станкевич

# МИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ГЛУБОКИХ АРТЕЗИАНСКИХ ВОД

---

Краткий  
очерк  
природных  
условий  
и истории  
освоения

МИНСК  
“БЕЛАРУСКАЯ НАВУКА”  
1997

УДК 551.49:628.112.2

**Станкевич Р. А. Минское месторождение глубоких артезианских вод: Краткий очерк природных условий и истории освоения. — Мн.: Беларуская навука, 1997.— 87 с. — ISBN 985-08-0022-4.**

Книга знакомит читателя с уникальным месторождением глубоких подземных вод, которое является одним из важных источников водоснабжения Минска. Изложены особенности гидродинамики и гидрохимии, формирования высоких гигиенических свойств воды с повышенным содержанием фтора, условий экологической защищенности и многолетней эксплуатации.

Рассчитана на широкий круг специалистов — гидрогеологов, геологов, геохимиков, водоснабженцев, стоматологов, гигиенистов, терапевтов, экологов, а также читателей, интересующихся природой и источниками водоснабжения.

Табл. 7. Ил. 14. Библиогр.: 26 назв.

**Рецензенты:**

д-р техн. наук Э. И. Михневич,  
д-р мед. наук Э. М. Мельниченко

ISBN 985-08-0022-4

© Р. А. Станкевич, 1997

*Вода! У тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя невозможно описать, тобой наслаждаются, не ведая, что ты такое. Нельзя сказать, что ты необходима для жизни, ты — сама жизнь! Ты наполняешь радостью, которую не объяснишь нашими чувствами. С тобой возвращаются к нам силы, с которыми мы уже простились. По твоей милости в нас вновь начинают бурлить высохшие родники нашего сердца. Ты — самое большое богатство на свете!*

**Антуан де Сент-Экзюпери  
(1900—1944)**

## Предисловие

Среди крупных городов с населением свыше одного миллиона человек Минск долгое время лидировал как город, в котором для водоснабжения использовались исключительно подземные источники. Далеко разносилась слава о высоком качестве минской водопроводной воды, что вполне соответствовало реальности. Других альтернативных водоисточников для бытовых и промышленных целей не было на протяжении многих лет.

В отличие от других областных городов, стоящих на крупных реках, столица Беларуси лишена такого дара природы, хотя численность населения в Минске больше, чем в остальных областных центрах, вместе взятых. Тем не менее вода всегда бесперебойно поступала во все квартиры и дома, на предприятия и в учреждения, в плавательные бассейны и бани. Основной ее источник — подземные артезианские воды, наше богатство и важнейший материальный ресурс, настоящее национальное достояние страны.

С ростом города возрастал и объем добычи подземных вод. Изыскания новых источников и проектирование водозаборов развивались опережающими темпами. Длительные и напряженные поисково-разведочные гидрогеологические исследования позволили открыть в окрестностях Минска ряд крупных месторождений пресных подземных вод. На их базе спроектировано, построено и эксплуатируется 11 водопроводных станций.

Результаты этой гигантской кропотливой работы в виде развернутой сети централизованных водозаборов подземных вод и одиночных скважин, тысяч километров разнообразных водопроводов действуют сегодня в соответствии с потребностями города. Сотни артезианских скважин и насосов круглосуточно подают населению воду. Жители и гости столицы ощущают это повседневно, привычно открывая кран на кухне или становясь под живительную упругую струю душа.

Многолетние достижения научно-технической мысли, строительства и эксплуатации уникальной системы водоснабжения останутся будущим поколениям минчан как необходимые составные элементы жизнеобеспечения крупнейшего города страны.

После завершения в 1973 г. строительства Вилейского водохранилища, ввода в эксплуатацию в 1976 г. канала Вилейско-Минской водной системы с каскадом насосных станций для обводнения Свислочи, сильно обмелевшей и загрязненной, а также для технического водоснабжения промышленных предприятий проектировщики приняли решение о хозяйственно-питьевом водоснабжении некоторых районов города из этого источника. В результате технико-экономических расчетов выяснилось, что себестоимость вилейской воды после ее предварительной подготовки ниже, чем артезианской с наиболее удаленных водозаборов. С 1982 г. эта вода через специальное водохранилище и станцию водоподготовки поступает в городской водопровод. Считается, что это повысило надежность водоснабжения Минска. Между тем эта вода все же не может сравниться по качеству с артезианской. Поэтому позже в зоне ВМВС были проведены



геологоразведочные работы и определен участок будущего крупного артезианского водозабора. На его освоение потребуются, конечно, большие средства. Однако он должен быть построен, чтобы частично заменить подачу речной воды в систему городского водопровода.

В современных условиях после Чернобыльской трагедии на качество используемой воды, особенно питьевой, обращают большое внимание. Известно, что качество воды — это качество нашей жизни, залог здоровья. Качество подземных вод, залегающих достаточно глубоко, — вне конкуренции. Они обычно хорошо защищены от внешних загрязнений, содержат оптимальный набор солевых компонентов, формирующих приятный вкус, безупречны в бактериологическом отношении. Не зря человек интуитивно тянется к подземным родникам! Такими родниками для Минска являются сотни артезианских скважин, оборудованных мощными электронасосами, которые уже много десятилетий обеспечивают минчан прекрасной водой. Только грубое локальное насаждение техногенных загрязнителей в зонах санитарной охраны скважин может со временем нарушить естественную самоочистку воды этих источников. Но подобные случаи являются исключением и недопустимы по существующим нормативам.

В различных рекламных плакатах и газетных публикациях настойчиво рекламируются бытовые фильтры воды. Лишь бы убедить доверчивых покупателей приобрести эти недолговечные изделия. Порой нас пытаются ввести в заблуждение относительно плохого качества водопроводной воды, заботясь прежде всего о рекламе товара, а не о здоровье людей. Может быть, где-то в районах с речным водопроводом или старыми трубами определенные дополнительные фильтры и будут полезны. Но об этом должна дать объективную информацию государственная санитарно-гигиеническая служба Минздрава республики.

За многие годы накопился значительный материал по геологии и подземным водам Минска, который представляет большой научный и практический интерес. Изредка отдельные вопросы освещались в печати. Но людям, использующим воду из водопроводного крана, иногда и расточительно, малодоступны знания об источниках этой драгоценной воды и многотрудных путях ее доставки в каждый дом. Не потому ли процветает неэкономное ее использование, возникают неоправданные потери? А ведь затраты электроэнергии на водоснабжение — одна из ведущих статей расхода энергетики.

Мой интерес к проблеме подземных вод как источнику водоснабжения связан с производственной и научной работой в течение 35 лет в ряде организаций (Белорусская гидрогеологическая экспедиция и Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт ПО «Беларусьгеология», Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, Белорусский научно-исследовательский институт мелиорации и водного хозяйства). На протяжении этих лет прошла, можно сказать, целая эпоха по постановке подземных вод на службу народному хозяйству республики. Были разведаны и оценены эксплуатационные запасы пресных подземных вод во всех крупных и средних городах, а также многих городских поселках (схема на с. 44—45), дана оценка их ресурсов в целом по республике, построены сотни водозаборов, резко повысились гидрогеологическая изученность территории и наши знания вообще, а также возможность прогноза в этой области, выросли кадры специалистов. Непростительно держать эти достижения в «запасниках», не представив их в доступном виде более

широкому кругу интересующихся лиц. Целесообразно было бы, например, опубликовать серию книг о природе подземных источников Беларуси.

В качестве первого такого опыта автор предлагает эту книгу, надеясь, что она будет полезна любознательному читателю. Ведь когда дело касается вездесущей воды, проблем здесь хоть отбавляй! А пренебрежение гидрогеологическими данными в вопросах водоснабжения, бесспорно, сопряжено с большим техническим и экономическим ущербом.

Именно поэтому было выбрано месторождение пресных вод в верхнепротерозойских песчаниках, которое, на наш взгляд, является более интересным по своим природным особенностям, динамичности проявлений, качеству воды и содержанию в ней фтора. Этот водоносный горизонт по значению занимает для Минска второе место после весьма водообильного днепровско-сожского межморенного горизонта в четвертичных отложениях. Нужно сказать, что в 1960-х гг. упомянутые песчаники по стратиграфической шкале относились к гдовскому горизонту нижнекембрийских отложений. Позже геологи перевели их в верхний протерозой, а гдовский горизонт стал соответствовать редкинскому горизонту валдайской серии. Чтобы не усложнять изложение стратиграфическими тонкостями, в дальнейшем используем укрупненное и более известное стратиграфическое подразделение — верхний протерозой (греч. *proteros* — более ранний, *ζῶε* — жизнь).

Помимо природных условий определяющим мотивом описать именно Минское верхнепротерозойское месторождение явилось то, что оно совсем недавно привлекло внимание как реальный источник прекрасной целебной воды для расфасовки в емкости и доставки населению. Идею создания этой книги предложил Ю.А. Данилов — директор АО “Недраинвест”, который активно осуществлял организационную помощь в работе, подборку материалов и финансирование издания книги, много творческой энергии вложил в изучение вопросов, рассмотренных в настоящем издании. За все это автор глубоко ему признателен. Основные аспекты книги неоднократно обсуждались нами не только за рабочим столом, но и во время физкультурных пробежек между ежегодными марафонскими забегами неисправимых энтузиастов конца XX в.

В процессе подготовки этой работы мы обратили внимание на то, что в последнее время в города и села Беларуси хлынул поток импортных питьевых пресных и минерализованных вод, поставляемых в пластмассовых и стеклянных бутылках из стран дальнего и ближнего зарубежья. К ним присоединяются и местные поставщики этой продукции, зачастую сдобренной разными ароматическими добавками. В связи с этим возникло желание сделать краткий обзор поступающей в торговую сеть воды и сопоставить ее качественный состав с натуральной водой рассматриваемого Минского месторождения. В сборе и подготовке оригинальной и ценной информации по различным типам привозных бутилированных вод из 19 стран, показанных в прилагаемой таблице, а также в компьютерном оформлении рукописных материалов книги принимали участие сотрудники АО “Недраинвест” А.Я. Хмелев, В.Л. Коминч, С.Л. Андрухович. За внимание и помощь в подготовке книги к публикации автор выражает им искреннюю благодарность. Собранные ими сведения помещены в приложении. Мы надеемся, что они вызовут у читателей интерес.

С особой теплотой автор благодарит за внимание к публикации книги и финансирование ее издания в наше нелегкое время И.А. Герасименка —

генерального директора производственного объединения “Минскводоканал”, с которым связаны многие десятилетия нашего плодотворного сотрудничества по обеспечению столицы Беларуси подземными источниками.

Неоценимая помощь в познании данного месторождения, как и других, заключена в работах всех его исследователей. Автор выражает глубокую благодарность своим коллегам-гидрогеологам, труд которых высоко ценит. В предлагаемой работе мы показали естественную ценность минских артезианских источников, чтобы книга не только носила познавательный характер о нашей и привозной воде, но и служила руководством к действию.

## Глава 1

### Роль подземных вод в водоснабжении Минска

*В любом городе должно быть подлинное изобилие родников и фонтанов... Среди элементов, которые больше и чаще всего используются для поддержания тела и способствуют здоровью, нам даны вода и воздух. Поэтому во всех мудро организованных государствах при нехватке чистой воды и затруднениях в ее доставке необходимо отделять питьевую воду от той, которая используется для других нужд.*

Аристотель  
(384—322 гг. до н. э.)

Стремительно растет Минск — столица Республики Беларусь, население которой за последние 35 лет увеличилось на 1,2 млн и достигло 1,7 млн человек. Особенностью развития города и исключительной жизненной необходимостью является бесперебойное снабжение его водой. Для охраны общественного здоровья первейшей обязанностью городских властей является надежное обеспечение города чистой водой, без чего не могут существовать люди.

Первый центральный водопровод небольшой мощности был построен в Минске по решению городской управы в 1871—1873 гг. и сдан в эксплуатацию в январе 1874 г. с подачей воды из подруслых подземных источников долины Свислочи. К ним в 20-х годах нашего столетия добавились четыре глубокие скважины. В 30-х годах после гидрогеологических изысканий были сданы в эксплуатацию две более совершенные водопроводные станции, которые дали жителям Минска воду высокого качества из четвертичных водоносных горизонтов (до глубины 70 м). В 50-х годах по результатам довоенных изысканий были сооружены еще две станции, расширенные в дальнейшем на основании опыта эксплуатации. В 1960—1970 гг. в результате поисковых и детальных гидрогеологических исследований вокруг Минска был выявлен ряд новых месторождений пресных подземных вод и построено еще семь крупных централизованных водозаборов, в основном из четвертичных источников, частично — из верхнепротерозойских. Однако нужда города в воде была настолько велика, что городские власти в начале 80-х годов были вынуждены построить хозяйственно-питьевой водозабор поверхностных вод из Вилейско-Минской водной системы. Это позволило после предварительной подготовки подавать в водопроводную сеть западных микрорайонов города свыше 250 тыс. м<sup>3</sup> вилейской воды в сутки. К 1991 г. был завершен еще один этап гидрогеологических исследований, позволивших спроектировать и в будущем построить новый подземный водозабор для городского водопровода.

Приведенный обзор освоения различных источников водоснабжения крупного города свидетельствует о том, что возникающие в связи с этим проблемы очень серьезны. Их можно рационально и своевременно решить лишь общими усилиями специалистов.



Как в прошлые времена, так и теперь Минск удовлетворяет потребности в хозяйственно-питьевой воде преимущественно за счет подземных источников. Город расположен на склонах Минской возвышенности и исторически привязан только к малым рекам с очень ограниченным стоком, совершенно несопоставимым с его потребностями в воде. Оказалось, что недра этого обширного холмистого массива скрывают в себе настоящее подземное море. Вода, как губку, насыщает мощные песчаные пласты, уходящие на десятки и сотни метров вглубь, проникая через слабопроницаемые слои.

Гигантские резервуары подземных вод, постоянно пополняемые естественным образом, десятки лет интенсивно используются для нужд населения и промышленности. Вода эта, как правило, бесцветна и прозрачна, без посторонних запахов и привкуса, не содержит вредных для здоровья веществ и микробов. Природа позаботилась об ее очистке, она обогащена нужным количеством солей путем фильтрации через земные пласты. Таким образом, добываемая подземная вода не нуждается в дополнительной сложной обработке. Она создает положительный геохимический фон среды обитания людей, способствует их здоровью, долголетию и процветанию столичного города.

В мощной и многослойной 300-метровой толще горных пород (рис. 1) сформировались два основных водоносных горизонта, которые ежедневно поставляют большому городу до 570 тыс. м<sup>3</sup> пресной артезианской воды: верхний — из четвертичных межморенных песков (до глубины 60—80 м), нижний — из древнейших верхнепротерозойских песчаников (до 300 м). Эксплуатационные запасы подземных вод верхнего горизонта, разведанные геологической службой республики, используемые и подготовленные к освоению, более чем в 6 раз превышают запасы нижнего горизонта. Если четвертичные горизонты широко эксплуатируются в Беларуси для водоснабжения многих городов и большинства сел, то о глубокоом пресноводном горизонте в районе Минска этого сказать нельзя.

Минское месторождение высоконапорных пресных вод в верхнепротерозойских песчаниках уникально по условиям формирования, подземной гидродинамике и гидрохимии. Оно надежно защищено от воздействия внешней среды. Вода здесь очень высокого качества с особыми гигиеническими свойствами благодаря естественному содержанию необходимого количества фтора. Это месторождение определенным образом соотносится с более глубокими минеральными водами на той же территории. Следует добавить, что освоение верхнепротерозойского горизонта на практике было связано с некоторым техническим и экономическим “драматизмом”, с эйфорией первых лет широкого использования (даже для технического водоснабжения на ряде промышленных предприятий!) и последующей потерей десятков артезианских скважин, с дальнейшими исследованиями и наращиванием гарантированных эксплуатационных запасов. Здесь тесно переплелись проблемы научного гидрогеологического обоснования и экономики водоснабжения, разумного проектирования и технологии добычи подземных вод.

Тем не менее почти 40 лет это уникальное месторождение служит нашей столице, ежедневно вливая в городские сети живительную воду. Работает пять групповых водозаборов, планируется шестой. В современной сложной экологической обстановке с различными техногенными загрязнениями верхнепротерозойский горизонт сохраняет высокое качество воды благодаря более чем 200-метровой защищающей толще перекрывающих горных пород. Это позволяет в нынешних экономических условиях не только питать городской водопровод, но и организовать производство по

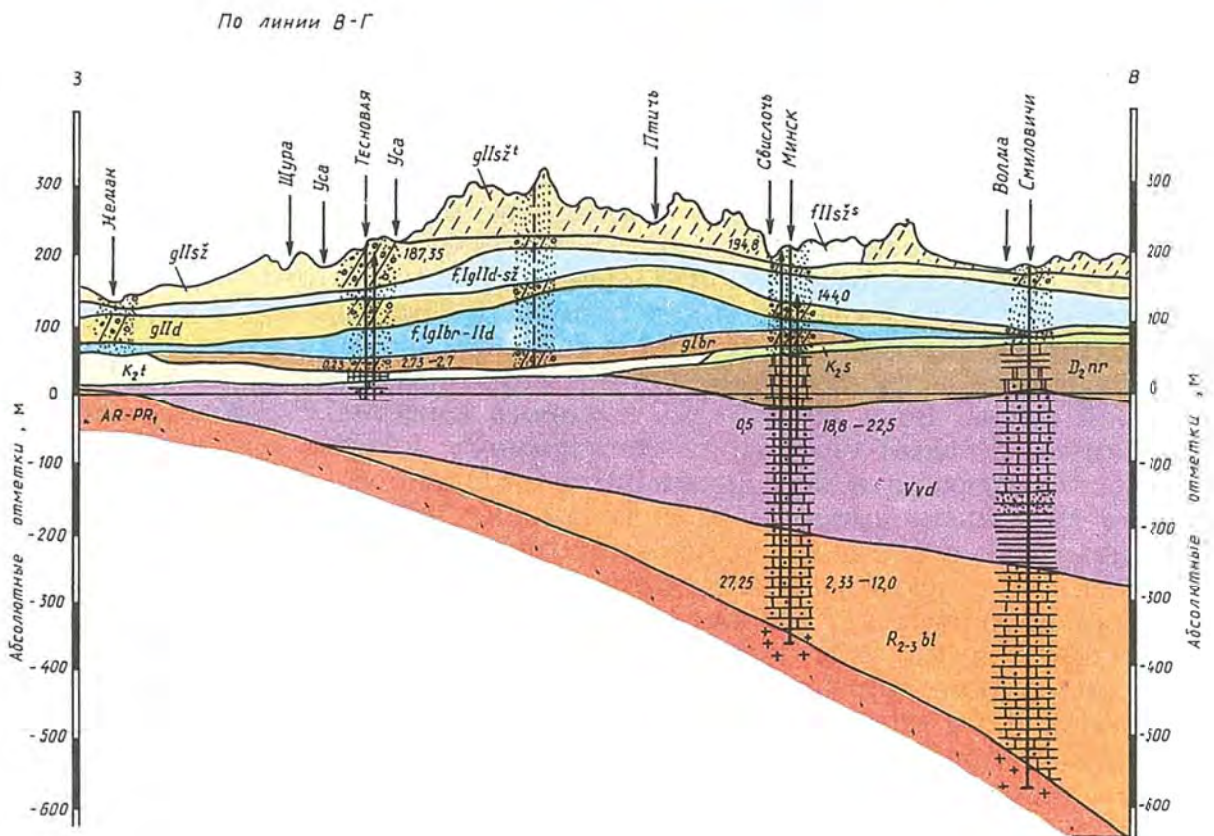
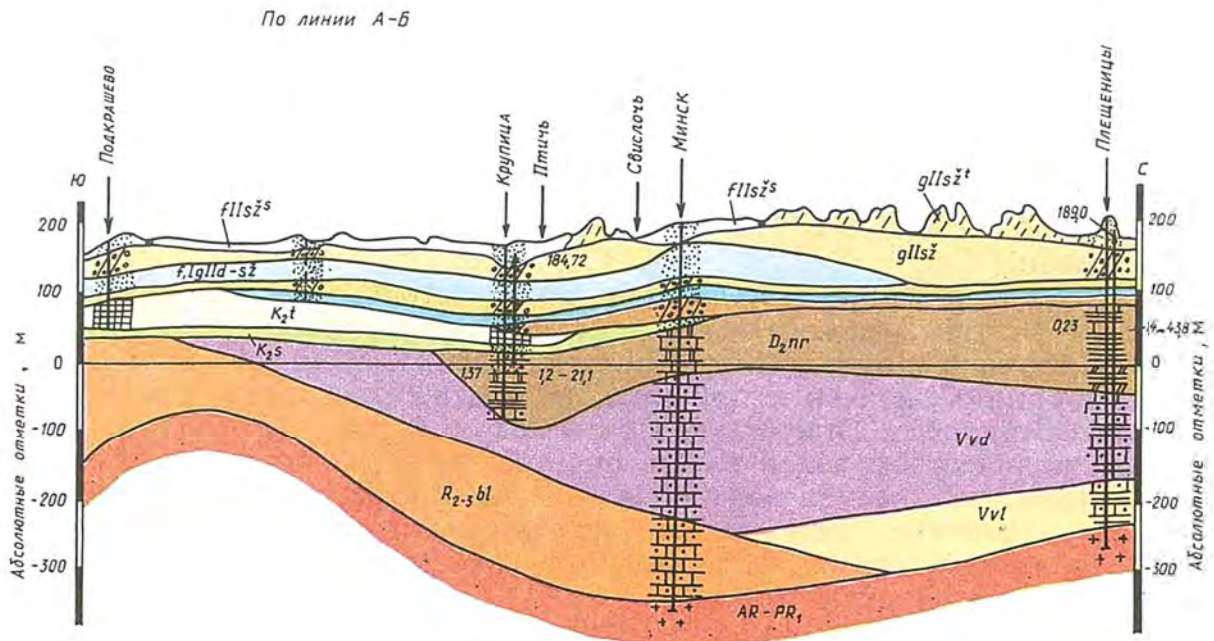


Рис. 1. Геолого-гидрогеологические разрезы по линиям А — Б, В — Г (см. схему на с. 44—45)

розливу этой ценной и сравнительно дешевой воды для реализации в республике и за ее пределами.

Надолго ли хватит этой воды и не иссякнут ли источники раньше времени? А дальше что? При решении таких задач учитываются все гидрогеологические параметры, стационарные наблюдения за режимом эксплуатации, инерционность процессов в подземной гидросфере. Неожиданностей при разумном подходе здесь не бывает, все процессы с достаточной определенностью прогнозируются. Эксплуатацией месторождения можно управлять, зная, где и как регулировать добычу воды. Для этого нужно представлять его природные особенности и опыт многолетней эксплуатации, о чем и пойдет речь далее.



## Глава 2

### Геолого-гидрогеологические условия месторождения

*Вода — это самое драгоценное ископаемое. Вода — это не просто минеральное сырье... Вода — это действенный проводник культуры, это та живая кровь, которая создает жизнь там, где ее не было.*

А. П. Карпинский  
(1846—1936)

Минское месторождение пресных гидрокарбонатных натриевых и кальциевых вод в глубоко залегающем верхнепротерозойском водоносном горизонте расположено на юго-восточных и северных склонах Минской возвышенности и примыкающей равнине. Оно широкой полосой простирается на 40—50 км от ее главного Черноморско-Балтийского водораздела в южном и юго-восточном направлениях вдоль долины Свислочи, других небольших рек, а также в северном направлении (рис. 2).

Месторождение изучалось в разное время и на различных участках, о чем более подробно рассказано в главе 6. Приведенное здесь обобщение геолого-гидрогеологических материалов отражает современные представления о нем с учетом предыдущих исследований и прежде всего опирается на последние геологоразведочные работы Белорусской гидрогеологической экспедиции ПО “Беларусьгеология” (А. Н. Панасенко и др., 1991) и выполняемые ею многолетние стационарные наблюдения за режимом эксплуатации скважин и водозаборов данного месторождения пресных подземных вод (1957—1995 гг.).

Подземные воды приурочены к разнозернистым, кварцево-полевошпатовым, слабосцементированным песчаникам и пескам валдайской серии верхнего протерозоя, буровато-серого и красно-бурого цвета, часто перекрытым плотными глинами и алевролитами. Кровля этих отложений в пределах месторождения довольно выдержана на абсолютных отметках — 25+25 м, а ее глубина определяется отметками рельефа дневной поверхности и колеблется в пределах 150—320 м. Мощность водовмещающих пород подвержена колебаниям и чаще составляет 40—60 м (рис. 3,4).

В геолого-структурном отношении месторождение расположено на Белорусской антеклизе, которая представляет собой поднятие кристаллического фундамента с отметками в рассматриваемом районе —250 — 360 м. По региональному гидрогеологическому районированию это зона Белорусско-Литовского артезианского свода, являющегося краевой областью питания примыкающих к нему артезианских бассейнов (с северо-запада — Прибалтийского, с юго-востока — Московского).

Минская возвышенность сложена конечными моренами сожского ледника (гравийно-галечные, валунные суглинки, супеси, пески) и представлена грядово-холмистым рельефом с относительной высотой 15—30 или 5—15 м. Наиболее значительные абсолютные высоты связаны с водораздельной линией, отличающейся максимальными для Беларуси отметками поверхности земли (гора Дзержинская — 345 м, Маяк — 335 м, Лысая — 342 м и др.). Здесь расположены истоки Свислочи, Птичи, Усы, Ислочи,

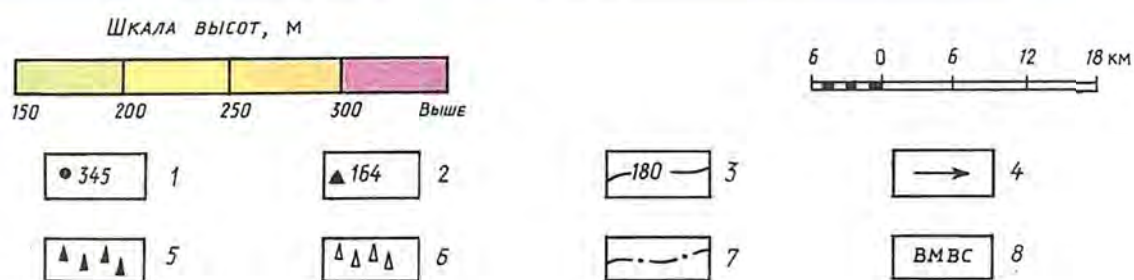
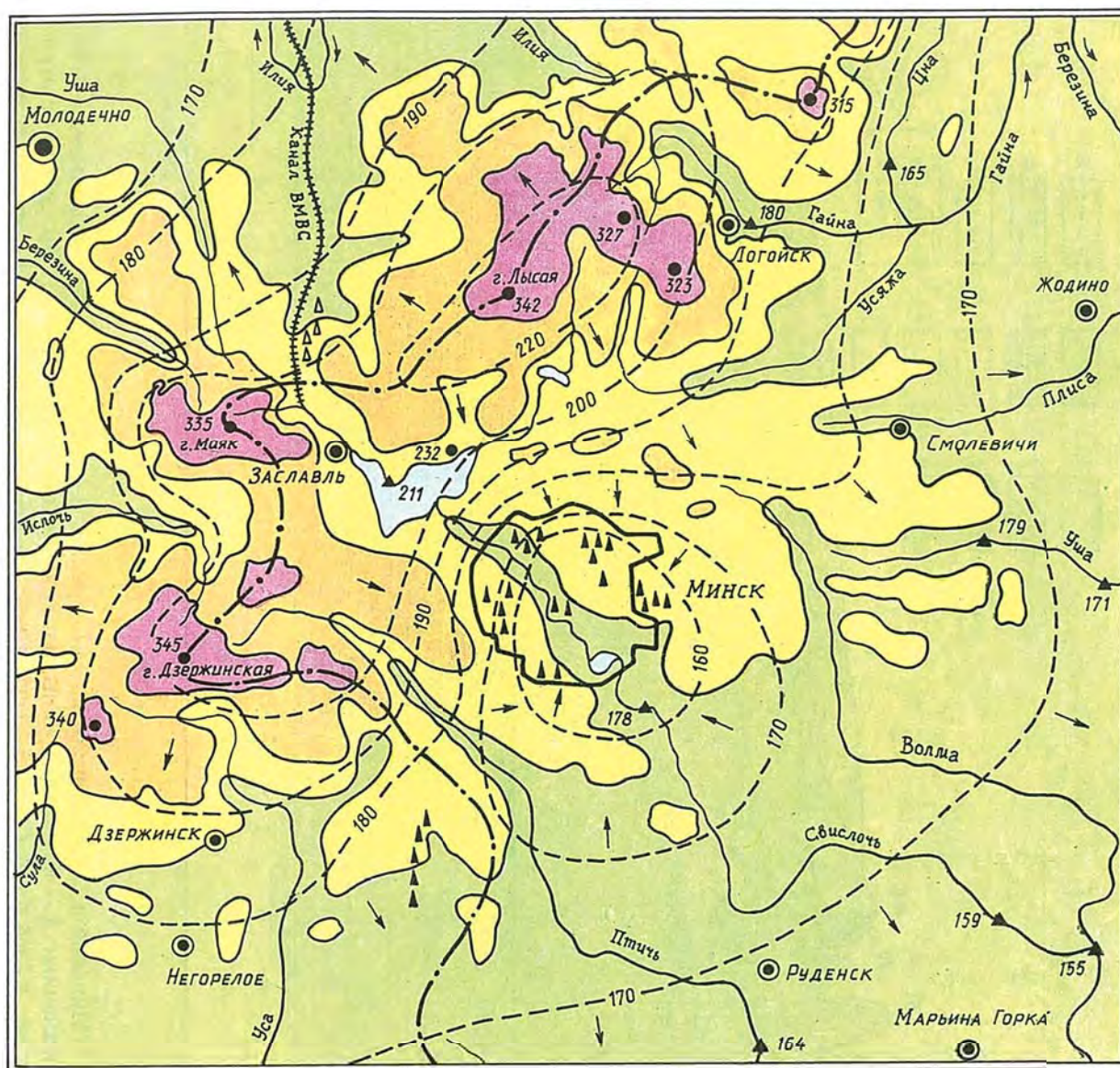


Рис. 2. Гипсометрическая карта со схемой гидроизопьез верхнепротерозойского водоносного горизонта: 1 — отметки высот над уровнем моря; 2 — отметки урезов воды над уровнем моря; 3 — гидроизопьезы верхнепротерозойского водоносного горизонта с абс. отметками (на 1990 г.); 4 — направление потока подземных вод в песчаниках верхнего протерозоя; 5 — участки интенсивной эксплуатации водоносного горизонта; 6 — то же, проектируется; 7 — линия Черноморско-Балтийского водораздела, проходящего по Минской возвышенности; 8 — Вилейско-Минская водная система



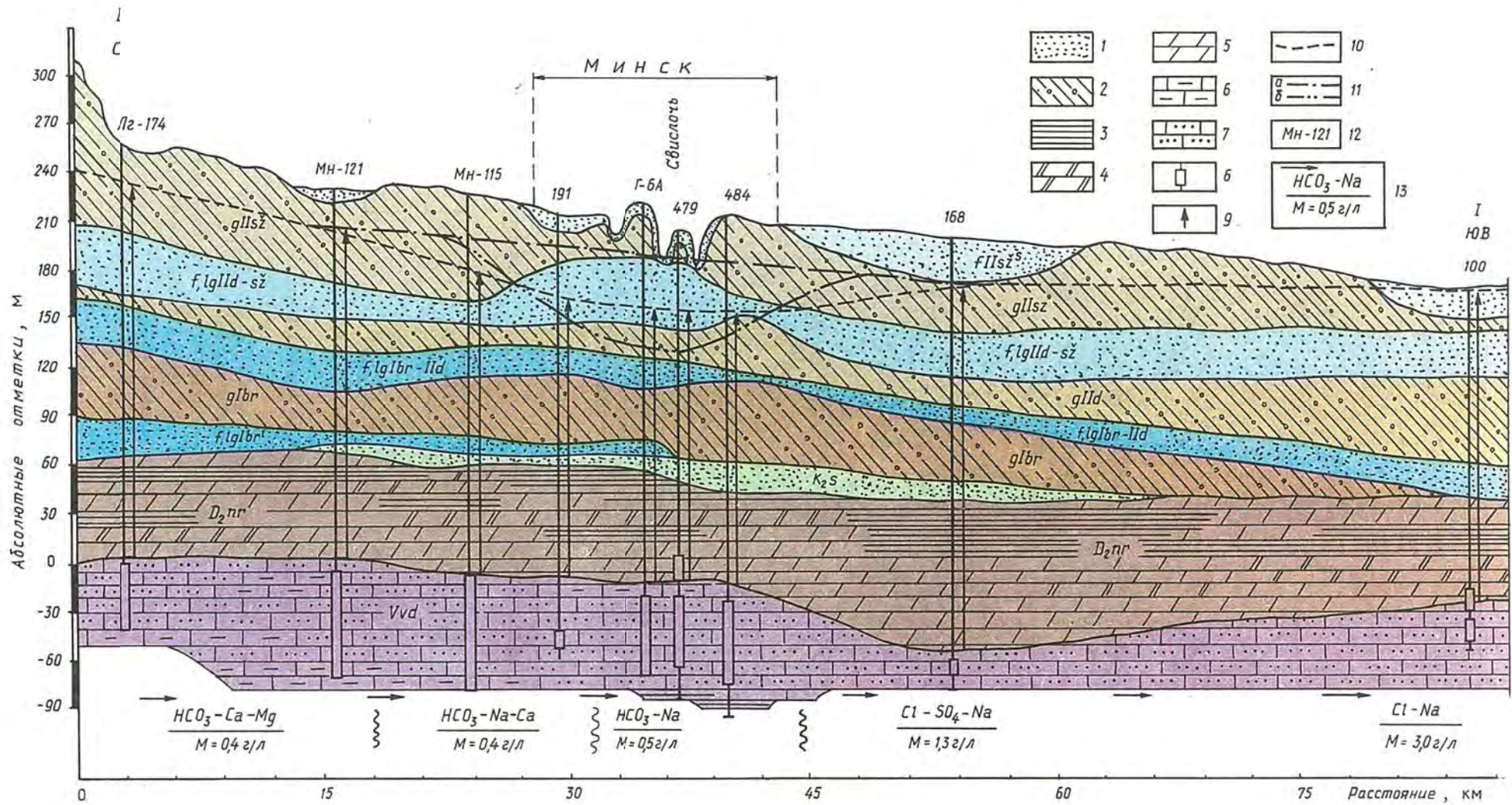


Рис. 3. Геолого-гидрогеологический разрез по линии I — I (Минский и смежные районы): 1 — пески; 2 — суглинки и супеси моренные; 3 — глины; 4 — доломиты; 5 — мергели; 6 — алевролиты; 7 — песчаники; 8 — фильтр скважины, или открытый ствол; 9 — напор (1990 г.); 10 — статический уровень в 1990 г.; 11 — статический уровень в 1958 г. (а); в 1964 г. (б); 12 — номер скважины; 13 — гидрохимический тип и минерализация воды по направлению потока верхнепротерозойского водоносного горизонта; линии разрезов — на рис. 5



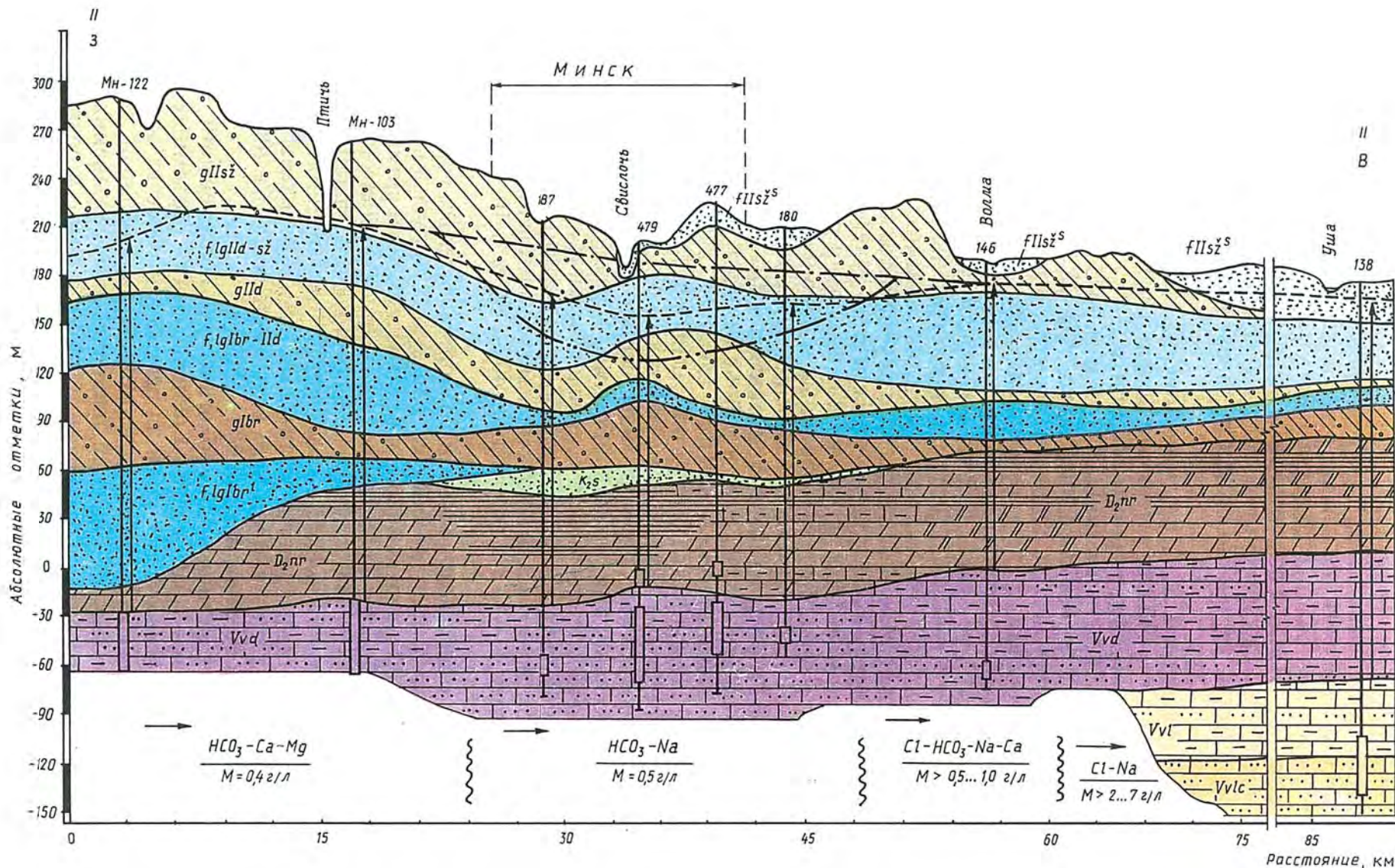


Рис. 4. Геолого-гидрогеологический разрез по линии II — II (Минский и смежные районы). Условные обозначения те же, что на рис. 3



Усяжи, Гайны и др. Эта территория является областью активного питания поверхностных и подземных вод с региональным водоразделом для тех и других, который проходит по наибольшим высотам. В юго-восточном и южном направлениях склоны возвышенности переходят в пологоволнистые флювиогляциальные и всхолмленные зандровые равнины, сложенные песчано-глинистыми отложениями времени отступления сожского ледника. Абсолютные высоты земной поверхности здесь постепенно снижаются с 300—250 до 230—170 м.

К более возвышенной территории подковообразной формы часто приурочены и участки с наиболее высокими абсолютными отметками кровли верхнепротерозойского водоносного горизонта. Последние снижаются от водораздела, где достигают значений +5+15 м, к юго-востоку в направлении эксплуатируемых водозаборов Минска до -20—25 м. На участках водозаборов эксплуатационные скважины, как правило, имеют глубину до 300 м, вскрывая нижней частью верхнепротерозойские песчаники на 30—60 м.

На всей территории рассматриваемого месторождения верхнепротерозойские отложения перекрыты терригенно-карбонатными породами наровского яруса среднего девона, которые представлены мергелями, доломитами, глинами, алевролитами, реже известняками и песчаниками общей мощностью от 20 до 100 м. Глинистые и слаботрещиноватые разности их выполняют роль водоупоров. Выше повсеместно залегает четвертичная толща, сложенная комплексом ледниковых песчано-глинистых отложений, с чередованием слабопроницаемых моренных и водоносных межморенных горизонтов. Мощность ее зависит от особенностей современного и дочетвертичного рельефа и большей частью составляет 120—220 м.

Верхнепротерозойские отложения в районе Минска залегают вплоть до кристаллического фундамента, вскрытого здесь на глубине 520—560 м (граниты, гнейсы, гранодиориты). Под описанными выше пресноводными горизонтами с глубины 300—320 м залегают отложения валдайской (нижняя часть), волынской и белорусской серий, представленные туфопесчаниками и песчаниками разнотекстурными, в различной степени трещиноватыми и сцементированными, с прослоями алевролитов. Последние относятся к нижней гидродинамической зоне с затрудненным водообменом, в связи с чем в них сформировались минерализованные воды с общей минерализацией 1—10 г/л до глубины 400—450 м и 10—27 г/л до глубины 530 м и более.

Многослойная толща водоносных и слабопроницаемых горизонтов, от четвертичных до верхнепротерозойских, образует мощную водонапорную систему, относящуюся к верхней гидродинамической зоне активного водообмена, которая содержит пресные воды с общей минерализацией до 1 г/л. Ресурсы подземных вод в этой зоне формируются, главным образом, за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетекания из верхних водоносных слоев в нижние путем вертикальной и горизонтальной фильтрации. Доля инфильтрации в грунтовые воды составляет 15—20% от годовой суммы осадков, в среднем равной 600—650 мм.

В результате многолетних гидрогеологических исследований и санитарного контроля в ходе практического использования подземных вод установлены особые условия формирования ресурсов и качества вод верхнепротерозойского горизонта. Если четвертичный водоносный комплекс получает атмосферное питание на всей площади распространения, то для верхнепротерозойского горизонта области питания и участки современной эксплуатации значительно удалены друг от друга. К тому же нижний пресноводный горизонт отделен от водонасыщенной четвертичной толщи мощными глинистыми водоупорами, включающими слабоводоносную

верхнюю глинисто-алевролитовую пачку валдайской серии верхнего протерозоя, наровские глины и нижнечетвертичные плотные морены. Погружаясь под эти водоупорные слои от области питания в область транзита и эксплуатации, верхнепротерозойский водоносный горизонт удаляется от источников восполнения и приобретает особые черты, которые влияют на гидродинамическую обстановку и формирование химического состава подземных вод [23].

Благодаря постоянной инфильтрации и перетеканию воды в верхнепротерозойские песчаники на Минской возвышенности поддерживаются наиболее высокие абсолютные отметки гидроизопьез этого горизонта, достигающие 230—240 м. Южнее, в сторону действующих водозаборов Минска, они снижаются до 160—155 м (по состоянию на 1995 г.), образуя крупную депрессионную воронку, а далее, за ее перегибом, несколько повышаются до 165—170 м, сохраняя общий уклон к юго-востоку. На северо-западных склонах возвышенности они снижаются до 180—170 м.

Следуя своим закономерностям, вышележащий наровский терригенно-карбонатный водоносный комплекс имеет более высокую пьезометрическую поверхность по всей площади, от 240—260 м в области питания на возвышенности до 180 м на территории Минска с общим уклоном на юго-восток и северо-запад от водораздела.

Питающий их четвертичный водоносный комплекс имеет еще более высокие отметки уровня воды, которые в той или иной степени в сглаженной форме повторяют контуры дневной поверхности и четко привязаны к уровням воды поверхностных водотоков и водоемов.

Воды верхнепротерозойского горизонта, сформированные на значительной глубине под более молодыми осадочными толщами, имеют напорный (артезианский) характер. При вскрытии буровыми скважинами вода под гидростатическим напором поднимается до определенных отметок, соответствующих общей напорной (пьезометрической) поверхности этого горизонта в данном районе. Величина напора зависит от местоположения скважины, абсолютных отметок гидроизопьез, глубины залегания кровли песчаников и в пределах месторождения изменяется от 160 до 240 м. В зависимости от разницы отметок положение статического уровня воды в естественных условиях фиксируется от самоизлива на 4 м выше поверхности земли до глубины 88 м. Многолетними стационарными наблюдениями по режимной сети скважин установлены сезонные колебания уровней воды с годовой амплитудой в естественных условиях 0,3—0,5 м, а на участках эксплуатации — 2,0—4,5 м и более.

По данным разведочных работ была рассчитана водопроводимость пласта  $km$  ( $k$  — коэффициент фильтрации,  $m$  — мощность пласта), при этом учитывалась вскрытая мощность только водосодержащих отложений верхнего протерозоя (песчаников). Полученные на основной территории значения 135—175—240 м<sup>2</sup>/сут использовались в прогнозных расчетах при оценке запасов.

Гидродинамические расчеты показывают, что при имеющихся пьезометрических уклонах (0,005) и осредненных гидрогеологических параметрах пласта (коэффициент фильтрации 3 м/сут, пористость 0,1) истинная (действительная) скорость фильтрации в протерозойских песчаниках — около 55 м/год, а 1 км пути капля воды проходит за 18 лет. При удаленности каптажных артезианских скважин от области питания на 15—20 км вода проходит это расстояние за 270—360 лет. Иначе говоря, можно предположить, что к северным окрестностям Минска подходит вода, поступившая в пласт верхнепротерозойских песчаников в XVII — первой чет-



верти XVIII в., когда природные условия этой местности еще не испытывали мощной техногенной нагрузки.

Несмотря на столь длинный путь фильтрации, потенциальные возможности этого водоносного горизонта довольно велики, что позволяет отнести его ко второму по значению источнику подземных вод для столицы Беларуси. Дебиты эксплуатационных скважин зависят от их технической конструкции, установленного насосного оборудования и на практике достигают 30—40 м<sup>3</sup>/ч (700—950 м<sup>3</sup>/сут) при понижениях уровня воды на 7—9 м. При этом наблюдается быстрое и значительное влияние скважин друг на друга при близком их расположении, которое выражается в снижении напорных уровней в зоне действия скважин. В случае необходимости и при соответствующем оборудовании с помощью глубинных электронасосов из одиночных скважин можно получить более высокие дебиты.

Приток к скважинам, как известно, возрастает при уменьшении гидравлического сопротивления водоприемной части. В протерозойских песчаниках скважины сооружаются с проволочными или дырчатыми фильтрами или с бесфильтровым открытым стволом, что соответственно влияет на приток и удельный дебит. Эти особенности необходимо учитывать при проектировании, сооружении и эксплуатации скважин.

Добавим, что температура подземных вод верхнепротерозойского горизонта отличается постоянством. В результате проведенных наблюдений отмечено, что температура воды в любой сезон года равна 7—8°С. Это свидетельствует об отсутствии влияния изменчивой температуры атмосферного воздуха на глубоко залегающий водоносный горизонт.



## Глава 3

### Формирование качества подземных вод

*Вода — это не вино, это всего лишь жидкость, годная для питья. Среди напитков она является голой холодной необходимостью без цвета, запаха и вкуса. Но необходимость, с которой человек, как правило, знакомится только в нужде, именно и есть единственная, действительная, волшебная сила! Она превращает воду в вино, соломенный тюфяк — в постель из гагачьего пуха; из грязи она выводит в князи, как и обратно. Самое обыкновенное, самое низменное она превращает в высшее, самое неценное делает бесценным.*

Людвиг Фейербах  
(1804—1872)

В общем круговороте воды геоморфология, геологическое строение и гидрогеологические условия определяют активность водообмена подземных вод с атмосферными осадками и поверхностными водотоками, формируя их химический состав и степень минерализации.

В течение долгих лет изучения и эксплуатации подземных вод для водоснабжения Минска проводились исследования качественных показателей воды. Геологическая служба выполняла анализы воды в Центральной лаборатории и БелНИГРИ ПО “Беларусьгеология”, служба здравоохранения — в Белорусском научно-исследовательском санитарно-гигиеническом институте и Минской городской санэпидемстанции (ныне городской центр гигиены и эпидемиологии), Минский городской водопровод — в химико-бактериологической лаборатории ПО “Минскводоканал”. Сотни химических, органолептических и бактериологических анализов воды позволяют составить достаточно четкое представление о качестве подземных вод на различных участках месторождения — как при вскрытии водоносного горизонта скважинами, так и в процессе дальнейшей эксплуатации и подачи воды потребителю.

В области основного атмосферного питания (на Минской возвышенности) гидрохимические показатели вод верхнепротерозойских и четвертичных отложений совпадают. Они имеют гидрокарбонатно-кальциево-магниевый состав, аналогичный составу вод верхних днепровско-сожского и березинско-днепровского межморенных горизонтов в Минске, при общей минерализации 0,35—0,45 г/л (табл. 1). Для них, в частности, типичным является недостаток фтора, количество которого не превышает 0,3—0,4 мг/л при гигиеническом нормативе 0,5—1,5 мг/л (рис. 5).

В эту гидрохимическую зону гидрокарбонатно-кальциево-магниевых вод попадает шестой проектируемый групповой водозабор “Вязынка”. Он находится вблизи высотного Черноморско-Балтийского водораздела на Минской возвышенности и относится к территории Балтийского бассейна, которому принадлежит и пятый действующий водозабор “Вицковщина”, расположенный западнее водораздела. Однако он удален от наиболее возвышенных площадей к югу, имеет соответственно более низкие абсолютные отметки гидроизопьез (примерно на 20 м) верхнепротерозойского водоносного горизонта и относится к другой гидрохимической зоне гидрокарбонатно-натриевых вод. К этой же зоне гидрокарбонатно-на-

Таблица 1. Гидрохимические зоны и типы подземных вод  
верхнепротерозойского горизонта

Местоположение скважины	Номер скважины	Глубина скважины	Абсолютная отметка интервала фильтра, м	Дата анализа	Формула солевого состава воды
-------------------------	----------------	------------------	---	--------------	-------------------------------

1. Зона питания и эксплуатации

д. Буцевичи (гл. водораздел Минской возвышенности)	Лг-174	300	+0,8—42,2	05.02.89	M 0,40 $\frac{\text{HCO}_3\text{ }96\text{Cl}_2\text{SO}_4\text{ }2}{\text{Ca}64\text{Mg}28\text{Na}7\text{K}1}$
Водозабор "Боровляны"	Мн-121	300	-5,8—71,8	21.05.88	M 0,37 $\frac{\text{HCO}_3\text{ }97\text{Cl}_2\text{SO}_4\text{ }1}{\text{Ca}41\text{Mg}33\text{Na}21\text{K}5}$
Участок "Вязынка" (д. Селедчики)	Лг-147	300	-3,9—78,9	26.10.89	M 0,38 $\frac{\text{HCO}_3\text{ }91\text{SO}_4\text{ }3\text{Cl}_2}{\text{Ca}50\text{Mg}35\text{Na}10\text{K}4}$
Участок "Вязынка" (д. Лошаны)	Лг-127	293	-2,9—69,9	08.05.88	M 0,43 $\frac{\text{HCO}_3\text{ }97\text{Cl}_2}{\text{Ca}53\text{Mg}31\text{Na}11\text{K}3}$
д. Птичь (юг Минской возвышенности)	Мн-103	332	-25,2—0,2	21.07.88	M 0,39 $\frac{\text{HCO}_3\text{ }97\text{Cl}_2\text{SO}_4\text{ }2}{\text{Ca}57\text{Mg}30\text{Na}10\text{K}2}$
д. Сирмунтово (2 км к югу от горы Дзержинская)	Мн-122	352	-26,7—61,8	11.07.89	M 0,36 $\frac{\text{HCO}_3\text{ }93\text{Cl}_3\text{SO}_4\text{ }2}{\text{Ca}51\text{Mg}35\text{Na}12\text{K}2}$

2. Зона транзита и эксплуатации

Водозабор "Волма"	Мн-101	302	-22,2—91,7	24.04.88	M 0,46 $\frac{\text{HCO}_3\text{ }92\text{SO}_4\text{ }5\text{Cl}_3}{\text{Na}65\text{Ca}20\text{Mg}12\text{K}2}$
д. Цна (2 км к северу от Минска)	Мн-115	302	-7,6—78,4	01.09.88	M 0,38 $\frac{\text{HCO}_3\text{ }93\text{SO}_4\text{ }4\text{Cl}_3}{\text{Na}49\text{Ca}26\text{Mg}20\text{K}4}$
д. Подгаи (долина р. Птичь, 7 км юго-западнее Минска)	Мн-111	323	-72,7—95,3	22.08.88	M 0,50 $\frac{\text{HCO}_3\text{ }88\text{Cl}_6\text{SO}_4\text{ }4}{\text{Na}39\text{Ca}37\text{Mg}20\text{K}4}$
Водозабор "Новинки"	6а	286	-31,1—77,1	05.09.62	M 0,36 $\frac{\text{HCO}_3\text{ }95\text{Cl}_3\text{SO}_4\text{ }2}{\text{Na}50\text{Ca}28\text{Mg}22}$
Водозабор "Новинки"	191	275	-44,1—53,0	16.10.80	M 0,37 $\frac{\text{HCO}_3\text{ }92\text{Cl}_6\text{SO}_4\text{ }2}{\text{Na}38\text{Ca}36\text{Mg}22\text{K}4}$
Водозабор "Петровщина"	11а	297	-42,4—86,4	25.12.62	M 0,48 $\frac{\text{HCO}_3\text{ }83\text{Cl}_12\text{SO}_4\text{ }5}{\text{Na}88\text{Ca}7\text{Mg}5}$
Водозабор "Петровщина"	187	286,15	-52,1—63,6	23.02.93	M 0,37 $\frac{\text{HCO}_3\text{ }82\text{Cl}_12\text{SO}_4\text{ }6}{\text{Na}81\text{K}15\text{Ca}3\text{Mg}1}$

Продолжение табл. 1

Местоположение скважины	Номер скважины	Глубина скважины	Абсолютная отметка интервала фильтра, м	Дата анализа	Формула солевого состава воды
Водозабор "Зеленовка"	14а	301	+6,77—2,23 -30,0—35,8 -41,8—57,1 -62,2—75,0	25.12.62	M 0,50 $\frac{\text{HCO}_3\text{84Cl11SO}_4\text{5}}{\text{Na75Ca16Mg9}}$
Водозабор "Зеленовка"	182	280	-54,2—60,1	25.12.93	M 0,28 $\frac{\text{HCO}_3\text{81SO}_4\text{14Cl5}}{\text{Na78K16Ca5Mg1}}$
Водозабор "Дражня"	12а	300	-33,5—85,5	22.03.62	M 0,46 $\frac{\text{HCO}_3\text{92SO}_4\text{5Cl3}}{\text{Na91Ca5Mg4}}$
Водозабор "Дражня"	180	265	-40,2—48,1	04.01.94	M 0,43 $\frac{\text{HCO}_3\text{86Cl17SO}_4\text{7}}{\text{Na94Ca2Mg2K2}}$
Центральный сквер	Г-6а	290	-25,3—69,15	05.02.63	M 0,44 $\frac{\text{HCO}_3\text{95SO}_4\text{3Cl2}}{\text{Na68Ca18Mg14}}$
ТЭЦ-2	5	286,5	-2,7—15,2 -27,0—70,7	30.10.62	M 0,46 $\frac{\text{HCO}_3\text{94SO}_4\text{4Cl2}}{\text{Na66Ca20Mg14}}$
Камвольный комбинат	10	296	-1,0—13,0 -27,0—65,0	10.10.60	M 0,50 $\frac{\text{HCO}_3\text{81Cl13SO}_4\text{6}}{\text{Na84Ca9Mg7}}$
Автозавод	6а	295	+2,0—14,2 -26,0—51,0 65,0—75,0	07.07.62	M 0,54 $\frac{\text{HCO}_3\text{86SO}_4\text{9Cl5}}{\text{Na88Ca7Mg4}}$
Водозабор "Вицковщина"	160	291	-16,4—90,6	13.01.94	M 0,39 $\frac{\text{HCO}_3\text{75Cl23SO}_4\text{2}}{\text{Na88Ca4Mg4K4}}$
Водозабор "Вицковщина"	161	300	-4,3—89,3	14.01.94	M 0,16 $\frac{\text{HCO}_3\text{57Cl36SO}_4\text{7}}{\text{Na78Ca12K5Mg5}}$
Водозабор "Вицковщина"	216	306	-16,2—102,3	05.02.94	M 0,30 $\frac{\text{HCO}_3\text{75Cl15SO}_4\text{10}}{\text{Na70Mg20Ca6K4}}$

3. Зона погружения и перехода к минеральным водам

Микрорайон "Шабаны"	1	295	0—9 -15—50 -75—87	29.08.62	M 1,58 $\frac{\text{Cl50HCO}_3\text{29SO}_4\text{21}}{\text{Na95Mg3Ca2}}$
Микрорайон "Шабаны"	2	296	0—8 -28,2—60,2 -73—87	29.08.62	M 1,70 $\frac{\text{Cl50HCO}_3\text{25,5SO}_4\text{24,5}}{\text{Na93Ca4Mg3}}$
Водозабор "Острова"	168	274,7	-64,3—73,9	08.05.80	M 1,31 $\frac{\text{Cl45SO}_4\text{33HCO}_3\text{23}}{\text{Na81Ca13Mg5K1}}$

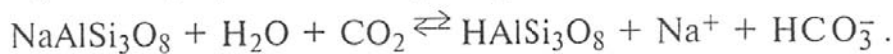


Местоположение скважины	Номер скважины	Глубина скважины	Абсолютная отметка интервала фильтра, м	Дата анализа	Формула солевого состава воды
Водозабор "Водопой"	146	263	-57—69,6	21.01.93	М 0,35 $\frac{Cl43HCO_3 \quad 34SO_4 \quad 23}{Na50Ca44K6}$
Водозабор "Фелицианово" (д. Пески, долина р. Свислочь)	Мн-102	301	-23,6—122,6	14.05.88	М 2,57 $\frac{Cl75HCO_3 \quad 12SO_4 \quad 12}{Na88Ca6Mg5K1}$
Участок "Бор" (скв. на верхний протерозой+девон)	100	222,7	-15—46	02.02.93	М 2,98 $\frac{Cl87SO_4 \quad 12HCO_3 \quad 1}{Na92Mg5Ca3}$
Участок "Бор" (скв. на девон)	140	150,75	+30,8+22,4	02.02.93	М 0,74 $\frac{Cl90HCO_3 \quad 9SO_4 \quad 1}{Na83Ca9Mg7K1}$
Водозабор "Зеленый бор" (скв. на волынские и вильчанские отложения верхнего протерозоя)	138	328,7	-41,3—109,1	26.01.94	М 7,88 $\frac{Cl73SO_4 \quad 27}{Na83Ca11Mg4K2}$
д. Крупица — долина р. Птичь, 18 км к югу от Минска (скв. на верхний протерозой + девон)	1	255	+37,7—74,4	1956 г.	М 1,46 $\frac{SO_4 \quad 57Cl26HCO_3 \quad 16}{Na58Ca29Mg13}$

триевых вод относятся глубокие скважины первых четырех водозаборов — "Новинки", "Петровщина", "Зеленовка" и "Дражня", расположенные, как и Минск, в системе бассейна Черного моря.

С погружением протерозойских песчаников на большую глубину под слабопроницаемые отложения среднего девона и верхнего протерозоя, а также под нижнечетвертичные морены в них происходит формирование вод нового типа, которые размещаются в промежуточной зоне между древними солеными хлоридно-натриевыми водами и пресными инфильтрационными водами гидрокарбонатно-кальциево-магниевых составов. В результате продвижения от области питания и обменных реакций в пласте, поглощения породой ионов кальция и магния формируется вода гидрокарбонатно-натриевого типа, которая вскрывается скважинами на территории Минска и его ближайших северных окрестностей, а также на юго-западе в районе водозабора "Вицковщина" (табл. 1).

Формирование гидрокарбонатно-натриевых вод связано, по-видимому, с выщелачиванием путем гидролиза полевошпатовых минералов верхнепротерозойских песчаников, когда в результате ионного обмена между породой и водой происходит замещение катионов породообразующих минералов водородными ионами воды. Гидролиз, например, одного из полевых шпатов (альбита) происходит путем реакции:



Источником гидрокарбонат-ионов является, кроме того, атмосферная углекислота, в присутствии которой диссоциация воды возрастает:



В санитарном отношении эти воды надежно защищены. В результате многочисленных бактериологических исследований им дана хорошая характеристика: обычно колититр определяется значением более 500, колииндекс — менее 2, число колоний в 1 см<sup>3</sup> воды 0—20.

Из приведенных данных видно, что подземные воды описываемого горизонта по всем нормируемым показателям соответствуют требованиям, предъявляемым к водам хозяйственно-питьевого назначения (ГОСТ 2874—82 “Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством”).

Таблица 2. Химический состав подземных вод верхнепротерозойского горизонта

Компонент	Предельная величина	Наиболее распространенная величина
Сухой остаток при 110°С, мг/л	208—395	250—350
Гидрокарбонаты, мг/л	244—415	260—320
Сульфаты, мг/л	2,7—27,0	6—15
Хлориды, мг/л	1—46	2—10
Фтор, мг/л	0,25—3,0	0,8—1,7
Нитраты, мг/л	—	Нет
Нитриты, мг/л	—	Нет
Аммиак, мг/л	0—0,27	Незначительные следы
Натрий +калий, мг/л	37,1—145,1	50—90
Кальций, мг/л	6—59	10—30
Магний, мг/л	2,4—21,4	5—10
Железо общее, мг/л	0,06—0,97	0,1—0,3
Общая жесткость, мг-экв/л	0,65—2,9	1—2
pH	7,6—8,4	7,8—8,2
Окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л	0,3—2,81	0,5—1,0

Благодаря высоким качественным показателям (химическим, бактериологическим, органолептическим) эта артезианская вода подается в минскую городскую водопроводную сеть без очистки.

Аналогичным химическим составом и другими показателями характеризуется вода верхнепротерозойского горизонта на более удаленном водо-

заборе “Вицковщина”, который принадлежит также к зоне гидрокарбонатно-натриевых вод (см. табл. 1).

На большинстве скважин за длительный период эксплуатации не наблюдается тенденции к изменению качества воды. Однако на отдельных скважинах за 10—15 лет отмечено незначительное увеличение хлоридов (на 10—25 мг/л) и натрия (на 5—47 мг/л). Это связано, по-видимому, с подтоком нижележащих более минерализованных хлоридно-натриевых вод.

Южнее и юго-восточнее Минска, еще дальше от области питания, минерализация вод верхнепротерозойского горизонта быстро возрастает (при той же глубине скважин) до 1,3—3,7 г/л, при этом изменяется химический тип воды на хлоридно-натриевый (водозаборы “Острова”, “Фелицианово”, участок “Бор”). Уже на юго-восточной окраине Минска (микрорайон “Шабаны”) общая минерализация воды превышает 1,5 г/л с преобладанием хлора и натрия (см. табл. 1). Это не позволяет использовать такую воду для обычного хозяйственно-питьевого водоснабжения, поскольку она становится слабоминерализованной.

Вода из верхнепротерозойских песчаников в гигиеническом отношении представляет собой особую ценность как питьевая, поскольку содержит необходимое для здоровья количество фтора. Изучение материалов об этом удивительном микроэлементе оказалось настолько интересным, что мы посвятили ему отдельную главу.



Чем выше процент полевошпатовости песчаников и ниже содержание в них кварца, тем больше гидрокарбонат-ионов и натрия [20].

В районе расположения четырех централизованных групповых водозаборов и одиночных скважин Минска наблюдается резкое изменение конфигурации гидроизопьез верхнепротерозойского водоносного горизонта. Интенсивная и постоянная его эксплуатация привела к образованию обширной общей пьезометрической воронки диаметром до 30 км. Максимальное снижение абсолютных отметок гидроизопьез до 125 м отмечалось при максимальном водоотборе в 1963 г. В то же время это не отразилось на положении более высоких уровней воды верхних пресноводных горизонтов в четвертичной толще, хотя разница в отметках пьезометрических уровней тех и других в соседних скважинах достигла значительных величин (35—65 м). Здесь из-за разделяющих водоупоров, которые служат и надежной санитарной защитой, практически отсутствует инфильтрация вод из четвертичной толщи, исключается возможность как количественного восполнения нижнего водоносного горизонта, так и качественных изменений воды за счет перетекания сверху. Это подтверждается не только различием уровней, но и разным составом пресных вод верхнего и нижнего горизонтов, а также отсутствием тенденции к его выравниванию [23].

Особый интерес представляют исследования качества воды в начальный период эксплуатации, когда водоносный пласт имеет естественные показатели и не слишком затронут техногенным негативным влиянием. Первое обобщение накопленного фактического материала по химизму вод верхнепротерозойского горизонта выполнено в нашем отчете за первые 6 лет использования его в качестве источника водоснабжения, когда в городе было пробурено 74 водозаборные скважины на рассматриваемый горизонт и необходимо было изучить его режим (Р. А. Станкевич, 1963). За 1957 — 1962 гг. три лаборатории (МингорСЭС, БелНИСГИ, Минскводоканала) сделали более 750 физико-химико-бактериологических анализов воды верхнепротерозойского горизонта из скважин Минска, которые были нами тщательно собраны и изучены. Пробы воды обычно отбирали из кранов, установленных на оголовках скважин.

В тот период и позже подземные воды верхнепротерозойского горизонта характеризовались хорошими физическими свойствами. Как правило, вода была бесцветная, без постороннего запаха и привкуса, полностью прозрачная, без осадка и изменений при отстаивании.

Основной особенностью пресных вод верхнепротерозойского горизонта на участках городских водозаборов “Новинки”, “Петровщина”, “Зеленовка”, “Дражня” и разбросанных по городу скважин является принадлежность к гидрокарбонатно-натриевому типу, очень мягким и мягким, с достаточным для благополучного состояния зубов содержанием фтора (в пределах 0,25—3,0, чаще 0,8—1,7 мг/л), а железа — не более 0,3 мг/л (что является нормой), с безупречными бактериологическими и органолептическими показателями. Общая минерализация их редко превышает 0,5 г/л при нормативе 1,0 г/л.

Содержание отдельных компонентов в рассматриваемых водах колеблется в незначительных пределах на различных участках города. Первичные массовые анализы трех лабораторий по скважинам при их освоении и начальной эксплуатации характеризуют высокие естественные показатели химического состава воды (табл. 2). Микрокомпоненты в воде или не обнаруживаются (цинк, свинец, мышьяк, молибден, селен, бериллий, медь, бор, уран, радий), или содержатся в значительно меньшем количестве, чем допустимая концентрация (марганец, медь, стронций-90, алюминий, радий).



## Глава 4

### Фтор, его гигиеническое значение и содержание в питьевой воде месторождения

— Какие у Вас красивые зубы, милочка!  
— Это наследство моей матери.  
— Как здорово, что они Вам подошли!

(Газета "Здравый смысл". 7 ноября 1995 г.)

— Як жа трымаць язык за зубамі, калі яны выпалі?  
(“Народная газета”. 18 лістапада 1995 г.)

Не только район Минска, но и вся территория Республики Беларусь относится к зоне дефицита микроэлемента фтора в природных водах. Эта геохимическая особенность местности определяет некоторые виды нарушений обмена веществ и заболеваний человека — биогеохимическую эндемию кариеса зубов. Эндемический кариес зубов широко распространен и охватывает до 90% детского и взрослого населения.

Кариес (лат. *caries* — гниение) проявляется в том, что постепенно происходит разрушение эмали и дентина зубов. Он является основной, а в детском и молодом возрасте чуть ли не единственной причиной потери зубов, что приводит к нарушениям и заболеваниям пищеварительного тракта и другим негативным последствиям. Частота заболеваний кариесом зависит прежде всего от содержания фтора в питьевой воде, а не от каких-либо других влияний данной местности. Особо сильно страдают от кариеса жители тех мест, где содержание фтор-иона в воде ниже 0,3 мг/л.

Однако избыточное количество фтор-иона в природных источниках питьевой воды (1,5—2,0 мг/л и выше) приводит к другому заболеванию — флюорозу, сопровождающемуся пятнистостью, эрозией эмали, хрупкостью зубов и др. Но по природным условиям эндемический флюороз жителям Беларуси не угрожает, он может проявляться лишь на загрязненных фтором производствах, например при переработке апатита и изготовлении суперфосфата.

Оптимальной концентрацией фтора в питьевой воде считается такая, при которой выражено его противокариозное действие, но не возникает флюороза. При искусственном фторировании воды оптимальной принимается доза 0,8—1,2 мг/л, при этом в теплое время при большом потреблении воды концентрация снижается, а в холодное время — повышается. Согласно ГОСТ 2874—82, предельно допустимая концентрация фтора в питьевой воде 1,5 мг/л для I и II климатических районов (холодного и умеренного климата). В международных нормах качества питьевой воды (ВОЗ, Женева, 1993) также указана предельная для фтора величина — 1,5 мг/л, выше которой возникает риск появления флюороза зубов или костей скелета. В соответствии с существующими нормами необходимость фторирования воды на водопроводах хозяйственно-питьевого назначения определяется содержанием фтора в воде источника менее 0,5 мг/л. Однако в нашей геохимической зоне эндемического кариеса фторирование

водопроводной воды не получило развития. В 1995 г. в Беларуси не было ни одной действующей установки по фторированию воды.

Следует подчеркнуть, что избыток фтора в питьевой воде не менее вреден, чем недостаток, а разница между профилактической и токсической дозами очень невелика. Поэтому процесс фторирования воды требует строгого соблюдения технологии и грамотного контроля, а там, где есть возможность, лучше использовать природную подземную воду с оптимальной концентрацией фтор-иона.

Содержание фтора в воде межморенных горизонтов четвертичных отложений, являющихся основным источником водоснабжения Минска, меньше нормативного в 10—15 раз (от 0,15 до 0,05 мг/л и менее). Так же мало его и в речной воде, которую подают для хозяйственно-питьевых целей по Вилейско-Минской водной системе в западную часть города. В пресных водах верхнепротерозойского горизонта, как видно из табл. 2, содержание фтора колеблется от 0,25 до 3,0 мг/л. Тем не менее смешивание верхнепротерозойских вод с другими в водопроводе и их многократное разбавление мало что дают для повышения концентрации фтора, поскольку объем обогащенной фтором верхнепротерозойской воды в 15—17 раз меньше, чем воды четвертичных источников с низким содержанием фтора. Западные районы города, потребляющие речную воду, находятся в еще худшем положении по содержанию фтора в питьевой воде. Фторирование воды на минских водопроводных станциях не осуществляется.

Вот почему, прежде чем продолжить повествование о глубинных недрах нашего месторождения, сделаем отступление и поговорим более подробно о фторе. Этот микроэлемент играет на протяжении всей жизни особую физиологическую роль в нашем организме. Сделаем это для того, чтобы на общем фоне лучше оценить Минское месторождение глубоких пресных вод и понять его значение, так как оно является уникальным в Беларуси по содержанию фтора в оптимальных количествах, поскольку сочетает в себе особо благоприятные факторы формирования фторсодержащих подземных вод.

**И з у ч е н н о с т ь п р о б л е м ы ф т о р а.** Фтор, как весьма активный в биологическом отношении микроэлемент, привлекает особое внимание гигиенистов, стоматологов, токсикологов, химиков, геохимиков, гидрогеологов и других специалистов. Интерес к нему возник в 1931 г., когда было доказано, что причиной эндемий “пятнистой эмали” зубов является повышенное содержание фтора в питьевой воде. Это открытие стимулировало изучение эндемического флюороза и кариеса во всем мире. Выяснилось, что противокариозное действие оптимальных концентраций фтора распространяется как на молочные, так и на постоянные зубы (на все возрастные группы населения). Эти сведения позволили утверждать о целесообразности искусственного обогащения питьевой воды фтором. Фторирование воды впервые в мире стали осуществлять в США с 1945 г., в СССР — с 1958 г. [3, 4, 17].

Лишь за первые 30 лет исследований в мире было опубликовано свыше 10 тыс. работ, посвященных фтору и его влиянию на здоровье человека. Говоря о биологическом значении фтора, мы сегодня имеем возможность использовать огромный опыт, который накоплен специалистами в этой области в разных странах в течение 60 лет.

В рамках данной работы хотелось бы подчеркнуть только ключевые моменты этой проблемы, опираясь на публикации профессионалов-гигиенистов, стоматологов, химиков, водоснабженцев. Среди них известные в этой области специалисты России, Украины, Беларуси — Р. Д. Габович,



Г. Д. Овруцкий, Г. И. Николадзе, Н. П. Савельева, П. А. Леус, Е. А. Гельфер, Э. М. Мельниченко, П. В. Остапеня и др. [2—7, 9, 10, 13, 15—18]. Среди множества публикаций выделяется фундаментальный труд Р. Д. Габовича и Г. Д. Овруцкого (1969), который актуален и сегодня [4]. Последние всеобъемлющие рекомендации по использованию фтора в здравоохранении представлены в докладе Комитета экспертов Всемирной Организации Здравоохранения (World Health Organization) в 1993 г. (Report № 846, Geneva, 1993), одним из экспертов которого является профессор Минского медицинского института П. А. Леус [25, 26].

Тот факт, что фторирование питьевой воды впервые осуществлено в США, нельзя рассматривать как случайность. В большинстве источников водоснабжения этой страны содержится незначительное количество фториона. Кариесом было поражено около 98% населения, что считалось национальным бедствием. После 6,5 лет (с 1945 г.) фторирования водопроводной воды в г. Гранд-Рапидс (штат Мичиган) пораженность кариесом 6-летних детей снизилась на 66,6%, а 16-летних — на 18,1%. После 11 лет фторирования пораженность молочных зубов кариесом у 6-летних детей снизилась на 54%, а постоянных зубов у 11-летних — на 60—65%. Через 15 лет пораженность кариесом 15—16-летних снизилась на 48—50%, а 12—14-летних детей (родившихся после начала фторизации) — на 50—63%. Этот опыт привел к тому, что в 1959 г. в США фторировалась вода уже более чем в 1500 водопроводах, в 1963 г. — в 2519 водопроводах, а в 1969 г. фторированием было охвачено около 3000 городов. Предполагалось, что ежегодно в США будет на 2 млн больше людей, пьющих фторированную воду. Таким образом, решались социальные проблемы и были проявлены разумный подход и забота властей о здоровье народа [3, 4].

Европейское сообщество по исследованиям в области фторирования воды и профилактики кариеса рекомендовало повсеместное фторирование питьевой воды в Европе с доведением содержания фтора до 1 мг/л. При этом ожидалось снижение заболеваемости кариесом зубов на 70%. В настоящее время фторирование воды в коммунальных водопроводах широко проводится в разных странах мира на всех континентах.

**Особенности фтора как элемента биосферы.** Почему фтор, находясь в ничтожных количествах в воде и пище, оказывает существенное биологическое воздействие на живые организмы? Потому, очевидно, что это связано с сущностью этого химического элемента.

Фтор (греч. *phthoros* — разрушение, лат. *fluorum* — фтор, греч. *fluoride* — текущий) — в элементарной форме светло-желтый газ из группы галогенов, но в природе он встречается чаще в соединении с другими элементами благодаря высокой реакционной способности. Во всех своих соединениях он одновалентен. Слишком малые размеры атомов позволяют фтору плотно упаковываться вокруг других элементов и образовывать прочные соединения. В реакциях это самый активный металлоид, образующий соединения со всеми элементами, кроме азота, гелия, неона и аргона. Насчитывают свыше 600 комплексных соединений фтора, многие из них очень прочны. Как самый сильный окислитель фтор вытесняет даже кислород из большинства его соединений. Вода, асбест и кирпич загораются в струе фтора. Высокая электроотрицательность и способность к реакциям объясняют исключительную стойкость соединений фтора. Большинство фтористых металлов менее растворимо, чем соответствующие соединения других галогенов.

Фтор составляет 0,066 мас.% земной коры, занимая 16-е место среди 107 элементов [19]. В биосфере фтор является вездесущим и представляет собой яркий пример рассеянного состояния элементов. Несмотря на его

повсеместное распространение в природе и сравнительно высокое содержание в земной коре, растения поглощают очень мало фтора (следы) из-за того, что он находится в слаборастворимых соединениях. К наименее растворимым фторидам относится плавиковый шпат (флюорит)  $\text{CaF}_2$ , растворимость которого при  $18^\circ\text{C}$  составляет всего 16—40 мг/л (для сравнения:  $\text{MgF}_2$  — 130 мг/л,  $\text{FeF}_3$  — 910 мг/л,  $\text{NaF}$  — 41000 мг/л). Это отражается на низкой концентрации фтора в содержащих кальций природных водах.

Для биологов большой интерес представляют фосфатфториды, в особенности фторапатит  $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$ . Дело в том, что основной составной частью костей и зубов животных организмов (включая человека) является гидроксилapatит  $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$ , гидроксильные группы которого  $(\text{OH})_2^{2-}$  в большей или меньшей степени замещаются фтором, образуя гидроксилфторапатит. При содержании в последнем 35% фторапатита растворимость гидроксилapatита снижается в 2 раза, при 70% — в 4 раза, что повышает прочность костей и зубов. Устойчивость и плохая растворимость апатитовой молекулы объясняются сложностью ее строения. Фторапатиты и частично фтористый кальций  $\text{CaF}_2$  являются главными источниками фтора в биосфере.

Фтор в литосфере, гидросфере и атмосфере. Число фторсодержащих минералов, входящих в состав горных пород, велико, но чаще среди них встречаются соединения фтора с кальцием и алюминием, с которыми он имеет большое сродство. Более часто обнаруживаются флюорит  $\text{CaF}_2$ , криолит  $\text{Na}_3(\text{AlF}_6)$ , фторапатит  $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$ , апатит  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaF}_2$  и фосфориты (apatит + п. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , где п может быть близок к нулю). Фторсодержащие минералы находятся в горных породах в рассеянном состоянии, но нередко образуют и крупные месторождения.

Содержание фтора в почве определяется материнскими горными породами, поступлением с остатками животных и растений, с удобрениями, атмосферными осадками и промышленными выбросами. Глинистые почвы богаче фтором, чем песчаные. Дальнейшее перемещение фтора из пород и почв зависит от процессов выветривания и растворимости его соединений.

В подавляющем большинстве природных вод содержание микроэлементов настолько низкое, что они поступают в организм человека с водой в ничтожно малых количествах по сравнению с пищей (1—20% суточной потребности). Исключением является фтор, поступление которого с питьевой водой часто одного порядка с содержанием в суточном рационе или даже превышает его.

В соответствии с предложением ВОЗ для взрослого человека оптимальной считается доза фтора 1,5—4,0 мг/сут, максимум — 6 мг/сут. В суточном рационе пищевых продуктов содержится в среднем 0,5 — 1,1 мг фтора. Если в питьевой воде 0,4 мг/л фтора, то человек получает его столько же, сколько с пищевыми продуктами, а если его содержится 1 мг/л, то в сутки его поступает с водой в 2—3 раза больше, чем с пищей. Этим объясняется значение фтора в питьевой воде для здоровья населения.

Целенаправленное изучение фтора в природных водах Беларуси проводилось Е. А. Гельфер в 1958—1968 гг. (БелНИСГИ). Это были трудоемкие и тщательные натурные и лабораторные исследования, в процессе которых было опробовано 1457 скважин и колодцев, от верхних безнапорных вод



пород, то натрий и магний способствуют растворению фтористых минералов и обогащению воды фтором. Более полному извлечению фтора из пород способствует и повышенная концентрация сульфатов (ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ ) независимо от состава катионов. Эти закономерности экспериментально подтверждены при проведении многочисленных опытов в БелНИСГИ по растворению флюорита и глауконита подземными водами различного химического состава и растворами различных солей [5—7].

Согласно этим экспериментам, влияние гидрокарбоната натрия на обогащение воды фтором можно объяснить как влияние электролита, увеличивающего ионную силу раствора, а потому повышающего равновесные концентрации ионов кальция и фтора (что и повышает растворимость  $\text{CaF}_2$ ). Наличие в растворе катионов  $\text{Mg}^{2+}$ , как и  $\text{Na}^+$ , увеличивает растворимость  $\text{CaF}_2$ , причем катионы магния по сравнению с натрием вызывают несколько более высокую его растворимость, так как ионная сила раствора возрастает с увеличением зарядов ионов электролита. По этой же причине двухвалентные  $\text{SO}_4^{2-}$ -ионы при одних и тех же катионах в большей степени способствуют повышению растворимости фтористого кальция, чем одновалентные  $\text{Cl}^-$ -ионы. Положительная роль сульфатов (после гидрокарбонатов натрия) в увеличении растворимости фтористых соединений прослеживается и на подземных водах, для которых с повышением содержания сульфатов характерны более высокие концентрации фтора. Для хлоридных вод, наоборот, концентрация фтора снижается.

На основании сказанного можно утверждать, что в районе Минска в верхнепротерозойской пресной воде фтора содержится больше не потому, что протерозойские песчаники богаче фторсодержащими минералами по сравнению с породами четвертичных отложений, а в связи с тем, что вода верхнепротерозойского горизонта имеет гидрокарбонатно-натриевый состав, повышенное значение рН, мало кальция и низкую общую жесткость.

С переходом от пресных верхнепротерозойских вод к более глубоким минерализованным в зоне затрудненной циркуляции повышается общая минерализация воды, но содержание фтора (в хлоридно-натриевых водах) не только не увеличивается подобно росту концентрации других элементов, но с глубиной и возрастанием минерализации (до 16—28 г/л) снижается (до 0,7—0,4 мг/л). Это обусловлено одновременным повышением содержания кальция в минеральных водах, который ограничивает в них концентрацию фтора, а также хлоридным типом вод.

В начале главы мы говорили о том, что смешивание четвертичных вод с верхнепротерозойскими не способствует оптимальной концентрации фтора в водопродной воде Минска из-за малых объемов добываемой воды из глубокого горизонта. К этому следует добавить, что достигнуть необходимых результатов здесь довольно сложно, принимая во внимание изложенную выше зависимость содержания фтора от гидрохимических факторов. При смешивании бедных фтором четвертичных гидрокарбонатно-кальциевых вод, в катионном составе которых преобладает кальций, с гидрокарбонатно-натриевыми водами верхнего протерозоя, богатыми фтором, последний будет активно связываться с кальцием, образуя плохо растворимый фтористый кальций  $\text{CaF}_2$ , выпадающий в осадок. В резуль-

до глубоких минеральных вод, в 67 пунктах изучались поверхностные воды на 17 реках и 4 озерах, в 41 пробе исследовалось содержание фтора в атмосферных осадках 10 городов в разные сезоны года. В 1963 г. мы использовали результаты лабораторных определений БелНИСГИ при изучении качества воды верхнепротерозойского горизонта в период массового бурения артезианских скважин в Минске. Спустя много лет эти фактические материалы имеют такую же ценность и позволяют вернуться к проблеме фтора достаточно основательно.

Содержание фтора в поверхностных водах Беларуси, относящихся к гидрокарбонатно-кальциевому типу, не отличается разнообразием и составляет 0,1—0,2 мг/л. Оно близко к содержанию фтора в подземных водах, дренируемых реками. Его концентрация сохраняется постоянной по течению рек, по сезонам года (с колебанием 0,05—0,07 мг/л) и в многолетнем разрезе. Исключением является Свислочь, где содержание фтора в речной воде выше Минска составляло 0,15—0,18 мг/л, а ниже спуска сточных вод с городских очистных сооружений возрастало до 0,55 мг/л.

Фтор, являясь одним из постоянных элементов химического состава атмосферных осадков, содержался при незагрязненном состоянии воздуха в 10 городах Беларуси в пределах 0,05—0,20 мг/л в разные месяцы года. Около 1/5 атмосферного фтора задерживается почвой, остальное уносится речным стоком [7].

В подземных водах содержание фтора возрастает на участках водоносного горизонта с затрудненным питанием и замедленным водообменом, что увеличивает время контакта воды с водовмещающими породами. Вследствие этого концентрация его в воде повышается по мере погружения водоносного горизонта. Минимальное количество фтора содержат подземные воды, залегающие близко к поверхности земли, на возвышенных частях современного рельефа, в хорошо промытых и выщелоченных породах, в краевых частях артезианского бассейна.

Концентрация фтора в большинстве артезианских скважин остается постоянной, пока стабилен химический состав воды. Сезонные и годовые колебания не превышают 0,05—0,2 мг/л. Но с изменением химического состава воды, например в результате эксплуатации, меняется и концентрация в ней фтора (увеличение кальция снижает концентрацию свободного фтор-иона, а рост натрия, сульфатов — повышает ее). Однако ненарушенное постоянство концентрации фтора в напорных водах делает его во многих случаях настолько характерной величиной для данного водоносного горизонта, что можно использовать результаты лабораторных исследований для идентификации водоносных горизонтов, изучения стратиграфии отдельных районов, установления перетекания и гидравлической связи между отдельными горизонтами, их санитарной защищенности, что имеет большое практическое значение.

Степень обогащения подземных вод фтором зависит не только от наличия в породах фторсодержащих минералов, но и от химического состава воды. Минимальное содержание фтора типично для всех пресных гидрокарбонатно-кальциевых вод. Повышенные концентрации фтора сопровождаются более высокими значениями рН (до 8,0—8,3), низкой общей жесткостью воды (0,5—2 мг - экв/л), гидрокарбонатно-натриевым типом вод с пониженным содержанием кальция, а также в более редких случаях (на территории Беларуси) сульфатным типом вод с преобладанием катионов кальция, магния и натрия.

Если кальций с ионами фтора дает практически трудно растворимое соединение  $\text{CaF}_2$  и подавляет извлечение водой фтора из водовмещающих

приобретает аэробный характер, как и в нормальных тканях с участием кислорода.

Фтор, поступающий в организм в оптимальных количествах, обеспечивает высокий уровень иммунологических процессов, которые обуславливают достаточно высокую устойчивость организма и, в частности, зубов к неблагоприятным факторам микробной и неинфекционной природы. В целом, действуя на весь организм, фтор улучшает обмен веществ и повышает тонус сердечно-сосудистой системы.

Однако наибольшую известность фтор приобрел за последние 60 лет как единственный фактор, способный значительно изменять частоту заболеваний кариесом зубов и влиять на его течение [2—4, 9, 13, 15, 16]. В значительной степени кариес поражает молочные зубы. Он наблюдается даже в раннем возрасте, задолго до их полного прорезывания. Как очаги инфекции и интоксикации организма, кариозные зубы можно поставить в один ряд с заболеваниями миндалин. В настоящее время зубы у большинства детей и взрослых поражены кариесом. Борьба с этим коварным недугом и его осложнениями является социальной проблемой. Профилактика этого заболевания призвана предупредить и другие серьезные болезни.

Т а б л и ц а 3. Содержание фтора в пресных водах верхнепротерозойского водоносного горизонта на территории Минска и его окрестностей

Местоположение и номер скважин	Содержание фтора, мг/л	pH	Формула солевого состава воды
Водозабор "Новинки", скв. 1а, 3а, 4а, 6а, 8а, 11а, 12а, 13а	0,45—1,1	7,7—7,95	$M(0,27 - 0,38) \frac{HCO_3(95 - 98)SO_4(1 - 2)Cl(1 - 3)}{(Na + K)(25 - 60)Ca(24 - 47)Mg(16 - 28)}$
Водозабор "Петровщина", скв. 8а, 9а, 10а, 11а, 13а, 14а, 16а	1,5—3,0	7,90—8,30	$M(0,46 - 0,52) \frac{HCO_3(80 - 93)Cl(4 - 14)SO_4(3 - 6)}{(Na + K)(54 - 88)Ca(7 - 30)Mg(5 - 6)}$
Скв. 4а	0,9	7,55	$M0,51 \frac{HCO_3 95SO_4 4Cl1}{(Na + K)44Ca36Mg20}$
Водозабор "Зеленовка", скв. 3а, 6а, 10а, 11а, 14а, 17а, 19а	0,85—1,40	7,95—8,10	$M(0,32 - 0,38) \frac{HCO_3(92 - 98)SO_4(1 - 5)Cl(1 - 4)}{(Na + K)(50 - 72)Ca(16 - 30)Mg(12 - 20)}$
Водозабор "Дражня", скв. 0а, 1а, 3а, 6а, 9а, 12а, 18а, 20а, 21а	2,4—2,80	8,15—8,35	$M(0,42 - 0,57) \frac{HCO_3(76 - 94)SO_4(4 - 11)Cl(2 - 13)}{(Na + K)(87 - 94)Ca(4 - 8)Mg(3 - 11)}$
Скв. 15а	1,30	8,30	$M0,38 \frac{HCO_3 81Cl13SO_4 6}{(Na + K)66Ca23)Mg11}$



тате фтор-ион из воды будет потерян и не сможет сыграть свою гигиеническую роль для здоровья человека.

Таким образом, в целях оздоровления верхнепротерозойскую фторовую воду месторождения следует потреблять как питьевую, без смешивания и разбавления, в ее естественном виде и состоянии.

Теперь, зная принципиальные закономерности формирования фторсодержащих подземных вод, покажем, как они реализуются в природных условиях Минского месторождения. Но перед этим остановимся на том, как воздействует фтор на организм человека.

**Физиологическая роль фтора.** Влияние фтора на жизненно важные органы и системы изучалось во многих странах. Физиологическое значение фтора состоит прежде всего в том, что он придает своим соединениям особую стабильность и устойчивость, является катализатором биохимических процессов, активизирует обмен веществ и повышает иммунитет организма. Определенное количество фтора необходимо для формирования оптимальной структуры и роста зубов, костей, а также для волос, ногтей и кожи, содержащих больше фтора, чем другие ткани.

В населенных пунктах, где концентрация фтора в воде составляет около 1 мг/л, зубы у жителей, как правило, красивы по форме и цвету, прочны и устойчивы к кариесу. Снижение заболеваемости кариесом сопровождается уменьшением других заболеваний. По мнению многих авторов, фтор можно отнести к жизненно необходимым пищевым веществам наряду с другими микроэлементами.

Фтор также играет защитную роль при других отклонениях от нормы, влияющих на обмен кальция. Содержание радиоактивного стронция в зубах снижается с повышением концентрации фтора в питьевой воде. Фтор снижает содержание радиоактивного стронция в костях, а также способствует связыванию костными тканями фосфорнокислого кальция, являясь биокатализатором этого процесса. Малые дозы фтора, воздействуя на вырабатывающие костную ткань клетки (остеобласты), содействуют кальцификации костной ткани. Считается, что при расстройствах окостенения, когда не помогает витамин Д, нарушение обмена кальция и фосфора вызвано недостатком фтора, и поэтому последний можно применять с терапевтической целью при размягчении, деформации (остеомалации) и других заболеваниях костей.

Фтор тормозит действие одних ферментов, в малых концентрациях усиливает действие других, раздражая гипофиз. При этом наблюдается стимуляция коры и мозгового слоя надпочечников, щитовидной и окощитовидной желез, утолщаются кости, улучшается течение ростовых и других жизненных процессов.

Большой интерес вызывает вопрос о влиянии фтора на сопротивляемость организма раковым опухолям, их рост и развитие. Как известно, для злокачественных новообразований характерен весьма интенсивный анаэробный гликолиз — расщепление углеводов под действием ферментов в отсутствие кислорода. Эти специфические черты обмена веществ раковой клетки, которые имеют решающее значение для ее роста и жизнеспособности, под влиянием фтора резко нарушаются. Фтор, как сильнейший окислитель, подавляет гликолиз. Обмен веществ в присутствии окислителя

Местоположение и номер скважин	Содержание фтора, мг/л	pH	Формула солевого состава воды
Стадион "Динамо", скв. Г-5а; ул. Либкнехта, скв. Г-7а; Фабрика-кухня, скв. Г-8а; ул. Московская, скв. Г-9а; Тепличный комбинат, скв. Г-19а	0,7—0,85	7,9—8,05	$M(0,44 - 0,51) \frac{HCO_3(80 - 95)SO_4(3 - 5)Cl(2 - 15)}{(Na + K)(59 - 81)Ca(11 - 25)Mg(8 - 16)}$
Масюковщина, скв. Г-10а	0,25	8,05	$M0,49 \frac{HCO_3 \ 96SO_4 \ 3Cl11}{Ca44Mg29(Na + K)27}$
Завод запчастей, скв. Г-21а	1,5	8,10	$M0,42 \frac{HCO_3 \ 92SO_4 \ 5Cl13}{(Na + K)75Ca15Mg10}$
Завод медпрепаратов, скв. 5, 6	1,00—1,30	8,0—8,2	$M(0,45 - 0,47) \frac{HCO_3(90 - 91)SO_4(5 - 7)Cl(2 - 5)}{(Na + K)(70 - 74)Ca(15 - 17)Mg(11 - 13)}$
Камвольный комбинат, скв. 5, 7, 8, 9, 10	1,80—2,80	8,05	$M(0,53 - 0,61) \frac{HCO_3(64 - 81)Cl(13 - 28)SO_4(6 - 8)}{(Na + K)(84 - 88)Ca(7 - 9)Mg(5 - 7)}$
Комбинат строительных материалов, скв. 3, 4	1,7—2,40	8,20—8,30	$M(0,51 - 0,52) \frac{HCO_3(81 - 85)Cl(6 - 21)SO_4(8 - 9)}{(Na + K)(69 - 77)Ca(13 - 23)Mg(8 - 10)}$
Мясокомбинат, скв. 2, 4	2,40—2,70	7,85—8,20	$M(0,48 - 0,55) \frac{HCO_3(86 - 88)SO_4(5 - 10)Cl(2 - 9)}{(Na + K)(62 - 76)Ca(15 - 23)Mg(9 - 15)}$
Завод плодовых ягодных вин, скв. 2; фабрика химчистки "Беларусь", скв. 1	0,70—0,80	7,60	$M(0,55 - 0,57) \frac{HCO_3(92 - 93)SO_4(6 - 7)Cl11}{(Na + K)(51 - 56)Ca(27 - 40)Mg(9 - 17)}$
Домостроительный комбинат, скв. 8	0,30	8,10	$M0,49 \frac{HCO_3 \ 95SO_4 \ 4Cl11}{Ca39(Na + K)37Mg24}$

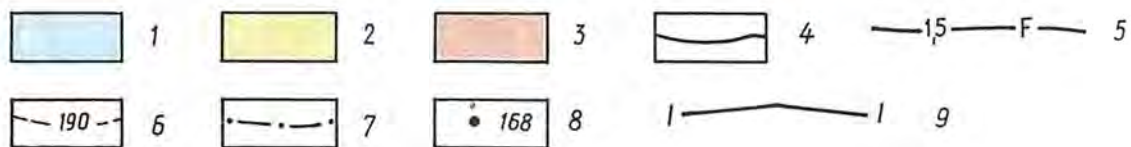
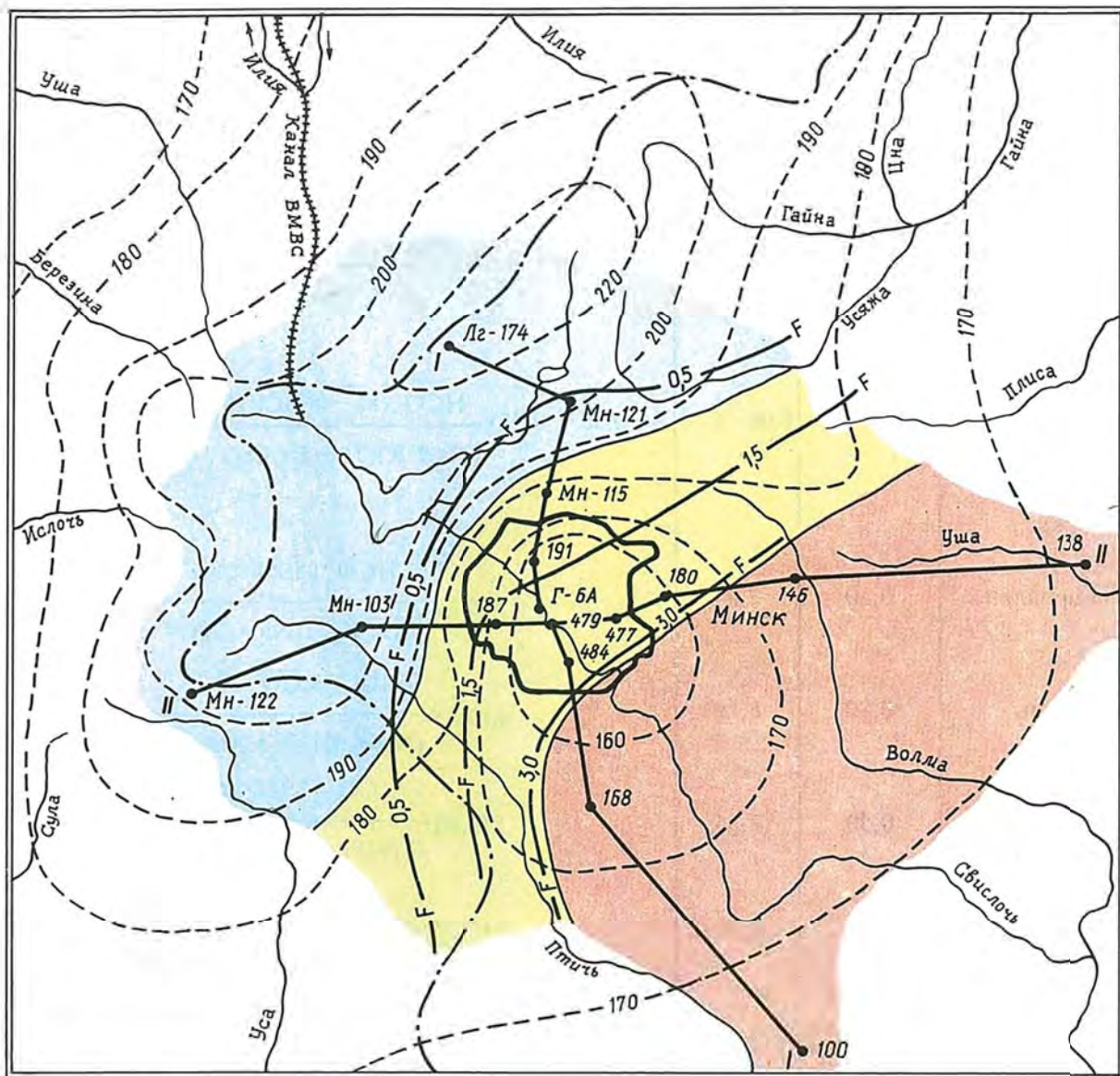


Рис. 5. Гидрогеохимическая карта пресных и слабоминерализованных вод верхнепротерозойского водоносного горизонта: 1 — гидрокарбонатно-кальциево-магниевый тип вод (минерализация  $M < 0,4$  г/л); 2 — гидрокарбонатно-натриевый тип вод ( $M < 0,5$  г/л); 3 — хлоридно-натриевый тип вод ( $M > 0,5 - 1,0$  г/л); 4 — граница между гидрохимическими типами воды; 5 — изолинии содержания фтора, мг/л; 6 — гидроизопьезы верхнепротерозойского водоносного горизонта (на 1990 г.); 7 — линия Черноморско-Балтийского водораздела; 8 — буровая скважина и ее номер; 9 — линия геолого-гидрогеологического разреза (см. рис. 3, 4)



Местоположение и номер скважин	Содержание фтора, мг/л	pH	Формула солевого состава воды
ТЭЦ-2, скв. 4, 5; ТЭЦ-3, скв. 5	0,9—1,2	8,00—8,10	$M(0,46 - 0,48) \frac{HCO_3(92 - 94)SO_4(4 - 6)Cl_2}{(Na + K)(66 - 88)Ca(7 - 20)Mg(5 - 14)}$
Овощесушиль- ный завод, скв. 1	1,60	8,20	$M0,45 \frac{HCO_3 \quad 92SO_4 \quad 5Cl_2}{3 \quad 4}$ (Na + K)88Ca7Mg5
Автозавод, скв. 6, 6а	1,80—2,50	7,55—8,25	$M(0,50 - 0,54) \frac{HCO_3(86 - 92)SO_4(6 - 9)Cl(2 - 5)}{(Na + K)88Ca7Mg5}$
Завод им. Дзер- жинского, скв. 1; за- вод круп- ноблочных изделий, скв. 1	2,30—3,00	8,00—8,10	$M(0,50 - 0,55) \frac{HCO_3(81 - 84)Cl(10 - 12)SO_4(6 - 7)}{(Na + K)(71 - 81)Ca(12 - 18)Mg(7 - 11)}$
д. Боровляны	0,50	7,85	$M0,34 \frac{HCO_3 \quad 98SO_4 \quad 1Cl_2}{3 \quad 4}$ Ca51Mg31(Na + K)17
д. Зацень	0,80	8,10	$M0,43 \frac{HCO_3 \quad 96SO_4 \quad 2Cl_2}{3 \quad 4}$ (Na + K)37Ca37Mg26
д. Вишневка	0,50	7,55	$M0,40 \frac{HCO_3 \quad 98SO_4 \quad 1Cl_2}{3 \quad 4}$ Ca50Mg35(Na + K)15
д. Карасевщи- на	0,40	8,00	$M0,47 \frac{HCO_3 \quad 99Cl_2}{3}$ Ca60Mg24(Na + K)16
д. Новоселье, д. Новопо- лье	0,15—0,25	8,00—8,05	$M(0,35 - 0,38) \frac{HCO_3(95 - 96)SO_4(3 - 4)Cl_2}{Ca(63 - 64)Mg(28 - 30)(Na + K)(6 - 9)}$
д. Лукаши, д. Скир- мунтово	0,07—0,08	7,60—8,00	$M(0,36 - 0,38) \frac{HCO_3(95 - 99)SO_4(4 - 0)Cl_2}{Ca(60 - 67)Mg(24 - 26)(Na + K)(6 - 7)}$

Потребление фтора с питьевой водой в период формирования и минерализации зубов способствует их сопротивляемости кариесу в течение длительного времени. Введение 1 мг/л фтора с водой в период беременности оказывает дополнительное противокариозное воздействие на молочные зубы, а также способствует нормализации роста костей.

Противокариозное действие фтора распространяется на все возрасты (на молочные и постоянные зубы). Согласно многочисленным исследованиям, ежедневно с мочой выводится 0,5—0,6 поступившего в организм количества фтора, поэтому постоянно возникает потребность в его восполнении.

Стабильное, постоянно сохраняющееся противокариозное влияние фтор оказывает в тех случаях, когда поступает в организм в течение всей жизни.



Распределение фтора в протерозойских водах Минского месторождения полностью согласуется с гидрогеохимическими закономерностями, о которых сказано выше. Они отчетливо прослеживаются как по площади, так и по глубине в соответствии с изменениями гидрохимических типов подземных вод (табл. 3, 4).

Содержание фтора определяли в лабораторных условиях по пробам воды в разные годы по эксплуатационным (БелНИСГИ; табл. 3, 4) и разведочным гидрогеологическим (ЦЛ ПО "Беларусьгеология") скважинам. Как следует из естественных предпосылок, с гидрокарбонатно-кальциевыми более жесткими водами связаны низкие концентрации фтора, а с гидрокарбонатно-натриевыми мягкими — более высокие. Это прослеживается по всем пресным водам месторождения, поэтому можно провести границы по площади между водами с разным содержанием фтора (рис. 5).

Наименьшие концентрации фтора отмечены в области питания верхнепротерозойского горизонта на Минской возвышенности, где абсолютные отметки гидроизопьез выше 200—210 м и развит гидрокарбонатно-кальциевый тип вод. Здесь меньше всего фтора в эксплуатационных скважинах, расположенных вблизи Черноморско-Балтийского водораздела (0,15—0,40 мг/л — д. Новополье, Новоселье, Карасевщина), а самый минимум — в окрестностях горы Дзержинской, наивысшей точки Беларуси, — 345 м над уровнем моря (0,07—0,08 мг/л — д. Скирмунтово, Лукаши). Такая же картина наблюдается по разведочным скважинам, где содержание фтора в верхнепротерозойской воде не более 0,23—0,43 мг/л (д. Буцевичи — 0,33 мг/л, участок "Вязынка" — 0,28—0,43, д. Птичь — 0,23 мг/л).

Южнее воды переходят в гидрокарбонатно-натриевый тип, а содержание фтора повышается на северных окраинах Минска до 0,9—1,4 мг/л (водозаборы "Новинки" — 0,4—1,1 мг/л, "Зеленовка" — 0,9—1,4, "Волма" — 0,84, скважины в д. Зацень — 0,8, д. Цна 1,4, завод медпрепаратов — 1,0—1,3 мг/л и т.д.).

При дальнейшем продвижении к югу и юго-востоку и сохранении того же гидрокарбонатно-натриевого типа воды концентрация фтора повышается до 1,7—3,0 мг/л (водозаборы "Петровщина" — 1,5—3,0 мг/л, "Дражня" — 2,40—2,80, камвольный комбинат — 1,8—2,8, мясокомбинат — 2,4—2,7, автозавод — 1,8—2,5 мг/л). Далее в тех же направлениях от южных окраин Минска содержание фтора в воде достигает 3,15 мг/л (водозабор "Фелицианово") и 3,7—4,2 мг/л (микрорайон "Шабаны") при изменении типа вод на хлоридно-натриевый и увеличении общей минерализации более 1,5—2,5 г/л (см. рис. 5).

По данным лаборатории Минскводоканала, на водозаборе "Вицковщина", за линией Черноморско-Балтийского водораздела, в гидрокарбонатно-натриевой воде протерозойских скважин эти значения изменяются от 0,29—0,42 до 0,75—0,95 мг/л фтора вдоль линии водозабора на протяжении 9 км.

Отмеченные закономерности распределения фтора в воде по площади позволяют более обоснованно выбирать места эксплуатации верхнепротерозойского горизонта для получения артезианской воды необходимого качества по содержанию этого ценного компонента. При использовании ее без смешивания с другими водами, например для розлива в бутылки или пакеты с целью последующей доставки потребителю, оптимальным можно считать расположение водоисточника, т.е. глубокой артезианской скважины, на северных и северо-восточных окраинах Минска, где фтор в воде содержится в требуемых гигиенических пределах (0,7—1,5 мг/л).

Отсюда видно, почему именно к Минскому месторождению пресных гидрокарбонатно-натриевых вод в верхнепротерозойских песчаниках можно отнести сравнительно небольшие территории, которые характеризуются безукоризненным качеством питьевой воды. Особенно благоприятно



## Глава 5

### Минеральные воды Минска

*Любое проявление природной воды — глетчерный лед, безмерный океан, почвенный раствор, гейзер, минеральный источник — составляет единое целое, прямо или косвенно, но глубоко связанное между собой... Вся масса воды и в жидкой, и в газообразной, и в твердой форме находится в непрерывном движении, переполнена действенной энергией, сама вечно меняется и меняет все окружающее.*

**В. И. Вернадский**  
(1863—1945)

Гидрохимическое описание верхнепротерозойского водоносного горизонта в районе Минска будет неполным, если хотя бы кратко не затронуть более глубокие горизонты, находящиеся под зоной пресных вод.

С увеличением глубины залегания отложений изменяются гидрохимические типы и степень минерализации заключенных в них вод, от гидрокарбонатно-кальциевых и гидрокарбонатно-натриевых с минерализацией 0,4—0,5 г/л до хлоридно-натриевых и сульфатно-хлоридно-натриевых с минерализацией до 10—27 г/л (табл. 5). Основная роль в образовании этих минеральных вод принадлежит процессам растворения и выщелачивания остаточного ионно-солевого комплекса водовмещающих горных пород [8, 11].

Минерализованные воды приурочены (снизу вверх) к песчаникам белорусской, волынской и нижней части валдайской серий. Границей раздела пресных и минерализованных вод в валдайских отложениях верхнего протерозоя, по исследованиям Белорусской гидрогеологической экспедиции, является пачка глинистоалевролитовых пород мощностью до 50 м (В. А. Зубок, А. И. Богданик, 1990). В целом это единый мощный водоносный комплекс, сложенный довольно однородными обломочными горными породами, в пределах которого минерализация воды постепенно возрастает сверху вниз в связи с закономерным затруднением условий циркуляции воды.

В химическом составе хлоридно-натриевых минеральных вод преобладают хлориды (75—85% мг-экв) и натрий (81—96% мг-экв), в хлоридно-сульфатных натриевых водах — также хлориды (64—77% мг-экв) и натрий (74—92% мг-экв), в сульфатно-хлоридных натриевых водах преобладают сульфаты (51—57% мг-экв) и натрий (58—82% мг-экв). Из специфических микроэлементов присутствуют бром (от 2—5 до 18—34 мг/л), фтор (от 0,4—0,9 до 1,4—3,0 мг/л), бор, стронций и некоторые другие.

Из графика видно, что до абсолютной отметки — 100 м (ниже уровня моря) воды имеют минерализацию до 1 г/л, соответствующую пресным водам; между отметками —100 и —200 м расположена зона солоноватых вод с минерализацией 1—10 г/л, а глубже отметки —200 м — зона соленых вод с минерализацией более 10 г/л (рис. 6). В зависимости от рельефа дневной поверхности в районе Минска глубина гидрохимических зон (по степени минерализации) составляет для пресных вод до 300—320 м, солоноватых — до 400—450 м, соленых — до 530 м и более.

ятны в этом отношении ближайшие северные и северо-восточные окраины Минска с примыкающей зеленой зоной, которые оптимально удалены от наибольших высот Минской возвышенности, обеспечивающей водонапорный режим движения подземных вод, незначительный рост пьезометрической депрессии и высокое гигиеническое качество воды (районы водозаборов “Новинки” и “Зеленовка”). Менее пригодны для розлива воды скважины на восточной, южной и юго-западной окраинах города, где содержание фтора в воде горизонта (2,4—3,0 мг/л) в 1,5—2 раза превышает гигиенический норматив (районы водозаборов “Дражня”, “Петровщина” и др.).

Следует отметить, что с глубиной повышение концентрации фтора имеет, по-видимому, какой-то предел, ограниченный гидрогеохимическими условиями. Если с севера на юг, в границах чуть заметного повышения общей минерализации пресных гидрокарбонатно-натриевых вод, наблюдается увеличение концентрации фтора в 10 раз (от 0,3 до 3,0 мг/л), то по-иному проявляется поведение фтора в более глубоких минерализованных водах, за пределами зоны пресных вод. Здесь, в зоне затрудненного водообмена, с увеличением общей минерализации концентрация фтора становится меньше! При этом, достигнув какого-то максимума, содержание его в условиях хлоридно-натриевых вод неуклонно снижается с глубиной и увеличением общей суммы ионов. Это хорошо видно на примере нескольких скважин Минска — от 4,2 до 0,4 мг/л (табл. 4).

Снижение содержания фтора объясняется общим повышением макрокомпонентов — кальция, который связывается с фтором в трудно растворимое соединение, и хлора, уменьшающего растворимость фторсодержащих минералов из-за меньшей ионной силы раствора.

Таблица 4. Изменение содержания фтора в хлоридно-натриевых водах с повышением минерализации

Местоположение и номер скважины	Глубина скважины, м	Сумма ионов, г/л	Содержание фтора, мг/л
Микрорайон “Шабаны”, скв. 2	296	1,7	4,20
Завод безалкогольных напитков, скв. 4	390	3,6	2,25
Областная больница, скв. 2	390	5,6	1,80
Областная больница, скв. 1	523,9	16,1	0,80
Завод безалкогольных напитков, скв. 2	411	18,1	0,65
Автозавод	432	23,4	0,40

Если посмотреть несколько шире, за пределы Минского месторождения, то можно обнаружить, что в ряде населенных пунктов других районов республики в пресных водах верхнепротерозойского горизонта отмечены довольно низкие концентрации фтора (0,05—0,5 мг/л), что обусловлено гидрокарбонатно-кальциевым типом вод (Дзержинский, Несвижский, Воложинский р-ны, Барановичи, Лида, Пинск, Ляховичи, Лунинец, Дрогичин, Ст. Дороги). В то же время в гидрокарбонатно-кальциево-натриевых водах этого горизонта содержание фтора несколько повышается — до 0,5—0,9 мг/л (Вилейский, Столбцовский, Барановичский р-ны). Добавим к этому, что повышение фтора в этом горизонте также бывает связано с редким типом сульфатно-гидрокарбонатных пресных вод.

Таким образом, учитывая несомненную роль фтора в создании, укреплении ряда жизненно важных систем организма и сохранении здоровья людей всех возрастов, воды верхнепротерозойского горизонта Минского месторождения можно отнести к особо ценным для питьевых целей, а месторождение — к уникальным по содержанию фтора.



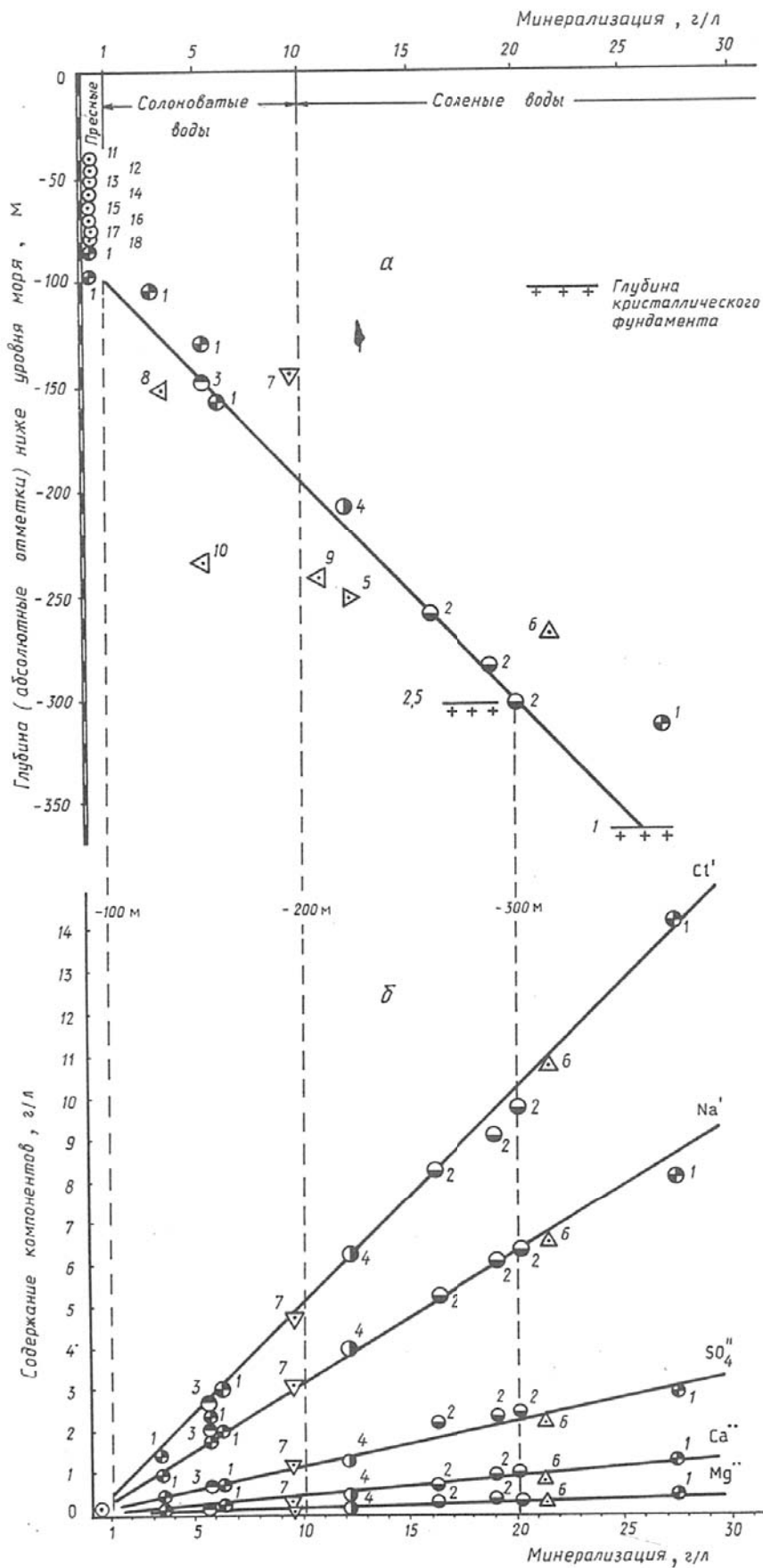


Рис. 6 Изменение минерализации подземных вод (а) и содержания основных компонентов (б) с глубиной в районе Минска. Цифры соответствуют номерам скважин: 1 — Минская опорная скв.; 2 — областная больница, скв. 1; 3 — там же, скв. 2; 4 — больница автозавода; 5 — водно-спортивный комбинат; 6 — 9-я больница, скв. 1; 7 — там же, скв. 2; 8 — санаторий "Криница", скв. 2/69; 9 — там же, скв. 2/60; 10 — санаторий "Беларусь", скв. 1; 11 — водозабор "Зеленовка", скв. 14а; 12 — ТЭЦ-2, скв. 5; 13 — автозавод, скв. 6а; 14 — водозабор "Дражня", скв. 12а; 15 — камвольный комбинат, скв. 10; 16 — Центральный сквер, скв. Г-6а; 17 — водозабор "Новинки", скв. 6а; 18 — водозабор "Петровщина", скв. 11а

Таблица 5. Гидрохимические типы минеральных лечебных вод Минска и окрестностей

Местоположение и номер скважины	Глубина скважины, м, абс. отметка устья, м	Интервал опробования, м	Формула солевого состава воды
<i>Хлоридно-натриевые воды</i>			
Минская опорная скважина (парк им. Горького) опробовалась на разных глубинах (в том числе пресные воды*)		280,0*	M0,35 $\frac{\text{HCO}_3 \text{ } 96 \text{ SO}_4 \text{ } 2 \text{ Cl}_2}{\text{Na}67 \text{ Ca}21 \text{ Mg}12}$
		300,0	M3,2 $\frac{\text{Cl}79 \text{ SO}_4 \text{ } 14 \text{ HCO}_3 \text{ } 7}{\text{Na}89 \text{ Ca}6 \text{ Mg}5}$
	580,27	326,0	M5,5 $\frac{\text{Cl}82 \text{ SO}_4 \text{ } 15 \text{ HCO}_3 \text{ } 3}{\text{Na}92 \text{ Ca}7 \text{ Mg}1}$
	194,7	352,0	M6,1 $\frac{\text{Cl}87 \text{ SO}_4 \text{ } 12 \text{ HCO}_3 \text{ } 1}{\text{Na}91 \text{ Ca}6 \text{ Mg}3}$
		476,86—510,0	M27,2 $\frac{\text{Cl}87 \text{ SO}_4 \text{ } 13}{\text{Na}77 \text{ Ca}14 \text{ Mg}8}$
		474—509	M16,1 $\frac{\text{Cl}83 \text{ SO}_4 \text{ } 16}{\text{Na}81 \text{ Ca}11 \text{ Mg}7}$
		519,0	M20,1 $\frac{\text{Cl}83 \text{ SO}_4 \text{ } 17}{\text{Na}80 \text{ Ca}13 \text{ Mg}7}$
		348—379,5	M5,6 $\frac{\text{Cl}82 \text{ SO}_4 \text{ } 14 \text{ HCO}_3 \text{ } 3}{\text{Na}96 \text{ Mg}3 \text{ Ca}1}$
Областная больница, скв. 1	523,9		
	215,9		
Областная больница, скв. 2	390,0		
	215,9		
Больница автозавода	475,0	412—432	M12,0 $\frac{\text{Cl}87 \text{ SO}_4 \text{ } 12 \text{ HCO}_3 \text{ } 1}{\text{Na}82 \text{ Ca}11 \text{ Mg}6}$
	217,0		
Городская водогрязелечебница, скв. 1	545,0	497—540	M13,4 $\frac{\text{Cl}80 \text{ SO}_4 \text{ } 19}{\text{Na}81 \text{ Ca}12 \text{ Mg}6}$
	—		
Городская водогрязелечебница, скв. 3	400,0	347—388	M2,53 $\frac{\text{Cl}78 \text{ SO}_4 \text{ } 12 \text{ HCO}_3 \text{ } 9}{\text{Na}87 \text{ Ca}8 \text{ Mg}4}$
	—		
Завод безалкогольных напитков, скв. 3, минвода "Минская-3"	418,0	402—411	M5,95 $\frac{\text{Cl}81 \text{ SO}_4 \text{ } 15}{\text{Na}89 \text{ Ca}7}$
	—		
Завод безалкогольных напитков, скв. 4, минвода "Минская-4"	390,0	320—360	M3,6 $\frac{\text{Cl}82 \text{ SO}_4 \text{ } 11 \text{ HCO}_3 \text{ } 6}{\text{N}Na93 \text{ Ca}5}$
	—		

Местоположение и номер скважины	Глубина скважины, м, абс. отметка устья, м	Интервал опробования, м	Формула солевого состава воды
Водно-спортивный комбинат (парк Челюскинцев)	518,2	430—516,5	$M_{12,2} \frac{Cl_{80}SO_4^{19}}{Na_{84}Ca_9}$
	215		
9-я городская больница, скв. 2	373	353—364	$M_{9,6} \frac{Cl_{81}SO_4^{18}HCO_3^1}{Na_{85}Ca_8Mg_6K_1}$
	200		
9-я городская больница, скв. 1	510	452—489	$M_{21,4} \frac{Cl_{85}SO_4^{15}}{Na_{81}Ca_{12}Mg_7}$
	200		
п. Ждановичи, санаторий "Криница", скв. 2/69	379,6	354—378	$M_{3,5} \frac{Cl_{75}SO_4^{16}}{Na_{92}Ca_4}$
	210,4		

*Хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные натриевые воды*

п. Ждановичи, санаторий "Беларусь", скв. 1	470	421—470	$M_{5,4} \frac{Cl_{70}SO_4^{25}}{Na_{92}Ca_5Mg_3}$
	211,5		
п. Ждановичи, санаторий "Криница", скв. 2/60	477,1	433,9—477,0	$M_{10,8} \frac{Cl_{74}SO_4^{25}}{(Na + K)_{83}Ca_{10}}$
	211,5		
Санаторий "Аксаковщина", скв. 1	474	440—474	$M_{4,16} \frac{SO_4^{52}Cl_{41}}{Na_{82}Ca_{10}}$
	212		
Санаторий "Аксаковщина", скв. 2		448—456	$M_{12,3} \frac{SO_4^{51}Cl_{43}}{Na_8}$
п. Острошицкий Городок, санаторный лагерь "Геолог", скв. 1	576,5	495—529	$M_{12,3} \frac{Cl_{67}SO_4^{32}}{Na_{74}Ca_{20}}$
	235,0		
п. Острошицкий Городок, санаторный лагерь "Геолог", скв. 2	453	422—448	$M_{7,5} \frac{Cl_{72}SO_4^{26}}{Na_{86}Ca_9}$
	235,0		
Водозабор "Волма", скв. 6		410,0—452,8	$M_{3,2} \frac{Cl_{77}SO_4^{20}}{Na_{88}}$
Заславль, ст. Зеленое	465,2	420—456,2	$M_{4,0} \frac{Cl_{64}SO_4^{31}}{(Na + K)_{93}Ca_4}$
	224,05		
п. Городище, санаторий "Дружба", скв. 2	378,8	350—370	$M_{4,3} \frac{Cl_{73}SO_4^{22}HCO_3^5}{Na_{92}Ca_4Mg_3K_1}$
	230		

Все три зоны, очевидно, связаны между собой постепенными переходами минерализации. Повышение минерализации происходит, главным образом, за счет хлора и натрия и в меньшей степени за счет сульфатов, принимая с глубиной все более четкий характер хлоридно-натриевых вод.



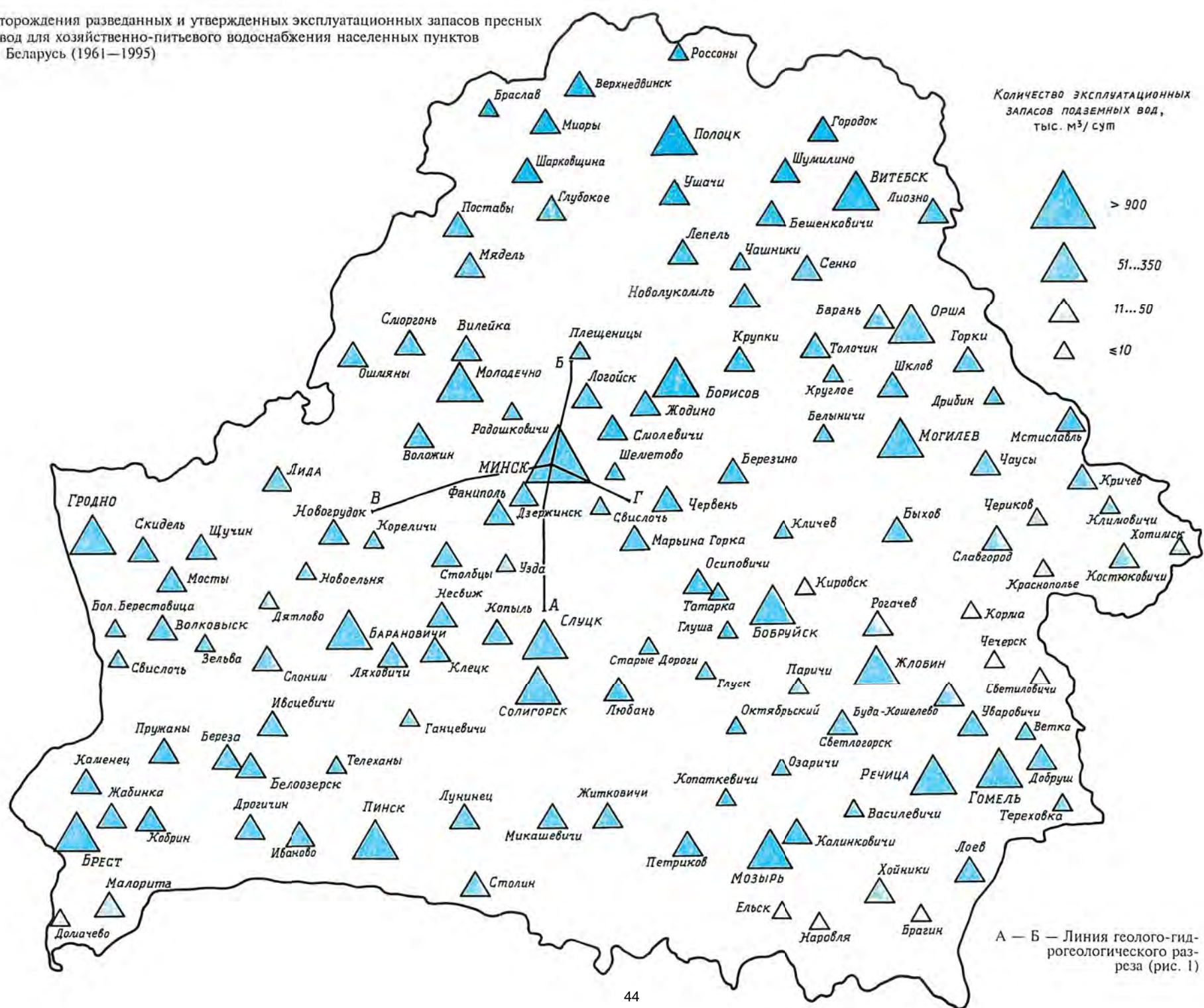
Пропорционально минерализации изменяется и концентрация основных компонентов. Пользуясь графическим методом, удалось получить достаточно точное для пяти компонентов наложение точек на прямые (рис. 6) и тем самым показать, что в данном случае мы имеем дело с типичным смешением вод — глубинной воды с высокой минерализацией и слабоминерализованной воды верхней зоны. Промежуточные воды отражают результат смешения указанных вод в разных пропорциях.

Из формул солевого состава видно (табл. 5), что результативная вода после смешивания устойчиво сохраняет гидрохимический облик, свойственный глубинной минерализованной воде, а воды нижней зоны в Минске имеют одинаковый хлоридно-натриевый состав при уменьшающейся вверх минерализации благодаря увеличению разбавления и повышению степени водообмена с верхними пресными водами.

Минеральные воды Минска и окрестностей успешно применяются в больницах, санаториях и других лечебно-оздоровительных учреждениях: при минерализации до 10—12 г/л — как лечебно-питьевые для лечения заболеваний органов пищеварения и обмена веществ, а свыше 10—12 г/л — как бальнеологические (в ваннах, бассейнах) для лечения сердечно-сосудистой системы, периферической нервной системы, гинекологических заболеваний и заболеваний опорно-двигательного аппарата. С 1957 г. осуществляется бутылочный розлив Минской минеральной воды № 3, 4.

На Минской возвышенности и прилегающей территории в разрезе осадочной толщи вплоть до зоны минеральных вод преобладает нисходящая фильтрация подземных вод (в противоположность, например, долинам крупных рек — Зап. Двины, Припяти, где происходит разгрузка глубинных вод и установлены подтоки снизу более минерализованных вод даже в зону пресных вод). Не потому ли в районе Минска при водоотборе пресных вод из протерозойских песчаников пока не проявляется большая активность процессов подтока соленых вод снизу?

Схема. Месторождения разведанных и утвержденных эксплуатационных запасов пресных подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь (1961—1995)





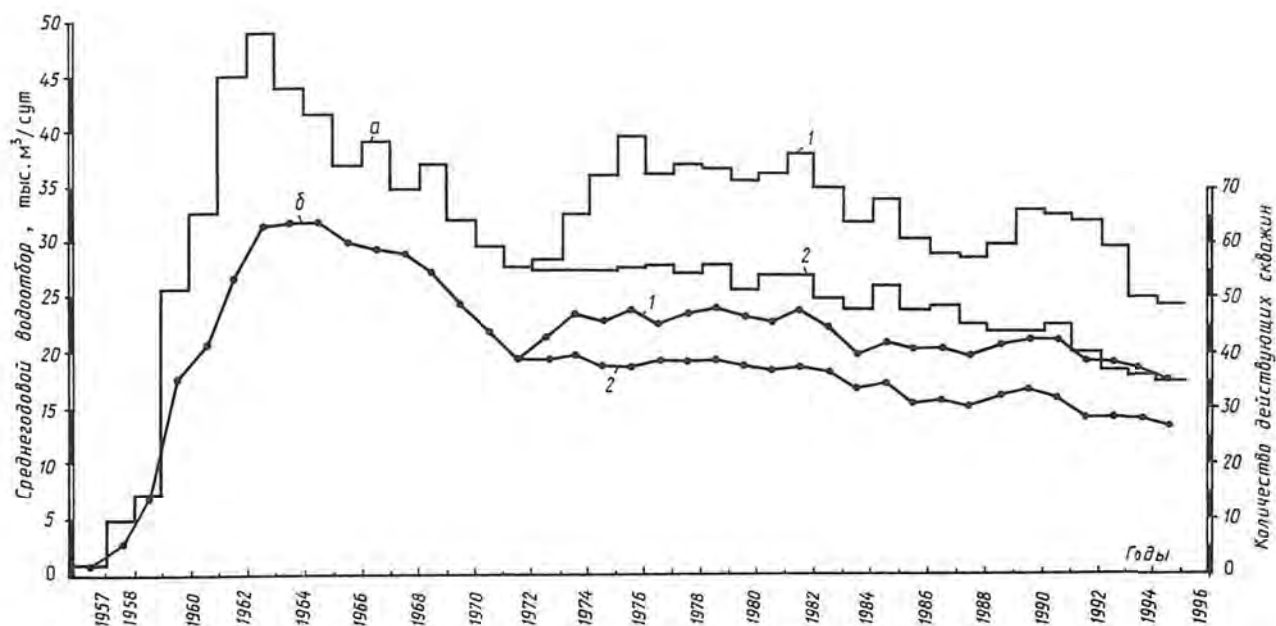


Рис. 7. Изменение водоотбора из верхнепротерозойского горизонта в Минске: *a* — водоотбор; *б* — количество действующих скважин (1 — всего; 2 — с 1973 г. без водозабора “Вицковщина”)

ней. Однако с 1951 г. надобность в них отпала, так как началось строительство водозабора “Зеленовка”, откуда получила воду центральная часть города. От эксплуатации скважин № 2, 3 отказались из-за низкого дебита, малого диаметра обсадных труб при глубоком понижении уровня воды. Однако скважины сохранялись на случай временной эксплуатации. Только в 1960 г., когда на скважине № 3 статический уровень был уже на глубине 33 м (по причинам, изложенным ниже), из-за неприемлемых технических условий эксплуатации скважины № 2, 3 были ликвидированы, просуществовав около 33 лет.

Иначе сложилась судьба скважины № 4. Из-за самоизлива по затрубному пространству она не могла служить для водоснабжения и в 1946—1948 гг. была использована Белгеолуправлением с целью углубления до кристаллического фундамента как Минская опорная скважина. Гранитные породы фундамента были встречены скважиной на глубине 557,58 м, а общая ее глубина составила 580,27 м. В процессе ее бурения были опробованы различные интервалы минеральных вод, послужившие основой для сооружения специальных скважин на минводы в Минске. Несколько лет скважина самоизливалась соленой минеральной водой, сбегавшей ручейком в Свислочь, и в конце концов была затампонирована.

Так закончился первый этап (1915—1950 гг.), период открытий и первоначальной эксплуатации Минского месторождения глубоких, высоконапорных пресных вод превосходного качества.

Эта предыстория, относящаяся к освоению верхнепротерозойского водоносного горизонта, тщательно нами изучена и представлена в подробном отчете Белорусской гидрогеологической экспедиции за 1963 г., когда полным ходом проводилось бурение десятков глубоких скважин, необходимо было оценить новые результаты и выработать разумную стратегию освоения дополнительного источника водоснабжения города (Р. А. Станкевич и др.).



## Глава 6

### История освоения и основные особенности эксплуатации месторождения

*Овладеть водой и пользоваться ею для своих потребностей — одна из главных задач человека в экономической области.*

А. И. Воейков  
(1842—1916)

Более 80 лет прошло с тех пор, как при изучении общего геологического строения западных регионов России в Минске на территории нынешнего парка им. Горького была пробурена самая глубокая в то время скважина, вскрывшая девонские доломиты и верхнепротерозойские песчаники. Именно тогда, в 1915 г., в центре города на правом берегу Свислочи из скважины № 1 с глубины 240—282 м ударил прозрачный фонтан, поднявшийся на 5,64 м над поверхностью земли [24]. Почти 10 лет эта вода из протерозойских песчаников с минерализацией 0,3 г/л самоизливом и насосом подавалась в городской водопровод, пока в 1926—1929 гг. недалеко от первой были пробурены скважины № 2, 3, 4 глубиной 289, 276, 292 м, давшие самоизливом (1,37—5,01 м) пресную воду. При откачке насосом они давали до 50—68 м<sup>3</sup>/ч воды с понижением ее уровня на 22—27 м [1].

При углублении скважины № 4 до 353,8 м уровень воды поднялся выше устья скважины на 1,3 м, а при насосной откачке с понижением 17,4 м ее дебит равнялся 85 м<sup>3</sup>/ч, причем минерализация воды достигла 6,1 г/л. В 1930 г. ее затампонировали до глубины 295 м и получили воду с минерализацией менее 0,3 г/л, пригодную для водопровода. В 1932 г. при работе остальных трех скважин, расположенных на расстоянии 500—600 м, статический уровень в скважине № 4 был на 0,6 м ниже поверхности земли.

Испытания и эксплуатация этих четырех скважин показали, что при небольших расстояниях они существенно влияют друг на друга, взаимно снижая уровень воды и уменьшая дебит, а в процессе их работы на участке эксплуатации происходит общее снижение пьезометрического уровня в виде общей депрессионной воронки.

Все четыре скважины эксплуатировались до июня 1941 г. с дебитом 35—50 м<sup>3</sup>/ч при понижении уровня воды до 50 м, причем производительность их систематически снижалась. Во время Великой Отечественной войны оборудование было уничтожено и скважины не эксплуатировались. Скважина № 1 была полностью выведена из строя и ликвидирована.

В 1945 г. после восстановления глубоких скважин из четырех удалось привести в рабочее состояние только две — № 2, 3. Во время ввода в эксплуатацию наблюдался самоизлив воды из них, что означало восстановление напорных уровней воды до первоначальных. Эти скважины проработали 5 лет с насосной подачей воды по 700—1600 м<sup>3</sup>/сут, причем с годами увеличение отбора воды было вызвано повышением потребности в

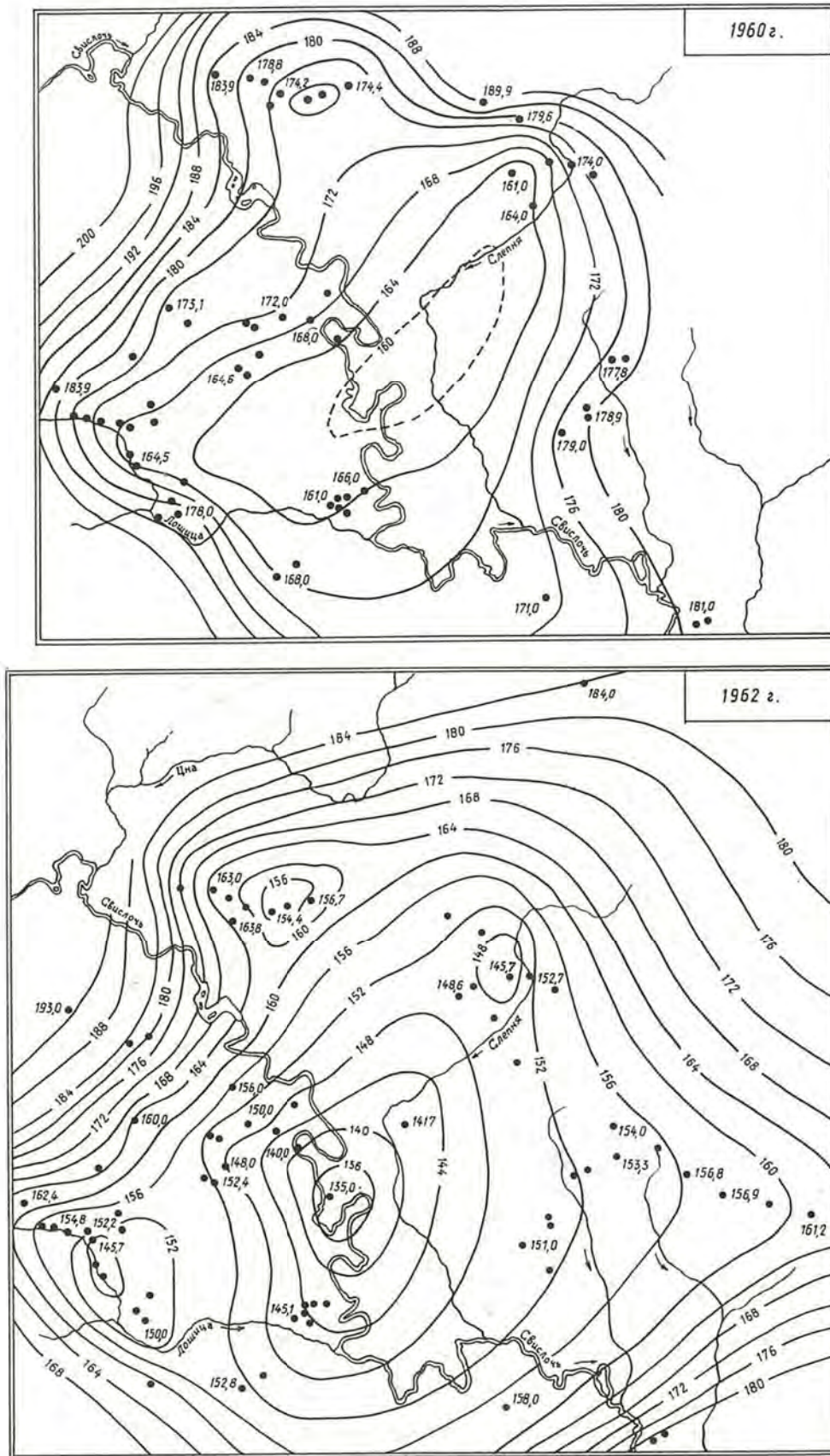


Рис. 9. Развитие пьезометрической депрессии. Карты гидроизопьез верхнепротерозойского водоносного горизонта на 1960 и 1962 гг.



В 1951—1957 гг., когда в Минске не эксплуатировалась ни одна скважина на верхнепротерозойский горизонт пресных вод, пьезометрические уровни на территории города восстановились до первоначальных абсолютных отметок (190—200 м).

Второй этап начался в 1957—1958 гг., когда в Минске развернулось массовое строительство водозаборных скважин глубиной 280—300 м. Предварительная оценка эксплуатационных запасов подземных вод в то время не проводилась. Первые эксплуатационные скважины на верхнепротерозойский горизонт на водозаборах “Зеленовка”, “Петровщина” и “Новинки” закладывались в 1957—1958 гг. по рекомендациям старейших гидрогеологов Академии наук БССР Г. В. Богомолва и М. Ф. Козлова,

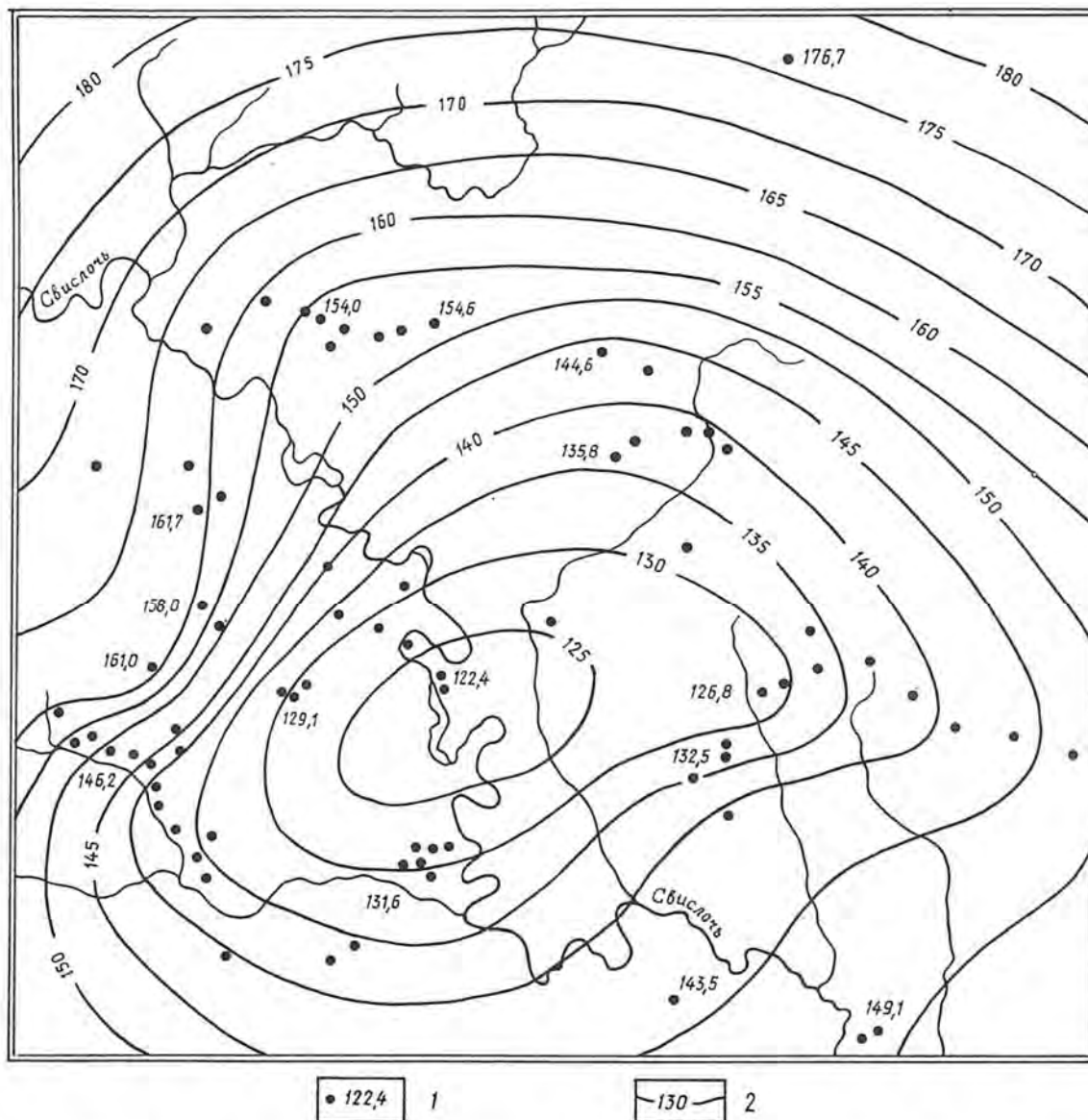


Рис. 10. Самая глубокая пьезометрическая воронка за период с 1958 по 1995 г. Карта гидроизопьез верхнепротерозойского водоносного горизонта на 01.01.65 г. (при водоотборе 44.0 тыс. м<sup>3</sup>/сут из 64 скважин): 1 — скважина и абсолютная отметка статического уровня, м; 2 — гидроизопьезы, проведенные через 5 м



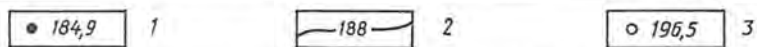
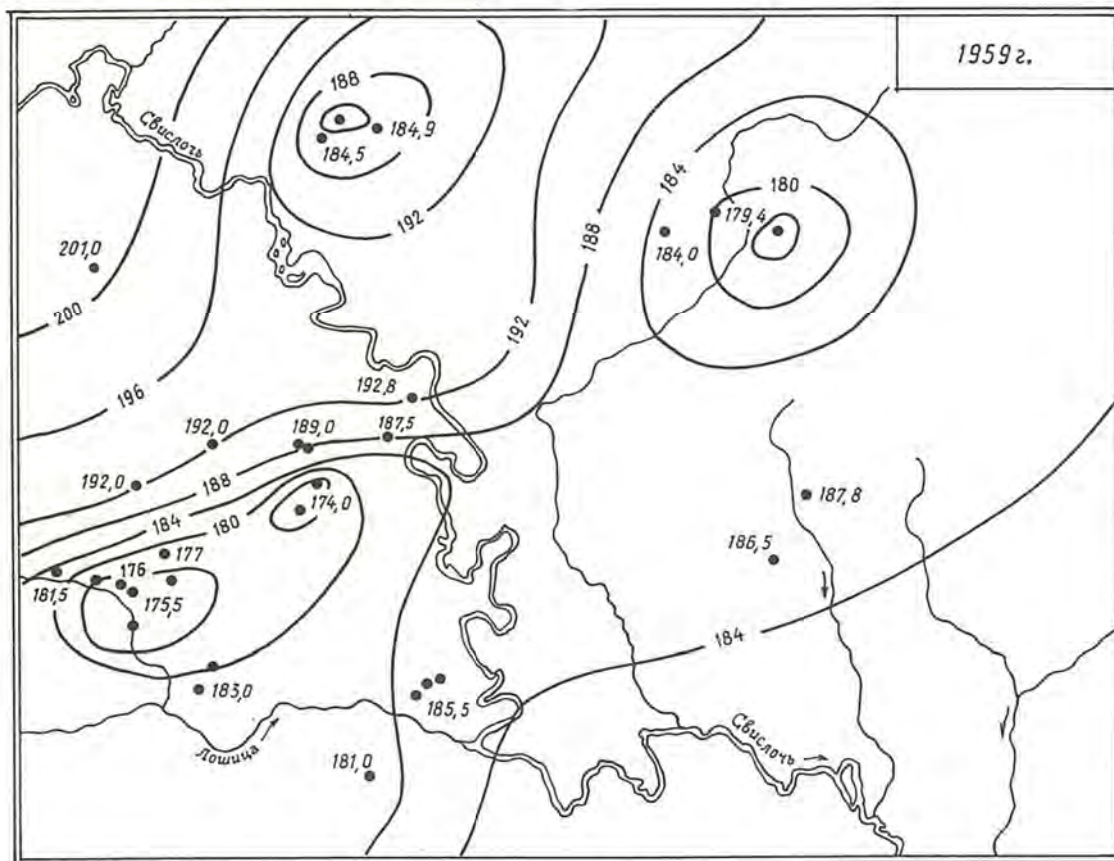
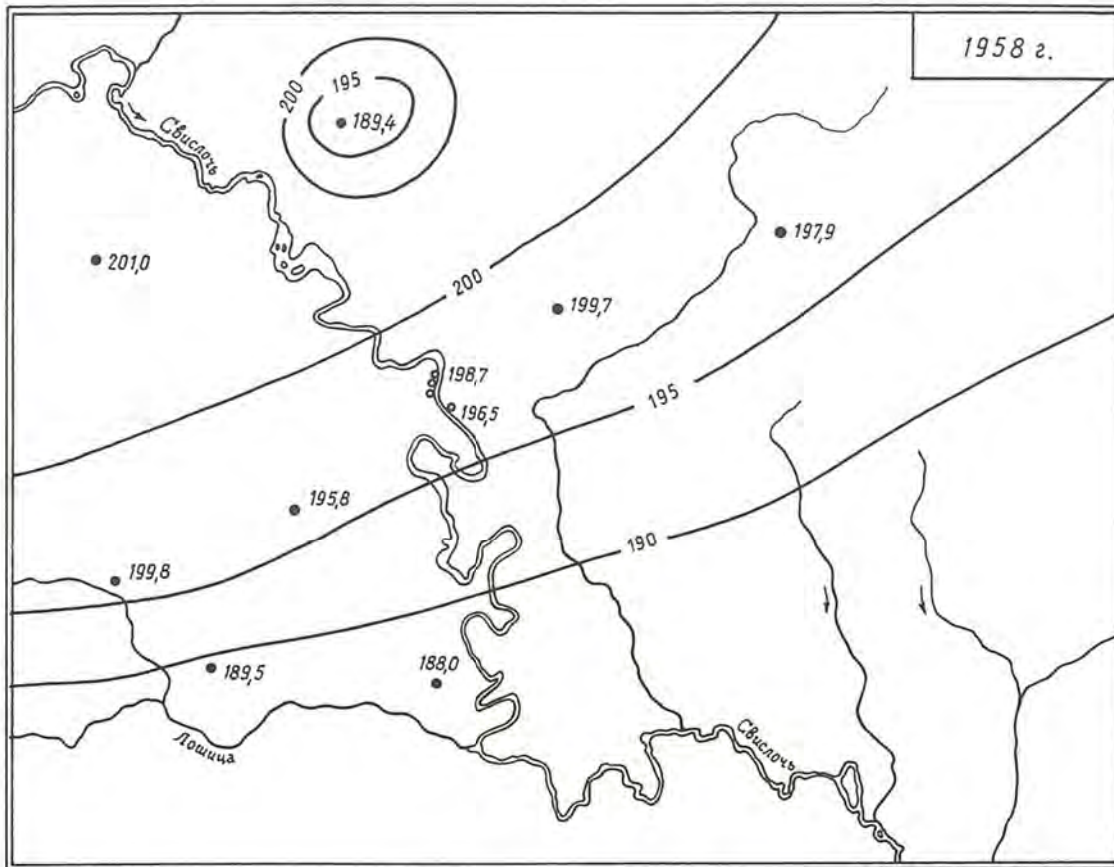


Рис. 8. Развитие пьезометрической депрессии. Карты гидроизопьез верхнепротерозойского водоносного горизонта на 1958 и 1959 гг.: 1 — эксплуатационная скважина и абсолютная отметка статического уровня; 2 — гидроизопьезы; 3 — скважины 1915—1930 гг.





предприятиях количество пробуренных на этот горизонт скважин достигло 77. Одновременно работало до 63 скважин в радиусе 6—7 км от центра города. Ежемесячно наращивался водоотбор — от 2 тыс. м<sup>3</sup>/сут в 1957 г. до 52 тыс. м<sup>3</sup>/сут в 1963 г., достигший пика в 1963 г. при среднегодовом значении 48,9 тыс. м<sup>3</sup>/сут (рис. 7).

Можно только удивляться ударным темпам, с которыми буровые бригады выполняли плановые задания, чтобы обеспечить город хорошей водой, несмотря на технические сложности бурения скважин глубиной до 300 м. В июле 1957 г. была пробурена первая скважина (№ 14а на водозаборе “Зеленовка”), которая чудом сохранилась в числе немногих действующих и в 1995 г. В 1958 г. было пробурено еще шесть скважин, в 1959 г.— 24, в 1960 г.— 24, в 1961 г.— 13, в 1962 г.— 6, в 1963 г.— только три скважины до момента запрета их бурения геологической службой. Следует сказать, что в дальнейшем, вплоть до 1995 г., на территории города и ближних водозаборах на верхнепротерозойские пресные воды в 1985—1990 гг. пробурено лишь пять скважин (водозабор “Дражня”—1б, “Боровляны”—0а, микрорайон “Уручье”—Г-48а, завод им. Дзержинского — 7, 8).

В те годы только зарождалось новое направление гидрогеологических исследований — оценка эксплуатационных запасов подземных вод по данным геологоразведочных работ с обязательной их экспертизой и утверждением Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР (ГКЗ СССР) — для крупных городов или соответствующими Территориальными комиссиями (ТКЗ) — для других населенных пунктов. Средства на проектирование, строительство и расширение водозаборов выделялись только при утвержденных запасах, чтобы не было бросовых затрат при неоправдавших себя источниках подземных вод. Под “эксплуатационными запасами” понимают количество воды, которое можно получить на ограниченном участке из определенного водоносного горизонта на расчетный период эксплуатации с помощью рациональных технических средств и при сохранении кондиционного качества воды. Первая такая работа в республике была выполнена для Минска по четвертичным водоносным горизонтам и участкам с утверждением эксплуатационных запасов в ГКЗ СССР в декабре 1962 г. (С. П. Гудак, Р. А. Станкевич и др.). Верхнепротерозойский горизонт не был охвачен, поскольку по запасам считался второстепенным.

В 1961 г. в Белорусской гидрогеологической экспедиции была создана группа гидрогеологов, которая организовала режимные наблюдения на водозаборах за уровнями и водоотбором подземных вод. Эти наблюдения в республике проводят и в настоящее время. Так начались систематические исследования верхнепротерозойского горизонта в Минске, результаты которых отражены в ежегодниках по изучению режима подземных вод в нарушенных эксплуатацией условиях (Р. А. Станкевич, А. П. Суховеева, Л. П. Зубок, П. М. Ксенда, Т. И. Ковалева, Т. А. Михалева, Л. В. Дорофеевко, А. А. Пучковская и др., 1963—1996).

К чему же привело бурное наступление на протерозойские песчаники? Находясь в состоянии гидравлической изоляции от вышележащего водообильного четвертичного комплекса, верхнепротерозойский горизонт быстро отреагировал на высокие темпы ввода эксплуатационных скважин чрезвычайно активным снижением напоров и уровней воды. Это хорошо видно на картах гидроизопьез 1958, 1959, 1960 и 1962 гг. (рис. 8, 9).



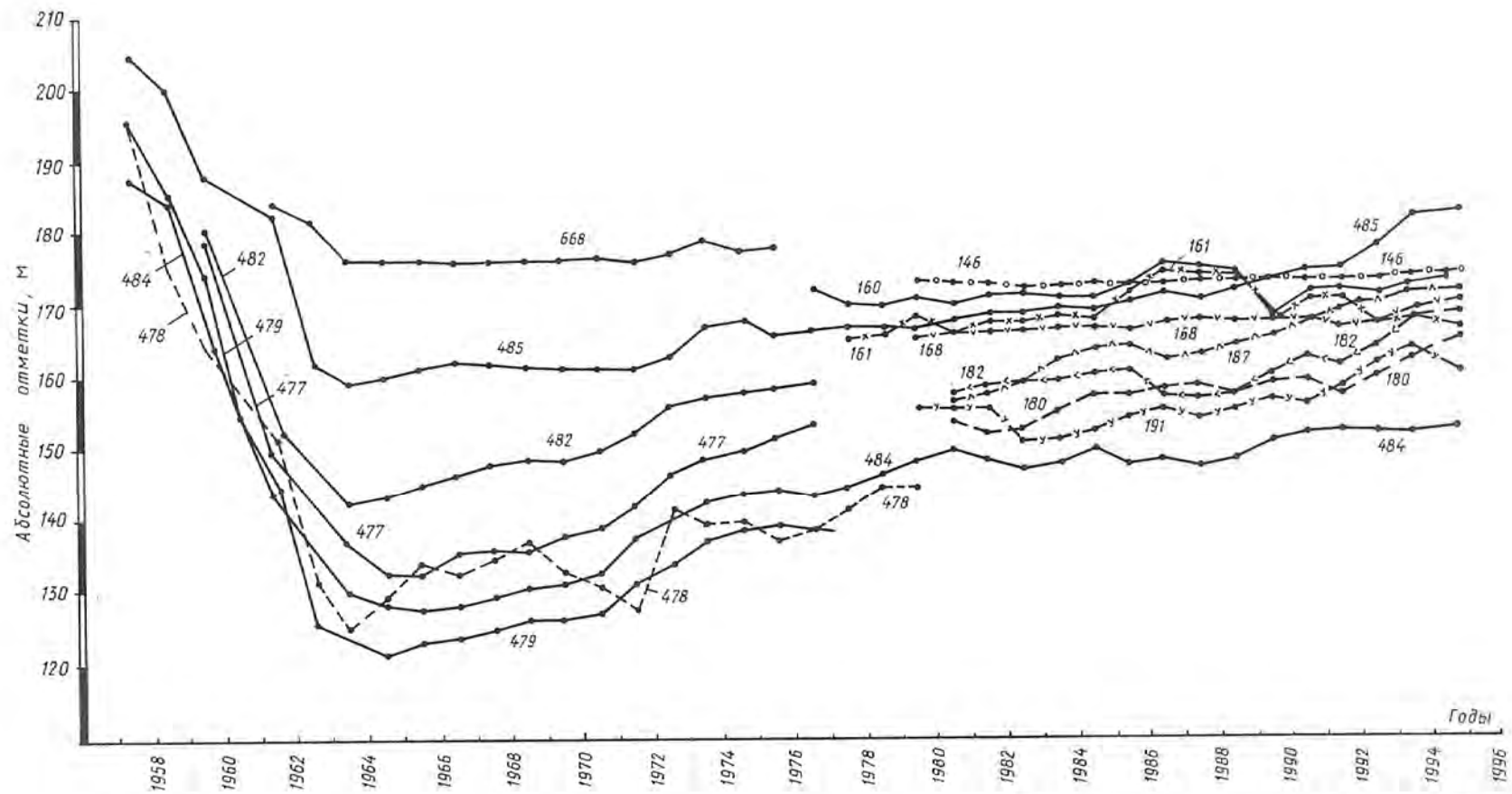


Рис. 12. Изменение уровней подземных вод верхнепротерозойского водоносного горизонта по наблюдательным скважинам в районе Минска (уровни — статические, среднегодовые; цифры — номера скважин)

В 1958 г. абсолютные отметки пьезометрической поверхности этого горизонта находились в пределах 190—200 м с уклоном с СЗ на ЮВ (в центре города — 195 м) при глубине уровня воды 4—35 м в зависимости от отметок земной поверхности. Это соответствовало напору от кровли протерозойских песчаников 200—220 м. В долине Свислочи напор превышал отметки поверхности земли, что обеспечивало ранее самоизлив скважин.

По мере вступления в работу новых скважин возникали местные депрессионные воронки, которые, сливаясь друг с другом, к 1963 г. создали крупную районную депрессию со снижением уровня в центральной части воронки до отметок 122—125 м. Общее снижение статического уровня от первоначального в центре депрессии за 7 лет эксплуатации составило 73 м. Падение уровней наблюдалось исключительно на всех водозаборах города: в северной части — до отметки 150 м, на северо-востоке — до 135, на востоке — до 140, в южной и юго-восточной частях — до 130 м. Глубина статических уровней достигла 65—85 м, а динамических — 90—105 м. Основным фактором, обуславливающим такой режим уровней, стала интенсивная эксплуатация.

Если в первый период (1958—1963 гг.) углубление и расширение пьезометрической депрессии верхнепротерозойского горизонта происходило при одновременном увеличении водоотбора, то в 1964—1965 гг. уровень несколько снизился при частичном сокращении водоотбора. Общая депрессия сниженных уровней охватила площадь диаметром около 30 км. Причем это несколько не отразилось на уровнях воды эксплуатируемого верхнего межморенного горизонта в четвертичной толще, хотя разница пониженных уровней достигла 45—70 м. Совершенно разная конфигурация гидроизопьез того и другого горизонта (четвертичные снижаются к рекам, а протерозойские — к центру воронки), различие в отметках уровней и химическом составе вод — факторы, которые убедительно свидетельствуют о чрезвычайно затрудненной гидравлической связи этих горизонтов и отсутствии на территории эксплуатации явно выраженных источников естественного питания верхнепротерозойского горизонта (Р. А. Станкевич и др., 1963—1965).

Снижение уровней воды усложнило эксплуатацию скважин. Конструкции многих из них первоначально не предусматривали такого резкого падения уровней и дополнительного заглубления насосов. Переход на меньший диаметр обсадных труб выше уровня воды не позволял опускать насосы глубже. В связи с этим скважины стали уменьшать дебит, а с 1963—1964 гг. некоторые из них начали выходить из строя (на тонкосуконном комбинате, заводе медпрепаратов, рессорном заводе, ТЭЦ-3, холодильнике № 2 и т. д.). Бурение новых скважин в Минске на верхнепротерозойский горизонт с 1963 г. было запрещено службой геологического надзора на основании соответствующего анализа [21].

Описанная ситуация может в любой момент повториться и сейчас при перегрузке по забору воды, так как гидрогеологические условия, в которых находится горизонт, не изменились. Природа существует по своим законам и не терпит непродуманного вмешательства. Опыт первых лет весьма поучителен, судя по негативным последствиям.

Самое низкое положение уровней воды за всю историю эксплуатации скважин (37 лет) было отмечено в 1964—1965 гг., когда среднегодовой водоотбор из верхнепротерозойского горизонта составлял соответственно 44,0—41,4 тыс. м<sup>3</sup>/сут при 64 одновременно действующих скважинах. Это отражено на карте гидроизопьез по состоянию на 01.01.1965 г. (рис. 10).

В дальнейшем в результате снижения дебита или полной остановки скважин из-за технической невозможности их эксплуатации общий водоотбор по четырем городским водозаборам и внутри города стал неуклонно сокращаться. В 1971 г. он уменьшился до 29,6 тыс. м<sup>3</sup>/сут (при 44 действующих одновременно скважинах), в 1972—1982 гг. составлял 27—28 тыс. м<sup>3</sup>/сут (38—39 скважин), в 1983—1987 гг.— 24—25 тыс. м<sup>3</sup>/сут (32—37 скважин), в 1988—1992 гг.— 20—23 тыс. м<sup>3</sup>/сут (29—34 скважины), в 1993—1995 гг.— 16—19 тыс. м<sup>3</sup>/сут при 28 скважинах (см. рис. 7).

С уменьшением водоотбора происходит подъем пьезометрических уровней верхнепротерозойского горизонта в пределах города. Вначале, с 1966 г., это выразилось в том, что уровни в пределах депрессионной воронки 1964—1965 гг. стабилизировались, а затем стали повышаться. На общем фоне подъема были отмечены локальные понижения уровней при увеличении водоотбора из отдельных скважин. Амплитуды годовых колебаний уровня воды составили 0,9—6,9 м, в центральной части депрессии отмечены частые колебания уровня (на 3—4 м). В 1969 г. при общем водоотборе 37,2 тыс. м<sup>3</sup>/сут из 55 скважин заметного изменения уровней за год не произошло, что свидетельствовало об обеспеченности такой величины водоотбора притоком по пласту (рис. 11). Эта величина была принята в 1970 г. за количество эксплуатационных запасов. В 1972—1977 гг. уровни в общем продолжали повышаться и в центральной части депрессионной воронки находились уже на абсолютных отметках 138—139 м, поднявшись от минимального положения на 14—17 м, а в периферийных частях — на 7—20 м.

Дальнейшее снижение общего водоотбора по городским скважинам и водозаборам вело к неуклонному подъему пьезометрических уровней: в центре депрессии — до абсолютных отметок 150—155 м, на участках “Новинки” — “Зеленовка” — до 164—168, “Дражня” — 163, “Петровщина” — 172, на южных окраинах города — 153 м (рис. 12). Совершенно преобразилась карта гидроизопьез: общая пьезометрическая воронка хотя и сохранилась, но глубина и размеры ее уменьшились (рис. 13). К 1995 г. в центре ее статические уровни были на 40—45 м глубже первоначальных, что связано с подъемом их от минимального положения на 30—35 м. Так динамично отреагировал верхнепротерозойский горизонт на сокращение отбора воды.

Картину изменения уровней воды в районе эксплуатации в течение многих лет можно оценивать благодаря своевременно созданной наблюдательной сети глубоких скважин. В первые годы для этой цели использовались эксплуатационные скважины, действующие или вышедшие из строя (овощесушильный завод — скв. 477, завод медпрепаратов — скв. 478,



ТЭЦ-2— скв. 479, рессорный завод — скв. 482, холодильник № 2 — скв. 2 и др.). К ним присоединились бывшие разведочные скважины: участок “Боровляны”— скв. 668, “Вицковщина”— с 1969 г. скв. 216, с 1978 г.— скв. 159, 160, 161. Для оценки перспектив эксплуатации верхнепротерозойского горизонта как источника воды с высокими гигиеническими свойствами в 1980—1981 гг. Белорусской гидрогеологической экспедицией были пробурены и оборудованы для стационарных наблюдений специальные скважины на участках действующих и строящихся водозаборов: “Новинки”— скв. 191, “Петровщина”— скв. 186, 187, “Зеленовка”— скв. 182, “Дражня”— скв. 180, “Боровляны”— скв. 170 (оказалась с браком), “Острова”— скв. 168, “Водопой”— скв. 146, “Зеленый Бор”— скв. 138, “Бор”— скв. 100. Для большинства из них составлены многолетние графики изменения уровней за весь период наблюдений (см. рис. 12). Они дают четкое представление о колебаниях уровней, напорах, запасах и возможностях эксплуатации горизонта. Отдельные дублирующие скважины на графике не показаны. Для двух наиболее удаленных от пьезометрической воронки скважин приведем без графиков многолетние среднегодовые уровни воды в абсолютных отметках: скв. 138 за 1981—1995 гг.— в пределах 167,95—171,37, чаще 168,40—168,60 м, скв. 100 за 1983—1995 гг.— 163,89—164,44 м, амплитуды колебаний чаще 0,2—0,6 м, что характеризует естественный режим уровней.

В 1968—1970 гг. Белорусская гидрогеологическая экспедиция продолжала плановые геологоразведочные работы по дальнейшему обеспечению столицы республики источниками хозяйственно-питьевой воды. На участке “Вицковщина” в 15 км юго-западнее Минска были проведены гидрогеологические исследования верхнего днепровско-сожского водоносного горизонта в четвертичных отложениях и впервые — глубокозалегающего верхнепротерозойского горизонта. Одновременно по опыту эксплуатации была проведена оценка эксплуатационных запасов и для действующих четырех водозаборов вместе с одиночными и ведомственными скважинами по городу, чтобы водоотбор из верхнепротерозойского горизонта привести в соответствие с возможными запасами (М. П. Зюзькевич и др., 1970). В 1970 г. ГКЗ СССР утверждены запасы этого горизонта: по водозабору “Вицковщина”— 21,6 тыс. м<sup>3</sup>/сут, по четырем действующим водозаборах и городским скважинам — 37,2 тыс. м<sup>3</sup>/сут (всего 58,8 тыс. м<sup>3</sup>/сут).

Однако, как мы уже видели, из-за конструкций скважин и отсутствия отечественных насосов малого диаметра с большим напором (импортные были недоступны) общий водоотбор с годами снижался по сравнению с максимально достигнутым в 1963 г. и составлял по городским водозаборах 72—45% от утвержденных запасов.

После завершения строительных работ в 1973 г. вступил в строй новый водозабор “Вицковщина”, где кроме четвертичных друг за другом заработали 10 верхнепротерозойских скважин. Они устойчиво эксплуатируются уже более 20 лет, подавая в сеть до 10—11 тыс. м<sup>3</sup>/сут воды высокого качества.

Особенность положения этого водозабора состоит в том, что он находится, во-первых, по другую сторону Черноморско-Балтийского водораздела и, во-вторых, на значительном удалении от других водозаборов. Водораздельная часть территории является областью питания эксплуатируемого горизонта и своеобразной гидравлической границей, через которую не распространяется пьезометрическая депрессия водозаборов. Поэтому сюда не доходит пьезометрическая депрессия четырех первых водозаборов, а данный, в свою очередь, не распространяет на них свое влияние.

Посмотрев на гипсометрическую карту с гидроизопьезами (см. рис. 2), можно отметить, что в еще более благоприятном положении находится последний разведанный участок “Вязынка”, который отделен от всех пяти водозаборов тем же извилистым водоразделом, местами даже многократно. Кроме того, между ними простирается Заславское водохранилище, которое, возможно, играет какую-то барьерную роль.

На основании сказанного можно прийти к выводу о том, что благодаря системе водоразделов Минской возвышенности, которая является основной областью питания верхнепротерозойского горизонта, расположенные на разных ее склонах водозаборы не оказывают влияния друг на друга по законам подземной гидравлики. Поэтому все прежние депрессионные воронки многолетнего заложения и происхождения не касаются водозабора “Вицковщина” и участка “Вязынка”, как и последние не влияют на городские водозаборы. При прогнозных гидрогеологических расчетах не нужно учитывать их взаимодействие между собой и городом, а для Минска следует рассчитывать только внутреннее взаимодействие городских водозаборов.

Учитывая изложенное, мы на графике водоотбора с момента вступления в работу водозабора “Вицковщина” выделили его, чтобы более четко показать общую картину по городским водозаборам, создающим общую районную депрессию (см. рис. 7). Таким же образом разделено количество скважин, действующих с 1973 г., поскольку на новом водозаборе оно осталось прежним, а на старых городских с годами уменьшалось.

К 1995 г. из 83 сооруженных в городе артезианских скважин глубиной 280—300 м действующих осталось 30, вышло из строя 53 (табл. 6). Из последних несколько скважин было использовано для наблюдений за уровнем воды, но в основном, за редким исключением, они были ликвидированы путем тампонажа по требованию работников санэпидемслужбы, которые, возможно, не принимали во внимание целительных свойств воды этих скважин и экономику. Между тем стоимость сооружения в Минске одной скважины глубиной 300 м обходится в 480 млн руб., с обустройством — около 530 млн руб. (в ценах конца 1995 г.); 53 скважины — это около 28 млрд руб. убытков. Такова цена той “драматической” ситуации, которая сложилась из-за того, что вначале не были полностью учтены гидрогеологические условия района.



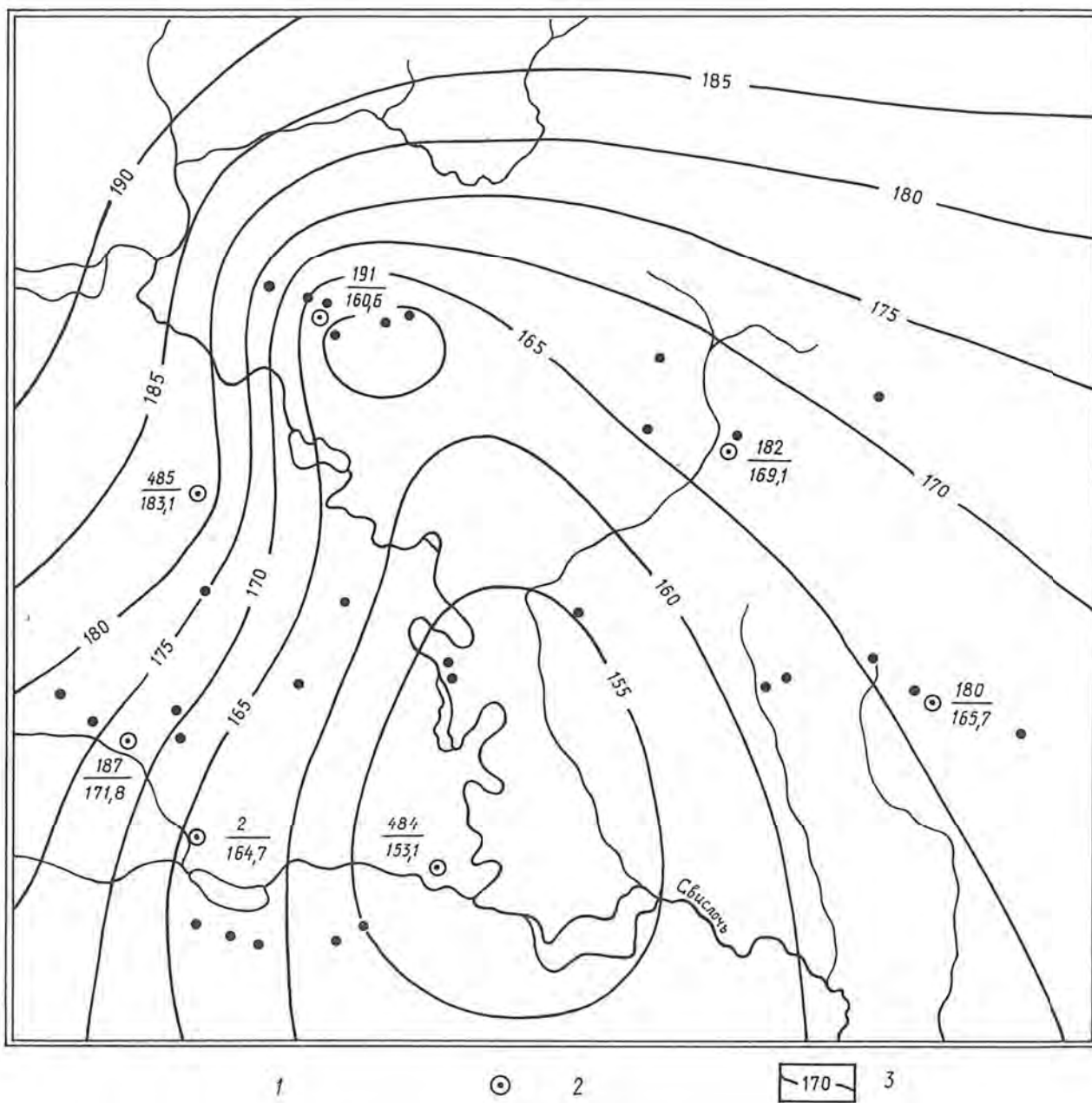


Рис. 13. Карта гидроизопьез верхнепротерозойского водоносного горизонта на декабрь 1995 г. при сниженном водоотборе (17 тыс. м<sup>3</sup>/сут из 29 скважин без водозабора "Вицковщина"); 1 — эксплуатационная скважина; 2 — наблюдательная скважина (в числителе — номер, в знаменателе — абс. отметка статического уровня на 1 дек. 1995 г., м); 3 — гидроизопьезы, проведенные через 5 м



Всего с 1957 г. за первые 10 лет эксплуатации (по 1966 г.) из горизонта откачали 107 млн м<sup>3</sup> воды, что равно объему Заславского водохранилища, за 20 лет (по 1976 г.) — 230, за 30 лет (по 1986 г.) — 359, за 37 лет (по 1994 г.) — 450 млн м<sup>3</sup> [22].

Для обеспечения постоянно растущих потребностей Минска в хозяйственно-питьевой воде Белорусская гидрогеологическая экспедиция в 1987—1991 гг. провела геологоразведочные работы на участке “Вязынка” в 20 км к северу от города. Были выполнены детальные гидрогеологические исследования верхнего березинско-днепровского и нижнего валдайского терригенного (верхнепротерозойского) водоносных комплексов, а также действующих водозаборов (А. Н. Панасенко и др., 1991). По результатам этих работ в 1992 г. ГКЗ утверждены эксплуатационные запасы подземных вод на этом участке по обоим водоносным комплексам примерно в равном количестве, в том числе по верхнепротерозойскому — 39,9 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Кроме того, по опыту эксплуатации переутверждены в сторону увеличения запасы на водозаборе “Вицковщина” по этому комплексу до 40 тыс. м<sup>3</sup>/сут. По другим четырем водозаборами и одиночным скважинам прежние запасы оставлены без изменений (37, 2 тыс. м<sup>3</sup>/сут).

Таким образом, в целом общие утвержденные эксплуатационные запасы по рассматриваемому горизонту верхнепротерозойских песчаников достигли 117,1 тыс. м<sup>3</sup>/сут, что открывает новые перспективы для его освоения и использования дополнительных подземных источников. Наряду с увеличением водоотбора из четвертичных горизонтов это позволит частично заменить речную воду артезианской в системе водоснабжения города.

Рассмотренные выше гидрогеологические условия месторождения, режимные наблюдения и многолетний опыт эксплуатации свидетельствуют о том, что в зоне первых четырех водозаборов и скважин на территории Минска эксплуатационные запасы подземных вод верхнепротерозойского горизонта формируются за счет упругих запасов пласта и бокового притока из области питания на Минской возвышенности, в условиях практической изоляции от вышележащего водообильного четвертичного водоносного комплекса. Активное взаимодействие скважин с образованием депрессионных воронок, быстрое снижение напоров в пласте при отсутствии перетекания из четвертичных горизонтов и рек на территории эксплуатации, различные гидрохимические типы воды нижних и верхних горизонтов — все эти особенности проявились на практике. Результаты многолетних гидрогеологических исследований убедительно раскрывают основные черты структуры баланса эксплуатационных запасов и могут служить основой для гидрогеологических прогнозов.

Лучшими условиями для восполнения запасов отличаются более удаленные от города водозабор “Вицковщина” и разведанный участок “Вязынка”, которые находятся по другую сторону Черноморско-Балтийского водораздела и более приближены к области питания верхнепротерозойского водоносного горизонта.

**Т а б л и ц а 6 . Пробуренные и действующие эксплуатационные скважины на верхнепротерозойский горизонт в Минске**

Местоположение	Пробурено эксплуатационных скважин	Вышло из строя	Осталось действующих на 1995 г.	
			количество	номер
<i>Скважины городского водопровода</i>				
Водозабор:				
“Новинки”	9	3	6	3а, 4а, 8а, 11а, 12а, 13а
“Петровщина”	9	7	2	4а, 8а
“Зеленовка”	7	4	3	6а, 14а, 19а
“Дражня”	10	5	5	0а, 1б, 6а, 9а, 15а
“Боровляны”	1	—	1	0а
Одиночные скважины Минскводоканала в Минске	13	10	3	Г-3а, Г-8а, Г-48а
Итого:	49	29	20	
<i>Ведомственные скважины</i>				
Камвольный комбинат	5	5	0	—
Мясокомбинат	3	3	0	—
Тонкосуконный комбинат	2	2	0	—
Завод им. Дзержинского (ПО “Интеграл”)	3	—	3	1, 7, 8
Завод медпрепаратов	2	1	1	5
ТЭЦ-2	2	—	2	4, 5
ТЭЦ-3	1	1	0	—
ПО стройматериалов	2	1	1	3
Бел. железная дорога	4	2	2	2а, 5
Завод шестерен	1	0	1	3
Холодильник №2	1	1	0	—
Фабрика химчистки “Беларусь”	1	1	0	—
Рессорный завод	1	1	0	—
Автозавод	1	1	0	—
Овощесушильный завод	1	1	0	—
Домостроительный комбинат №1	1	1	0	—
Завод плодово-ягодных вин	1	1	0	—
Шабаны, МСА	2	2	0	—
Итого:	34	24	10	
Всего по городу:	83	53	30	
Водозабор “Вицковщина” горводопровода	10	—	10	1а, 6а, 10а, 13а, 15а, 16а, 18а, 21а, 23а, 26а
Всего:	93	53	40	

Ориентировочную оценку структуры баланса запасов подземных вод можно выполнить аналитически, выделив долю упругих запасов в общем водоотборе. Для этого используем зависимости

$$V = \mu^* FS, \quad Q = V/T.$$

Здесь  $V$  — объем упругих запасов,  $\text{м}^3$ ;  $\mu^*$  — коэффициент упругой водоотдачи (принимается усредненно равным 0,0003);  $F$  — площадь водоносного горизонта в пределах пьезометрической воронки ( $F = \pi R^2$ , где  $R$  — радиус депрессии, м);  $S$  — средневзвешенное снижение напора, м;  $Q$  — упругие запасы,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  $T$  — продолжительность работы водозаборов, сут.

Для территории затрудненной вертикальной гидравлической взаимосвязи горизонтов, где находятся водозаборы “Новинки”, “Петровщина”, “Зеленовка”, “Дражня” и городские скважины, расчет упругих запасов выполнен на период увеличения водоотбора и снижения уровней (1958—1963 гг). Остальная часть фактического суммарного водоотбора компенсируется боковым притоком по пласту из области питания. В последующие периоды в связи с уменьшением водоотбора уровень воды в скважинах стал повышаться, напор от кровли соответственно увеличился, а в структуре запасов в этих условиях остался только приток по пласту. Результаты расчетов приведены в табл. 7.

Следует отметить, что при последней оценке эксплуатационных запасов подземных вод по Минску в 1991 г. (А. Н. Панасенко и др.) для терри-

Таблица 7. Структура запасов водозаборов Минска в условиях затрудненной взаимосвязи верхнепротерозойского горизонта с вышележащими четвертичными горизонтами

Год	Снижение напора $S$ (-снижение, +подъем), м	Радиус депрессии $R$ , км	Время от начала эксплуатации $T$ , сут	Упругие запасы,		Фактический суммарный среднегодовой водоотбор, $\text{м}^3/\text{сут}$
				$Q, \text{м}^3/\text{сут}$	%	
1959	-7	6	730	$\frac{325}{2,7}$	11875	12200
1960	-17	10	1095	$\frac{1460}{5,7}$	24340	25800
1962	-27	13	1825	$\frac{2350}{5,2}$	43050	45400
1963	-35	15	2190	$\frac{3390}{6,9}$	45510	48900
1969	-30 (+5)	—	—	—	37200	37200
1972	-25 (+10)	—	—	—	27600	27600
1984	-20 (+15)	—	—	—	24100	24100
1994	-15 (+20)	—	—	—	18200	18200



## Заключение

Каждый день мы используем воду, удовлетворяя свои бытовые потребности. Повседневная жизнь без чистой воды немыслима. Всем нужно, чтобы ее было в достатке, особенно хорошей питьевой воды, не только для питья и приготовления пищи, но и для гигиены тела, чистоты жилища. Необходим источник, из которого ее можно добывать и современными техническими средствами доставлять потребителю. Для большого города это не так просто! Об одном из таких подземных источников столицы Беларуси мы рассказали.

Город живет и развивается по своим законам. Проходят десятилетия, сменяются общественные формации и целые поколения людей. А земные недра города всегда были и остаются неизменными — на все времена! Вода всегда была нужна, в первую очередь для жизни людей и любого производства. Подземный источник нам не изменит, если мы будем к нему разумно относиться, проявлять заботу о его сохранении и помнить, что вода — единственное подземное богатство, которое восполняется, следуя своим законам подземной гидравлики, балансируя приход и расход. Пока существует город, а он будет жить вечно, ему нужны вечные источники воды.

Несмотря на второе место по разведанным и утвержденным эксплуатационным запасам подземных вод, описанное месторождение верхнепротерозойского водоносного горизонта является надежным источником питьевой воды высокого качества. Она обладает безукоризненными физическими свойствами: обычно бесцветна, прозрачна, не изменяется при отстаивании, имеет приятный освежающий вкус. Такие свойства она приобретает, фильтруясь сквозь горные породы на протяжении многих километров и обогащаясь в оптимальном количестве минеральными макро- и микрокомпонентами. В бактериологическом отношении она вполне здоровая, защищена более чем 200-метровой толщей вышележащих пород.

Кроме того, пресная вода Минского месторождения верхнепротерозойского горизонта обладает особыми целительными свойствами благодаря природному обогащению фтором. В природных водах республики не хватает этого биологически важного микроэлемента, поэтому повсеместно распространен эндемический кариес зубов. Данное месторождение является едва ли не единственным, можно сказать, уникальным по химическому составу воды и содержанию в ней фтора. При этом в пределах месторождения отмечается вполне определенная гидрохимическая зональность по количественному содержанию фтора, что очень важно для практических целей. Теперь по общему гидрохимическому облику, или типу, воды можно предполагать степень обогащения ее фтором и прогнозировать его содержание в воде без лабораторно-аналитического определения,

поскольку в повышенных количествах он приурочен, как правило, к гидрокарбонатно-натриевым водам.

Раскрытие полезных гигиенических свойств воды верхнепротерозойского источника в связи с обогащением ее фтором приводит к выводу о необходимости освоения этих природных богатств как одного из видов развития экономики. При этом следует учитывать, что простое разбавление городской водопроводной воды добавкой воды из глубокого горизонта, обогащенной фтором, практически не даст положительных результатов по двум причинам: мала пропорция этой добавки, а главное — смешивание с гидрокарбонатно-кальциевой водой четвертичных горизонтов или поверхностных водотоков приведет к связыванию фтора с кальцием в труднорастворимое соединение  $\text{CaF}_2$ , которое выпадает в осадок. Поэтому целесообразно использовать верхнепротерозойскую воду без смешивания с какой-либо другой, чтобы питьевая вода сохраняла естественную концентрацию фтора в пределах гигиенической нормы (1,0—1,5 мг/л). Потребление ее, по оценке специалистов, может существенно улучшить состояние зубов, костей и других систем организма. Чтобы предоставить возможность пользоваться этой целебной водой не только в Минске, но и в удаленных от него местах, весьма полезно организовать ее розлив и доставку населению.

Интенсивное использование этого водоносного горизонта в Минске, связанное с массовым сооружением глубоких скважин (280—300 м), началось в 1957—1958 гг. На условия его эксплуатации в Минске существенно влияет то, что в связи с погружением верхнепротерозойских отложений на значительную глубину под водоупорные породы затрудняется гидравлическая связь протерозойских и четвертичных вод, а следовательно, замедляется процесс восполнения подземных вод. Восполнение используемых запасов, главным образом за счет одностороннего притока со стороны области питания, вначале не обеспечивало здесь слишком крупного водоотбора. В результате наблюдались быстрое снижение уровней воды в эксплуатационных скважинах, уменьшение дебитов и развитие районной депрессии. При снижении общего водоотбора уровни воды стали восстанавливаться, а депрессия сокращалась.

Почему мы привели несколько карт гидроизопъез на разные годы при различном водоотборе? Профессионал увидит в них глубокий смысл, заключающийся в практической возможности регулирования режима уровней, добычи воды и управления работой водозаборных скважин (подбор насосов, дебитов, понижений уровня воды с учетом затрат на электроэнергию), полного освоения утвержденных эксплуатационных запасов подземных вод. По картам можно проследить “дыхание” водоносного горизонта — спады и подъемы уровня воды в скважинах в зависимости от внешнего воздействия.

К 1995 г. величина напора выше кровли верхнепротерозойских песчанников по городским водозаборам составляла 165—180 м, что свидетельствует о значительных резервах воды и неиспользованных возможностях ее добычи. Только из-за ограниченных диаметров скважин старых конструкций или отсутствия соответствующих насосов возникли сложности с продолжением их эксплуатации. Для условий глубоких уровней в настоящее время имеется достаточно большой выбор погружных электронасосов различных фирм с большим напором и дебитом при малом диаметре корпуса,



что позволяет опускать их на необходимую глубину. Целесообразно увеличить добычу этих вод, прежде всего для питьевого водоснабжения, чтобы объем водоотбора равнялся утвержденным эксплуатационным запасам. Надежность и долговечность артезианских водозаборов будут зависеть от правильного выбора режима их эксплуатации, обеспечивающего расчетные значения уровней воды и дебитов скважин.

Имея прекрасные подземные источники, нельзя уподобиться некоторым южноазиатским территориям бывшего СССР, где отмечались высокий уровень заболеваемости из-за некачественной воды и самый высокий уровень детской смертности [14].

Подземные воды под многомиллионным городом — это важнейшие материальные ресурсы, наличие которых определили и оценили специалисты. Городские власти должны в полной мере учитывать проблемы снабжения Минска чистой водой. Нельзя оставлять эти заботы “на потом”, уподобляясь человеку, который задумывается о своем здоровье, когда его уже нет. Не будем забывать об экологических проблемах нашего быта. Оценивать район своего местожительства нужно не только по уровню и комфорту застройки, но и по качеству водопроводной воды. Как можно не оценить всю прелесть бьющей из крана прозрачной, чистой, вкусной воды, возвращаясь домой после напряженного трудового дня, длительной поездки или многокилометровой любительской пробежки по ближайшим зеленым окрестностям!

Мы рассказали только об одном из многочисленных месторождений пресных подземных вод, разведанных и используемых для водоснабжения нашей столицы. Разнообразных по своей природе типов месторождений подземных вод на территории Беларуси очень много (см. схему на с. 44—45). Сочетая опыт профессионалов-гидрогеологов и других специалистов, работающих в сфере науки и производства, можно было бы продолжить выпуск серии книг, посвященных природе подземных источников Беларуси. Это откроет новую страницу знаний о богатстве земных недр нашей страны, источниках чистой воды, чем может гордиться Республика Беларусь в отличие от многих стран мира.



тории затрудненной взаимосвязи получено значение вертикальной проводимости слабопроницаемых верхнепротерозойских отложений в пределах  $10^{-7}$ — $5 \cdot 10^{-7}$  1/сут, а модули перетекания на валдайский комплекс — всего 0,04—0,2 л/с км<sup>2</sup>. Это весьма низкое значение, практически ничтожное для восполнения водоотбора, хотя уровни воды четвертичных и верхнепротерозойского горизонтов значительно различаются (до 40 м и более).

По результатам этих исследований на водозаборе “Вицковщина” в связи с отсутствием в южной части участка слабопроницаемых отложений верхнего протерозоя значения вертикальной проводимости порядка  $10^{-5}$  1/сут, а расчетные значения эксплуатационных модулей перетока на валдайский комплекс достигают 2,5 л/с км<sup>2</sup>. Поэтому водоотбор из верхнепротерозойского горизонта обеспечивается здесь на 61% притоком по пласту от границ (24,3 тыс. м<sup>3</sup>/сут) и на 39% перетеканием сверху (15,7 тыс. м<sup>3</sup>/сут).

По этим же данным район проектируемого водозабора “Вязынка” находится практически в естественных условиях, модули перетока на водораздельной территории равны 2,5 л/с км<sup>2</sup> при вертикальной проводимости  $4 \cdot 10^{-5}$  1/сут, на линии намечаемых водозаборных скважин модули перетока составляют 0,1—1,0 л/с км<sup>2</sup> при вертикальной проводимости  $10^{-6}$  1/сут. Здесь структура баланса водоотбора на 80% формируется за счет перетекания сверху (29,0 тыс. м<sup>3</sup>/сут) и на 20% за счет притока от границ (6,0 тыс. м<sup>3</sup>/сут).

Как видно из приведенных данных, в структуре запасов подземных вод на участках интенсивной эксплуатации в районе Минска определяющая роль принадлежит степени гидравлической взаимосвязи горизонтов, которая зависит от природных условий.

Подземные воды верхнепротерозойского водоносного горизонта Минского месторождения по гигиеническим свойствам и экологической защищенности соответствуют высшим мировым стандартам пресных питьевых вод. Это месторождение — надежный источник высококачественной воды, добыть которую можно рациональными способами каптажа и использовать на благо людей.

## Приложение

### **Питьевая вода в бутылках, поставляемая из разных стран (аналитический обзор)**

Питьевая вода, расфасованная в бутылки или пакеты, приобрела значение товарного продукта, который в изобилии появился в торговой сети. По назначению и применению можно выделить три вида этой продукции. Как и в западноевропейских странах, в ряде городов Беларуси появились фирмы по розливу в емкости безалкогольных напитков, содержащих фруктовые экстракты, сахар и прочие ингредиенты, зачастую газированные. Еще раньше местные производители в разных районах страны начали выпускать бутилированные минеральные воды различного состава и назначения. О постоянно растущем объеме и разнообразии такой продукции свидетельствуют витрины магазинов. Третья группа расфасованных вод относится к природным, преимущественно пресным, с общей минерализацией до 1 г/л, без каких-либо добавок ароматизирующих и красящих компонентов, которые не являются лечебными, а предназначены для приготовления пищи или просто питья.

Безалкогольные напитки с предварительной переработкой природной воды и естественные минеральные воды лечебного назначения используются покупателем в меру потребности и необходимости с ориентацией в основном на этикетки. Не будем их рассматривать, поскольку нашей задачей в данном случае является знакомство с третьей группой — пресными питьевыми водами из природных источников.

В прилагаемой таблице приведено 87 наименований вод, поступивших в продажу в 1995—1996 гг. Они относятся к пресным водам с общей минерализацией до 1,0 г/л и слабосоленатым (в основном до 1,5 г/л), бесцветны и прозрачны, используются для питьевых целей.

Из таблицы видно, что в Беларуси в продаже имеются питьевые пресные воды из 19 стран (Австрия, Бельгия, Болгария, Великобритания, Венгрия, Германия, Дания, Израиль, Италия, Нидерланды, Финляндия, Франция, Чехия, Швеция, Россия, Беларусь, Латвия, Литва, Эстония). Объемы упаковок — от 0,25 до 5,0 л, преобладают пластмассовые и стеклянные бутылки. В зависимости от названия воды (фирмы) и объема упаковки цены разные, но, приведенные к цене за 1 л, они колеблются для импортных вод от 0,7 до 2,9 дол. США, для белорусских — около 0,3 дол. Наименование воды, на которое обычно обращает внимание покупатель, зафиксировано на этикетках. Для упрощения поиска воды в таблице наименования даны в алфавитном порядке.



На этикетках импортных вод известных зарубежных фирм, как правило, приведен химический состав воды в виде основных анионов и катионов, иногда содержание микрокомпонентов и дата химического анализа. Это позволило нам рассчитать процентное содержание (% мг-экв/л) ионов, общую минерализацию и вывести формулы солевого состава воды, что и определяет ее гидрохимический тип. Такие формулы наиболее удобны для массового сопоставления образцов различных вод, поскольку в наглядной форме показывают их главные различия — минерализацию и тип воды.

Другие поставщики из ряда европейских стран и Беларуси не приводят на этикетках своей продукции конкретного химического состава воды. Бутылки и пакеты пестрят надписями “свежая”, “экологически чистая”, “артезианская” и т. п., но этому нет никаких доказательств, что не позволяет объективно оценить качество воды, ее достоинства по сравнению с другими водами. Это не соответствует международной практике и подрывает доверие потребителя.

Следует отметить, что на этикетках отсутствуют сведения о микробиологических показателях и органолептических свойствах, которые являются неотъемлемой частью гигиенических требований к питьевой воде и первичным сигналом качества. По-видимому, поставщик имеет сертификат на эпидемиологическую безопасность бутилированной воды и стабильность ее качества во времени.

Рассмотрев обширные сведения о 87 видах расфасованной воды из 19 стран, прежде всего укажем, что цифровые данные в таблице приведены для тех вод и компонентов, которые отражены на этикетках, и отсутствуют там, где поставщик их не приводит. Поэтому формулы солевого состава даны для 69 вод, а для 18 они отсутствуют.

Анализ химического состава 69 наименований питьевой воды показывает, что 61 из них по преобладающему анионному составу относится к гидрокарбонатным, 4 — к сульфатным, 4 — к хлоридным, а по катионному составу 47 — к кальциевым, 17 — к натриевым, 5 — к магниевым. Подавляющее большинство бутилированных вод — это обыкновенные пресные гидрокарбонатно-кальциево-магниевые или гидрокарбонатно-натриево-кальциевые воды, среди которых выделяются очень мягкие с минерализацией 0,02—0,2 г/л, мягкие (0,2—0,5), жесткие (0,5—0,9 г/л). В небольшом количестве (по 3—4 наименования) присутствуют воды сульфатно-кальциевого состава с минерализацией 0,87—1,58 г/л, хлоридно-натриевого состава (1,03—1,25 г/л). Однако на прилавках они выглядят разнообразно и весьма привлекательно благодаря хорошо отработанному дизайну упаковочной тары и красивым этикеткам, что часто служит решающим фактором при выборе покупки.

Между тем импортные питьевые воды по химическому составу имеют многочисленные аналоги среди десятков месторождений пресных артезианских вод на территории Беларуси, залегающих в осадочной толще пород, от четвертичных до протерозойских. По поводу некоторых “чистейших” ультрапресных вод с минерализацией 0,02—0,2 г/л существует мнение гигиенистов, что при регулярном потреблении они не полезны, а даже вредны для здоровья, поскольку обеднены минеральными солями и микроэлементами, необходимыми организму.



Среди представленных в таблице импортных вод обратим внимание на те, для которых приведено содержание фтора. По формулам солевого состава воды отчетливо прослеживается общая закономерность (см. гл. 4), согласно которой с гидрокарбонатно-натриевыми водами связано повышенное содержание фтора, а с гидрокарбонатно-кальциевыми — наименьшее. Эта гидрохимическая особенность распространения фтора в подземных водах является следствием химического состава воды.

Так, содержание фтора, превышающее гигиенический норматив ВОЗ (1,5 мг/л), отмечено в водах № 6, 19, 46, 50, 56 (1,67— 4,4 мг/л и даже 12 мг/л), поставляемых из Венгрии, Болгарии, Чехии и Швеции. В свое время среди республик бывшего СССР наибольшая концентрация фтора была отмечена в подземных водах меловых отложений Молдавии (до 12 мг/л). Вот почему не вызывают удивления болгарские питьевые воды того же региона с максимальным содержанием фтора. Среди гидрокарбонатно-натриевых вод есть и умеренные по содержанию фтора (0,4—0,7 мг/л) — № 4, 58, 61 (Австрия, Венгрия, Италия). К ним примыкает и гидрокарбонатно-магниевая вода № 20 из Чехии (0,5 мг/л). С другой стороны, в гидрокарбонатно-кальциевых водах концентрация фтора ниже норматива (0,5 мг/л), от 0,03 до 0,3 мг/л. Это воды № 7, 16, 23, 40, 47, 51, 54, 57, 83 (Польша, Германия, Венгрия, Италия). В большинстве случаев содержание фтора на этикетках не указывается. Однако, следуя установленным гидрохимическим закономерностям, терапевт, стоматолог или просто читатель могут выбрать соответствующую воду, а с помощью контрольного анализа обнаружить повышенное содержание фтора в гидрокарбонатно-натриевых водах.

Сравнивая представленные в таблице бутилированные воды с пресной артезианской водой верхнепротерозойского горизонта Минского месторождения, можно убедиться в том, что по качеству она не уступает привозным водам. Благодаря оптимальному набору минеральных солей, нормативному содержанию фтора и надежной экологической защищенности эта вода даже более предпочтительна как питьевая. Кроме того, минская вода будет значительно дешевле вследствие меньших издержек и сокращения транспортных расходов, что учитывается при организации ее производства.

### ***ВНИМАНИЕ!***

Весной 1997 г. АО “Недраинвест” приступило к реализации проекта строительства нового завода по розливу воды “Протера” в ПЭТ-бутылки и начало розлив на пилотной линии воды из Минского месторождения глубоких артезианских вод верхнепротерозойского водоносного горизонта в районе д. Цна Минского района Минской области из скважины Мн-115. Регулярное употребление “Протеры” в качестве питьевой воды, для приготовления пищи и напитков (супов, чая, кофе, компотов и т.д.) защитит Ваши зубы от кариеса и в целом благотворно повлияет на все биохимические процессы Вашего организма.

Питьевые пресные и слабуминерализованные воды с минерализацией до 1,5 г/л

Показатель	Вода									
	ACQUA SILVA	AIX les bains	AQUARIUS	AQUA ERA	AQUA SODA	APENTA	ARCTIC	ARCTIC PEARL spring water	АСВЯЖАЮЩАЯ	ATLANTIS
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объем упаковки, л	1,5	1,5	0,33	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	1,0
Вид упаковки*	1	1	4	1	1	1	1	1	1	2
Цена за упаковку, USD	1,2								0,66	0,68
Цена литра, USD	0,8								0,33	0,68
Страна	Италия	Франция	Бельгия	Австрия	Чехия	Венгрия	Польша	Финляндия	Беларусь	Германия
Na <sup>+</sup> , мг/л	4,8	2	23,0	43		280	10,9	1,6		
K <sup>+</sup> , мг/л	0,8	1	58,8	5,5			1,3	1,3		
Ca <sup>2+</sup> , мг/л	26,2	84	20,0	30		197	55	2,9		
Mg <sup>2+</sup> , мг/л	10,2	23	48,0	18		55	18,9	1,5		
Cl <sup>-</sup> , мг/л	4,4	3		0,11		250	6,2	4,1		
F <sup>-</sup> , мг/л				0,45		2,2	0,15			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	29,2	27				440	1,5	2,5		



NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0,4	<0,2							
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л				0,01				0,1	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	100	341		287		600	325	12,2	
SiO <sub>2</sub> , мг/л	9,7							4,8	
pH		7,3		7,12				7	
Общая минерализация, мг/л	186,0	481,0		384,07		1822	418,0	26,2	
Формула солевого состава воды	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ } 69\text{SO}_4 \text{ } 26\text{Cl}15}{\text{M } 0,19 \text{ } \frac{\text{Ca}55\text{Mg}35\text{Na}9\text{K}1}$	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ } 90\text{SO}_4 \text{ } 8\text{Cl}11}{\text{M } 0,48 \text{ } \frac{\text{Ca}68\text{Mg}31\text{Na}1}$		$\frac{\text{HCO}_3 \text{ } 100}{\text{M } 0,38 \text{ } \frac{\text{Na}37\text{Ca}30\text{Mg}30\text{K}3}$		$\frac{\text{HCO}_3 \text{ } 38\text{SO}_4 \text{ } 35\text{Cl}27}{\text{M } 1,82 \text{ } \frac{\text{Na}46\text{Ca}37\text{Mg}17}$	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ } 97\text{Cl}13}{\text{M } 0,42 \text{ } \frac{\text{Ca}57\text{Mg}32\text{Na}10}$	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ } 54\text{Cl}32\text{SO}_4 \text{ } 14}{\text{M } 0,03 \text{ } \frac{\text{Ca}41\text{Mg}32\text{Na}19\text{K}8}$	

\* 1 — PET бутылка, 2 — Тетрапак, 3 — стеклянная бутылка, 4 — металлическая банка, 5 — PE емкость

BAR-LE-DUC	BIRGY BRONN	BISMARCK	BONAOA sparkling	BOXER	CELTIC	CHRISTINEN Brunnen	CONTELL	DIVINE	DOBRA WODA	EAU DE SOURCE	EVIAN	EXTALER mineralquell	EXQUISIT
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2,0	0,33	0,75	1,0	1,5	1,0	1,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	0,75
2	3	3	1	1	2	3	2	1	1	1	1	2	3
	0,55	1,3		1,38		1,55	1,3	1,0	1,05		1,3	0,87	
	1,66	1,7		0,92		1,55	0,65	0,7	0,7		0,86	0,87	
Нидер- ланды	Герма- ния	Герма- ния	Поль- ша	Нидер- ланды	Герма- ния	Герма- ния	Фран- ция	Болга- рия	Чехия	Фран- ция	Фран- ция	Герма- ния	Герма- ния
11,5	39,8	14,0	13		2,5	385		66	9,0		5,0	11,3	64,2
2,6					2,4			0,6	10,6		1,0		4,5
75	11,0	79,0	113		8,8	15	75	1,3	6,3		78,0	347,0	243,3
6,5	2,0	5,4	71		2,6	3	6,5	следы	10,6		24,0	56,8	47,7
23	311	22,0	200		3,3	349	23	3,3	2,8		4,5	14,5	114,0
					0,03			4,4	0,5			0,1	
28	79,0	53,0	27		8,2	51	28	20,0	4,8		10,0	891,0	470
								0	0,4				

FINN AQUA	FONTE GUIZZA	FONTE BAUDA	FURSTEN BRUNN	GALA	GLENEAGLES	HARZER GRAUHOF	HE BRON	HELLA classic	HERSCHI spring water	IKA WATER	JAKOBUS	JUWEL
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
1,5	1,5	1,5\0,5	0,33	1,5	0,5	0,7	1,5	0,7	1,5	1,5	0,7	1,5
1	1	1	3	1	3	3	1	3	1	1	3	3
2,3		1\0,56				1,1		1,1	1,4		1,2	1,4
1,55		0,6\1,1				1,6		1,6	0,93		1,7	2,0
Финляндия	Италия	Италия	Германия	Италия	Великобритания	Германия	Нидерланды	Германия	Нидерланды	Венгрия	Германия	Германия
	8,6		4,9	12,0	5,1	17,6	8,0	8,2	8,0		13	130
	1,2			2,0	0,21		4,2		4,2			
<3,9	40,5		34,2	88,0	5,3	111,0	97	51,2	97		56	13
1,1	26,0		2,2	2,9	1,3	9,3	17	3,6	17		3	6
2,0	2,5		5,7	19	10,7	28,6	<5,0		<5,0		24	71
	7		3,4	2,2	10,6	62,0	12		12		41	



					<0,1		<0,01		<0,01		
<0,6			6,3	0,2		<0,5		<0,5			<1,0
	256	116	241	4,3	300,0	390	146,4	390		165	244
	16,9		9,9								
6,5				6,5							
	342,4	166,4	393,2	37,7	528,5	533,2	209,4	533,2		312	464
	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 95SO}_4 \text{ 3Cl}_2}{\text{M 0,34} \quad \frac{\text{Mg}+7\text{Ca}+44\text{Na}+8\text{K}1}$	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 89Cl}_7\text{SO}_4 \text{ 3}}{\text{M 0,17} \quad \frac{\text{Ca}+8\text{Na}+10\text{Mg}9}$	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 80Cl}_1\text{ISO}_9 \text{ 4}}{\text{M 0,39} \quad \frac{\text{Ca}+84\text{Na}+10\text{Mg}+5\text{K}1}$	$\frac{\text{Cl}5\text{ISO}_4 \text{ 37HCO}_3 \text{ 12}}{\text{M 0,04} \quad \frac{\text{Ca}+44\text{Na}+37\text{Mg}19}$	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 70SO}_4 \text{ 18Cl}_1\text{I}_2}{\text{M 0,53} \quad \frac{\text{Ca}+78\text{Mg}+11\text{Na}+11}$	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 94SO}_4 \text{ 4Cl}_2}{\text{M 0,53} \quad \frac{\text{Ca}+72\text{Mg}+21\text{Na}+5\text{K}2}$	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 75}}{\text{M 0,21} \quad \frac{\text{Ca}+79\text{Na}+21\text{Mg}9}$	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 94SO}_4 \text{ 4Cl}_2}{\text{M 0,53} \quad \frac{\text{Ca}+72\text{Mg}+21\text{Na}+5\text{K}2}$		$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 64SO}_4 \text{ 20Cl}_1\text{I}_6}{\text{M 0,31} \quad \frac{\text{Ca}+80\text{Na}+14\text{Mg}6}$	$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 67Cl}_1\text{I}_3}{\text{M 0,46} \quad \frac{\text{Na}+83\text{Ca}+10\text{Mg}7}$



КАПЕЛЬКА	KARAT ohne Kohlensäure	KRYNKA	LEVISSIMA	LINDA sorgente	LUCHON	MANGALI	MARESCA	MATTONI	MONTINVERNO	NALECZOWIANKA	NEVIOT	NEVESTINO
38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,33	0,7	1,5	1,5	1,5	1,5
1	2	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	1
0,38			1,06					1,3	1,06		1,49	
0,25			0,71					1,85	0,7		0,99	
Беларусь	Германия	Венгрия	Италия	Италия	Франция	Латвия	Нидерланды	Чехия	Италия	Польша	Израиль	Болгария
	5,0	4,5	1,6	11,2	0,8	140—200		149,4	17,5	20,5	9,3	85
	1,05	2	1,5	1,6	0,2			31,91	2,8	6,0	0,8	4
	46,5	65	18,8	80,2	26,5	120—170		89,04	132,8	119,3	65	68
	5,8	18	1,8	24,8	1,0	50—100		30,77	38,9	24,3	16,0	25
	6,3	7	0,3	4,8	2,3	290—600		7,2	7,1	12,1	25	29
		0,25						1,67	0,2			12
	17	18	14,3	21	8,2	200—350		21,54	183,5		19	140





NOWOSADECKA	OPURE de France	OROBKA	PANNA sorgente	PERRIER	RAMLOSA	ROCCHETTA	ROMWIT	SAINT LEGER	SAN BENEDETTO	SAN PAOLO	SCHILDE TALER	SCHONBORN QUELLE
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	0,7	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,33	1,0
1	1	1	1	3	3	1	1	1	1	1	3	2
1,25			1,3		3,0	1,2				1,1	0,63	
0,83			0,86		2,25	0,8				0,73	1,9	
Польша	Фран-ция	Италия	Италия	Фран-ция	Швеция	Италия	Венгрия	Фран-ция	Италия	Италия	Герма-ния	Герма-ния
5,9	3,0	17,1	6,4	9,0	222	4,65	200	92	7,4	100	27	11,2
2,15	0,5	1,4	0,9	0,4	1,5	0,42		20	1,0	0,60		2,3
86,2	6,4	89,6	32,9	147,3	2,2	55,19	34	60	44,0	7,1	56,7	192
16,3	0,2	22,4	6,2	3,4	0,5	3,86	15	23	25,0	0,85		22,3
18,7	1,3	14,7	7,5	21,5	23	9,03	115	36	2,1	20,7	44,7	42,5
0,3			0,04		2,8	0,11	0,7			0,4		0,18
	6,2	55,1	22,8	33,0	7,3	7,83		55	6,5	56,6	27,0	258

$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 87Cl9SO}_4}{\text{Ca72Mg22Na4K1}}$ M 0,44	2,4	9,5	2,5	18,3		6,99		0			1,0	<1,0
$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 55SO}_4 \text{ 28Cl8NO}_8}{\text{Ca67Na27Mg4K2}}$ M 0,04	15,9	323,4	107,4	390	548	173,2	530	476	262,3	184,2	162	342
$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 77SO}_4 \text{ 17Cl6}}{\text{Ca63Mg26Na10K1}}$ M 0,53		10,8	7,2			5,16			16,2			
$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 72SO}_4 \text{ 19Cl9}}{\text{Ca67Mg21Na11K1}}$ M 0,19	6,2		7,9			7,65						
$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 83SO}_4 \text{ 9Cl8}}{\text{Ca92Na5Mg3}}$ M 0,62	443,55	35,9	533,2	187,0	622,9	255,6	895	762	348,3	370,0	318,4	871,5
$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 92Cl7SO}_4}{\text{Na98Ca1}}$ M 0,81												
$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 88Cl8SO}_4 \text{ 5}}{\text{Ca84Mg10Na6}}$ M 0,25												
$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 73Cl27}}{\text{Na75Ca15Mg10}}$ M 0,90												
$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 78SO}_4 \text{ 12Cl10}}{\text{Na43Ca32Mg20K5}}$ M 0,76												
$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 96SO}_4 \text{ 3Cl11}}{\text{Ca48Mg45}}$ M 0,35												
$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 63SO}_4 \text{ 25Cl112}}{\text{Na91Ca7Mg1}}$ M 0,37												
$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 59Cl28SO}_4 \text{ 13}}{\text{Ca71Na29}}$ M 0,32												
$\frac{\text{SO}_4 \text{ 46HCO}_3 \text{ 44Cl110}}{\text{Ca80Mg15Na4}}$ M 0,87												



SELTERS	SPA (зеленая)	SPA (синяя)	SPA (красная)	S.PELLEGRINO	STAATL.FACHINGEN	ST.MICHEL WATER	СВ.ИСТОЧНИК	СТОЛОВАЯ	TINNEA acqua	ТОР	ТРАЙПЛ	TUBORG club soda
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
1,0	1,5	1,5	1,5	0,75	0,75	4,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,25
3	1	1	1	3	3	5	1	1	1	1	1	3
1,14\1,6				2,19	1,3	4,5				2,08	0,5	1,0
1,14\1,6				2,92	1,7	1,12				1,38	0,3	4,0
Герма- ния	Бельгия	Бельгия	Бельгия	Италия	Герма- ния	Финлян- дия	Россия	Бела- русь	Италия	Бельгия	Бела- русь	Дания
290	10,5	3,0	5,0	45,0	602,5				3,1	170		
10,0	1,3	0,5	0,5		28,1				0,8	12,0		
110	11	3,5	5,5	205	122,0				63,7	1,3		
40,0	7,0	1,3	1,5	59,7	53,2				4,9	0,8		
260	9,5	5,0	5,5	71,5	150,7	<5,0			4,1	71,5		
						0,2						
20	6,5	6,5	7,5	549	65,5				12,2	60		

						<0,02					
	0,5	1,9	1,5			<0,5			1,3	<1,0	
850	75	11	18	232	1950				207,5	300	
	15	7	10		20,5				6,9		
		5,8			6,4	8—8,2					
1580	121,3	32,7	45,0	1162,2	2996				297,6	616,6	
M 1,58 $\frac{\text{HCO}_3,65\text{Cl}33\text{SO}_4,2}{\text{Na}58\text{Ca}35\text{Mg}15\text{K}1}$	M 0,12 $\frac{\text{HCO}_3,75\text{Cl}17\text{SO}_4,8}{\text{Mg}35\text{Ca}34\text{Na}28\text{K}2}$	M 0,033 $\frac{\text{HCO}_3,40\text{Cl}31\text{SO}_4,29}{\text{Ca}36\text{Na}28\text{Mg}23\text{K}2}$	M 0,045 $\frac{\text{HCO}_3,49\text{SO}_4,26\text{Cl}25}{\text{Ca}44\text{Na}35\text{Mg}19\text{K}2}$	M 1,16 $\frac{\text{SO}_4,66\text{HCO}_3,22\text{Cl}12}{\text{Ca}60\text{Mg}29\text{Na}11}$	M 3,0 $\frac{\text{HCO}_3,85\text{Cl}11\text{SO}_4,4}{\text{Na}70\text{Ca}16\text{Mg}12\text{K}2}$				M 0,30 $\frac{\text{HCO}_3,91\text{SO}_4,7\text{Cl}3}{\text{Ca}85\text{Mg}11\text{Na}3}$	M 0,62 $\frac{\text{HCO}_3,60\text{Cl}25\text{SO}_4,15}{\text{Na}94\text{K}4\text{Ca}1\text{Mg}1}$	








VALIO spring water	VALVERT	VANDUO	VERA	VERDIANA	VICHY classique	VILSA	VITTEL	VOLVIC	WENDEN QUELLE	ПРОТЕРА
77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
5,0	1,5	1,5	2,0	1,5	0,33	0,75	1,25	1,5/0,5	0,33	1,5
5	1	1	1	1	3	3	3	1	3	1
4,7				1,05		1,17	2,04		0,56	
0,95				0,7		1,56	1,63		1,71	
Финляндия	Бельгия	Литва	Италия	Италия	Эстония	Германия	Франция	Франция	Германия	Беларусь
1,9	1,9		2,3	31,8		12,7	7,3	9,4	17,4	53,6
0,7	0,7		0,5	3,6		1,4		5,7		5,0
3,9	67,6		33,7	86		63,2	91	9,9	54,0	22,4
1,4	2,0		13,1	25,4		4,4	19,9	6,1		10,4
1,6	4,7		2,1	26,2		32,5		8,4	27,5	1,6
						0,18				1,28
	18		15,3	60		32,0	105	6,9	30	3,0





	3,5			5,8				6,3	1,0	
8,2	204		144,2	361		153,1	258		146	250
			8,5							
6,8	7,7		7,4	7,45						8,2
17,7	280,2		212,2	600		146,2	481,2	118	275,9	346,0
$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 94Cl6}}{\text{M 0,02} \frac{\text{Ca70Mg16Na11K3}}{\text{M 0,28} \frac{\text{HCO}_3 \text{ 96Cl4}}{\text{Ca93Mg4Na22}}}}$			$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 86SO}_4 \text{ 12Cl2}}{\text{M 0,21} \frac{\text{Ca59Mg38Na3}}{\text{M 0,60} \frac{\text{HCO}_3 \text{ 75SO}_4 \text{ 16Cl9}}{\text{Ca55Mg27Na18}}}}$			$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 61Cl22SO}_4 \text{ 16}}{\text{M 0,15} \frac{\text{Ca77Na13Mg9K1}}{\text{M 0,48} \frac{\text{HCO}_3 \text{ 66SO}_4 \text{ 34}}{\text{Ca70Mg25Na5}}}}$		$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 74Cl16SO}_4 \text{ 10}}{\text{M 0,12} \frac{\text{Mg32Ca32Na26K10}}{\text{M 0,28} \frac{\text{HCO}_3 \text{ 63Cl21SO}_4 \text{ 16}}{\text{Ca78Na22}}}}$		$\frac{\text{HCO}_3 \text{ 98SO}_4 \text{ 1Cl11}}{\text{M 0,35} \frac{\text{Na53Ca25Mg19K3}}{\text{M 0,02} \frac{\text{HCO}_3 \text{ 94Cl6}}{\text{Ca70Mg16Na11K3}}}}$

**Условные обозначения:  
стратиграфическое расчленение (см. рис. 1, 3, 4)**


***Четвертичная система***

flsž <sup>s</sup>	Водоносный сожский надморенный водно-ледниковый горизонт	
gllsž (gllsž <sup>l</sup> )	Слабоводоносный сожский моренный комплекс (конечных морен)	
f,lgld-sž	Водоносный днепровско-сожский водно-ледниковый горизонт	
gldd	Слабоводоносный днепровский моренный комплекс	
f,lgldr-ldd	Водоносный березинско-днепровский водно-ледниковый горизонт	
glbr	Слабоводоносный березинский моренный комплекс	
f,lgldr <sup>l</sup>	Водоносный березинский подморенный водно-ледниковый горизонт	





***Меловая система***

K <sub>2t</sub>	Водоносный туронский терригенно-карбонатный горизонт	
K <sub>2s</sub>	Водоносный сеноманский карбонатно-терригенный горизонт	



***Девонская система***

D <sub>2nr</sub>	Слабоводоносный наровский терригенно-карбонатный комплекс	
------------------	---	---

***Верхний протерозой***

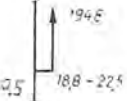
V vd	Водоносный валдайский терригенный горизонт	
V vl	Водоносный волынский горизонт	
V vlč	Слабоводоносный вильчанский терригенный комплекс	
R <sub>2-3</sub> bl	Водоносный белорусский терригенный горизонт	


***Архей — нижний протерозой***

AR-PR <sub>1</sub>	Водоносная зона трещиноватости архей-нижнепротерозойских магматических и метаморфических пород	 
--------------------	--	--

***Литологический состав пород***

	Пески разномерные		Известняки и доломиты с прослоями мергелей, глин и песчаников
	Суглинки и супеси моренные		Песчаники
	Мел и мергель		Граниты, гранодиориты, гнейсы

 Скважина. Стрелка — напор подземных вод (194,8 м — абсолютная отметка пьезометрического уровня воды; 18,8 л/с — дебит; 22,5 м — понижение; 0,5 г/л — минерализация воды)

 Скважина, спроектированная на линию разреза

20. *Питьева К. Е.* Гидрогеохимия (формирование химического состава подземных вод). М.: Изд. Моск. ун-та, 1978. 328 с.

21. *Станкевич Р. А.* О режиме подземных вод кембрийского водоносного горизонта в условиях многолетней эксплуатации в районе г. Минска // Материалы первой науч. конф. молодых геологов Белоруссии. Мн.: Наука и техника, 1965. С. 145—147.

22. *Станкевич Р. А.* Воздействие 37-летней эксплуатации на верхнепротерозойский водоносный горизонт и перспективы его использования в районе г. Минска // Тез. докл. I науч.-практ. конф. “Проблемы охраны геологической среды”. Мн.: БГУ, 1995. С. 76—77.

23. *Станкевич Р. А.* Особенности качества подземных вод верхнепротерозойского горизонта в условиях изоляции на участках интенсивной эксплуатации в районе г. Минска // Материалы науч.-техн. конф. “Водные ресурсы и устойчивое развитие экономики Беларуси”. Т. II. Мн.: ЦНИИКИВР, 1996. С. 78—80.

24. *Тутковский П. А., Оппоков Е. В.* Глубокое бурение в 1914—1915 гг. в г. Минске в сопоставлении с другими глубокими буровыми скважинами в районе Полесья // Материалы по исследованиям рек и речных долин Полесья. Киев, 1916.

25. *Fluorides and oral health.* Report of WHO Expert Committee on Oral Health Status and Fluoride Use, N 846. Geneva, 1993. 40 p.

26. *Guidelines for drinking — water quality.* Second edition. Volume 1. Recommendations. World Health Organization. Geneva, 1993. 190 p.



## Литература

1. Богомолов Г. В., Вевиоровская М. А. Гидрогеологические исследования в бассейне р. Свислочь // Материалы по изучению геологии, гидрогеологии и полезных ископаемых БССР. Т. VII. АН БССР, 1933.
2. Вураки К., Иоффе Е., Несмеянов А. Профилактика кариеса зубов препаратами фтора // Новое в стоматологии. 1994. № 6. С. 6—10.
3. Габович Р. Д., Николадзе Г. И. Савельева Н. П. Фторирование и обезфторивание питьевой воды. М.: Медицина, 1968. 232 с.
4. Габович Р. Д., Овруцкий Г. Д. Фтор в стоматологии и гигиене. Казань, 1969. 512 с.
5. Гельфер Е. А. Проблема фтора в природных водах БССР // Материалы совещ. по изучению, комплексному использованию и охране водных ресурсов. Вып. 5. Мн.: ЦНИИКИВР, 1965. С. 43—46.
6. Гельфер Е. А. Гидрохимические факторы, определяющие различное содержание фтора в природных водах // Гидрохимические материалы. Т. XL. Л.: Гидрометеиздат, 1965. С. 68—73.
7. Гельфер Е. А. Фтор в природных водах Белорусской ССР и некоторые закономерности его миграции: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Мн., 1968. 26 с.
8. Гудак С. П., Шаповал Л. И., Фурсиков Г. Л. и др. Минеральные и промышленные воды Республики Беларусь. Обзор. информ. Мн.: БелНИГРИ, 1992. 64 с.
9. Колесник А. Г. Системные методы профилактики кариеса зубов фторидами и безопасные границы их суточного поступления // Новое в стоматологии. 1994. № 2. С. 18—22.
10. Крайнов С. Р., Швец В. М. Гидрогеохимия. М.: Недра, 1992. 463 с.
11. Кудельский А. В., Ясовеев М. Г. Минеральные воды Беларуси. Мн.: Ин-т геол. наук АН Беларуси, 1994. 280 с.
12. Леггет Р. Города и геология. М.: Мир, 1976. 560 с.
13. Леус П. А. Фтор в профилактике кариеса зубов (аналитический обзор) // Стоматология. 1993. № 1. С. 66—72.
14. Лосев К. С. Вода. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 272 с.
15. Мельниченко Э. М. Актуальные задачи профилактики кариеса зубов у детей // Здравоохранение Белоруссии. 1987. № 10. С. 45—47.
16. Мельниченко Э. М. Эффективность профилактики кариеса в Республике Беларусь // Здравоохранение Беларуси. 1995. № 10. С. 23—25.
17. Николадзе Г. И. Водоснабжение. 3-е изд. М.: Стройиздат, 1989. 496 с.
18. Остапеня П. В., Гельфер Е. А., Каган Ц. А. Содержание фтора в питьевых водах БССР // Здравоохранение Белоруссии. 1963. № 7. С. 51—53.
19. Перельман А. И. Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 154 с.

## Оглавление

Предисловие .....	4
Глава 1	
Роль подземных вод в водоснабжении Минска .....	8
Глава 2	
Геолого-гидрогеологические условия месторождения .....	12
Глава 3	
Формирование качества подземных вод .....	19
Глава 4	
Фтор, его гигиеническое значение и содержание в питьевой воде месторождения .....	26
Глава 5	
Минеральные воды Минска .....	39
Глава 6	
История освоения и основные особенности эксплуатации месторождения .....	46
Заключение .....	63
Приложение. Питьевая вода в бутылках, поставляемая из разных стран (аналитический обзор) .....	66
Литература .....	85

Научное издание

Станкевич Роман Антонович

## МИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ГЛУБОКИХ АРТЕЗИАНСКИХ ВОД

Краткий очерк природных условий  
и истории освоения

Редактор *Т. И. Пасненко*

Художник *В. Г. Бегун*

Художественный редактор *В. А. Жаховец*

Технический редактор *С. А. Курган*

Корректор *З. Я. Губашина*

Сдано в набор 16.01.97 г. Подписано в печать  
15.04.97 г. Формат 70×100 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. офсетная.  
Гарнитура Таймс. Офсетная печать. Усл. печ. л.  
7,09. Усл. кр.-отт. 20,47. Уч.-изд. л. 5,5. Тираж 3070  
экз. Зак. № 3956

Издательство “Беларуская навука” Академии наук  
Беларуси и Государственного комитета Респуб-  
лики Беларусь по печати. 220141. Минск, Жодин-  
ская, 18. ЛИ № 1294 от 16.07.96 г.

Набор и верстка выполнены на компьютерах  
издательства “Беларуская навука”

ГП “Минская печатная фабрика”. 220050. Минск,  
Володарского, 3.