

КРАТКИЕ НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.4

А. Н. Воронов, Н. А. Виноград

ГДОВСКИЙ ВОДОНОСНЫЙ КОМПЛЕКС – ИСТОЧНИК ПРЕСНЫХ, МИНЕРАЛЬНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Введение. На северо-западе Русской платформы в пределах крупнейшего Московского артезианского бассейна широко распространен базальный горизонт водоносных песчаников, получивший название нижнекотлинского (гдовского) водоносного комплекса. Постепенно погружаясь на юг от Балтийского щита, он достигает глубин около 120 м в Сестрорецке, более 200 м южнее Санкт-Петербурга, 1400 м в районе Валдая и около 1500 м вблизи Москвы. Комплекс перекрыт толщей котлинских глин и на большей части территории своего распространения обладает напором. Параллельно с погружением растет минерализация воды – от ультрапресной и пресной на Карельском перешейке до рассолов с содержанием солей более 180 г/л в центральных частях бассейна. Вместе с минерализацией увеличивается и концентрация ряда микрокомпонентов.

Воды комплекса активно эксплуатируются: на севере – для водоснабжения и выпуска питьевой бутылированной воды, южнее – для получения соленых минеральных вод. В ряде мест воды комплекса используются как лечебные. В черте г. Санкт-Петербурга они применяются для технических нужд промышленных предприятий. Южнее, в глубоких частях Московской синеклизы, рассолы могут быть использованы для добычи ряда микрокомпонентов.

Генезис вод нижнекотлинского комплекса представляет большой практический и теоретический интерес. С самого начала высказывались различные гипотезы их происхождения, однако до сих пор вопрос формирования ресурсов подземных вод и их компонентного состава нельзя считать полностью решенным. Новые исследования гидрохимических особенностей водоносного горизонта, изучение инертных газов, растворенных в воде, проведенные при участии авторов статьи, позволяют пролить некоторый свет на особенности циркуляции воды. В основу работ были положены данные, полученные из литературных и фондовых источников, а также материалы исследований кафедры гидрогеологии геологического факультета СПбГУ. Гдовский водоносный комплекс является примером классического напорного водоносного горизонта артезианского бассейна, и его изучение может служить эталоном при рассмотрении других водоносных систем.

Геологическое строение и гидрогеологические условия. Московский артезианский бассейн, согласно гидрогеологическому районированию В. А. Кирюхина и Н. И. Толстихина (см. [1]), занимает северо-западную часть Русской платформы и представляет собой область погружения кристаллического фундамента под осадочный чехол. Кристаллический фундамент бассейна, который выходит на поверхность на севере Карельского перешейка, представлен архей-протерозойскими изверженными и метаморфическими породами, плавно погружающимися с севера на юг от Балтийского кристаллического щита до глубин 2500 м в центральных частях бассейна. Осадочный чехол сложен отложениями от протерозойского до каменноугольного возраста [2, 3]. Они залегают моноклинально со слабым падением на юг и юго-восток. В этом направлении на поверхности происходит последовательная смена древних осадочных пород более молодыми. Осадочный чехол венчают четвертичные отложения.

Наиболее древними осадочными отложениями являются породы рифея, выше залегают породы вендского возраста, к которым и относятся нижнекотлинский водоносный горизонт и котлинская водоупорная толща глин мощностью 50–130 м.

Кембрийские отложения залегают на вендских согласно, представлены они переслаиванием песчаников и глин. На размытой поверхности кембрия залегает ордовикская, преимущественно карбонатная толща. Отложения среднего и верхнего девона распространены на большей части территории бассейна, отсутствуя лишь на северной его окраине. Отложения карбона развиты в восточной части бассейна. Вся территория бассейна покрыта четвертичными отложениями разного генезиса мощностью 10–200 м.

Литологические особенности бассейна способствуют формированию выдержанных по простиранию водоносных комплексов и водоупоров. Нижнекотлинский комплекс, залегающий в основном непосредственно на породах

фундамента, распространен по всей площади бассейна. Он состоит из переслаивающихся песчаников и алевролитов с прослоями глин, аргиллитов и гравелитов. У самого основания комплекса встречаются прослои мелкогалечниковых конгломератов, широко развиты грубые несортированные пески и песчаники. Мощность комплекса увеличивается в южном направлении от нескольких метров на севере до 50–60 м в районе Санкт-Петербурга и до 200 м в центральной части бассейна. Он перекрыт толщей котлинских глин, благодаря чему на большей части территории своего развития он содержит напорные воды. Первоначальный напор составлял 70–120 м, и пьезометрические уровни располагались на абсолютных отметках 20–30 м на севере и 0–10 м на территории Санкт-Петербурга. Пьезометрическая поверхность снижается с юга на север и северо-восток к Финскому заливу и Ладожскому озеру (рис. 1, А). В результате эксплуатации комплекса естественная пьезометрическая поверхность в настоящее время нарушена, и образовались две депрессии, одна радиусом 60–80 км с центром, располагающимся в районе Санкт-Петербурга, и другая, меньшая по размеру, на Онежско-Ладожском перешейке. В последние годы в связи со снижением водоотбора пьезометрический уровень стал восстанавливаться.

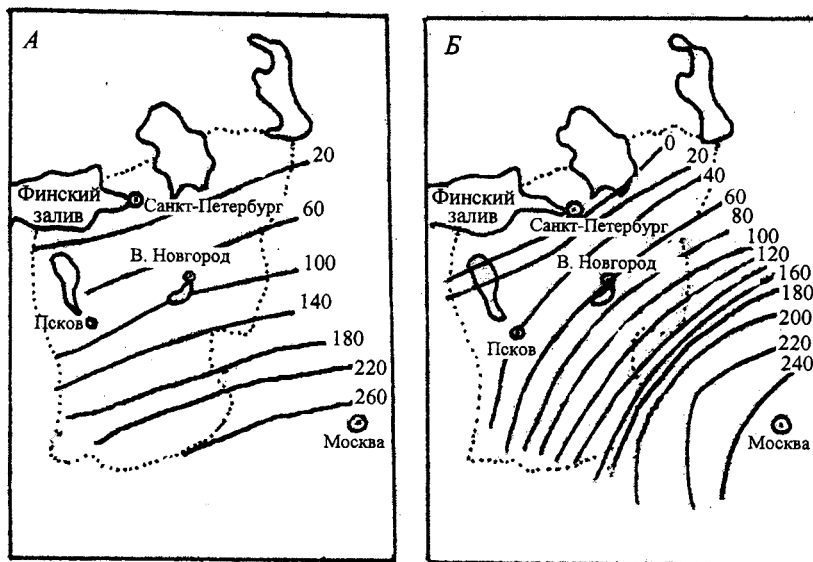


Рис. 1. Схематическая карта пьезометрического уровня (А) и минерализации (Б) подземных вод гдовского водоносного комплекса (по М. А. Гатальскому) [6].

Изолиниями показаны: А – абсолютные отметки уровней подземных вод (м), Б – минерализация подземных вод (г/л). Точечная линия – границы Ленинградского артезианского бассейна.

Водопроницаемость пород меняется от 50 до 500 м²/сут., коэффициент фильтрации составляет 5–6 м/сут. Водообильность комплекса в целом значительная. Комплекс содержит несколько гидравлически связанных между собой водоносных слоев. Удельные дебиты скважин составляют 0,1–5 л/с, в среднем – около 1 л/с.

Выше по разрезу в зависимости от географического положения над нижнекотлинским комплексом залегают другие водоносные горизонты. На севере это локально развитые водоносные системы четверичных отложений, в том числе так называемые межморенные комплексы. Далее к югу появляются регионально развитый кембродордовикский горизонт, трещиноватая толща ордовикских отложений, горизонты, приуроченные к песчаникам девона и карбонатам каменноугольной системы. Прямых свидетельств гидравлической связи с вышележащими водоносными горизонтами не имеется. Однако можно предполагать такую связь в зоне ильменских дислокаций, где наблюдается разгрузка рассолов глубоких водоносных горизонтов (к ним приурочено знаменитое месторождение лечебных вод Старая Русса), и на севере, в районе Карельского перешейка, где возможна связь с межморенными комплексами четвертичных отложений, которые в виде погребенных долин врезаются в нижнекотлинскую толщу.

Гидрохимические особенности. Значительный интерес представляют особенности изменения состава подземных вод нижнекотлинского комплекса [4]. Как уже отмечалось [5], минерализация вод достаточно закономерно меняется с севера на юг в соответствии с глубиной залегания водовмещающих пород (рис. 1, Б). Рост минерализации происходит главным образом из-за увеличения содержания натрия и хлоридов. В зависимости от величины минерализации может быть выделено несколько зон, последовательно сменяющих друг друга: I – зона ультра-

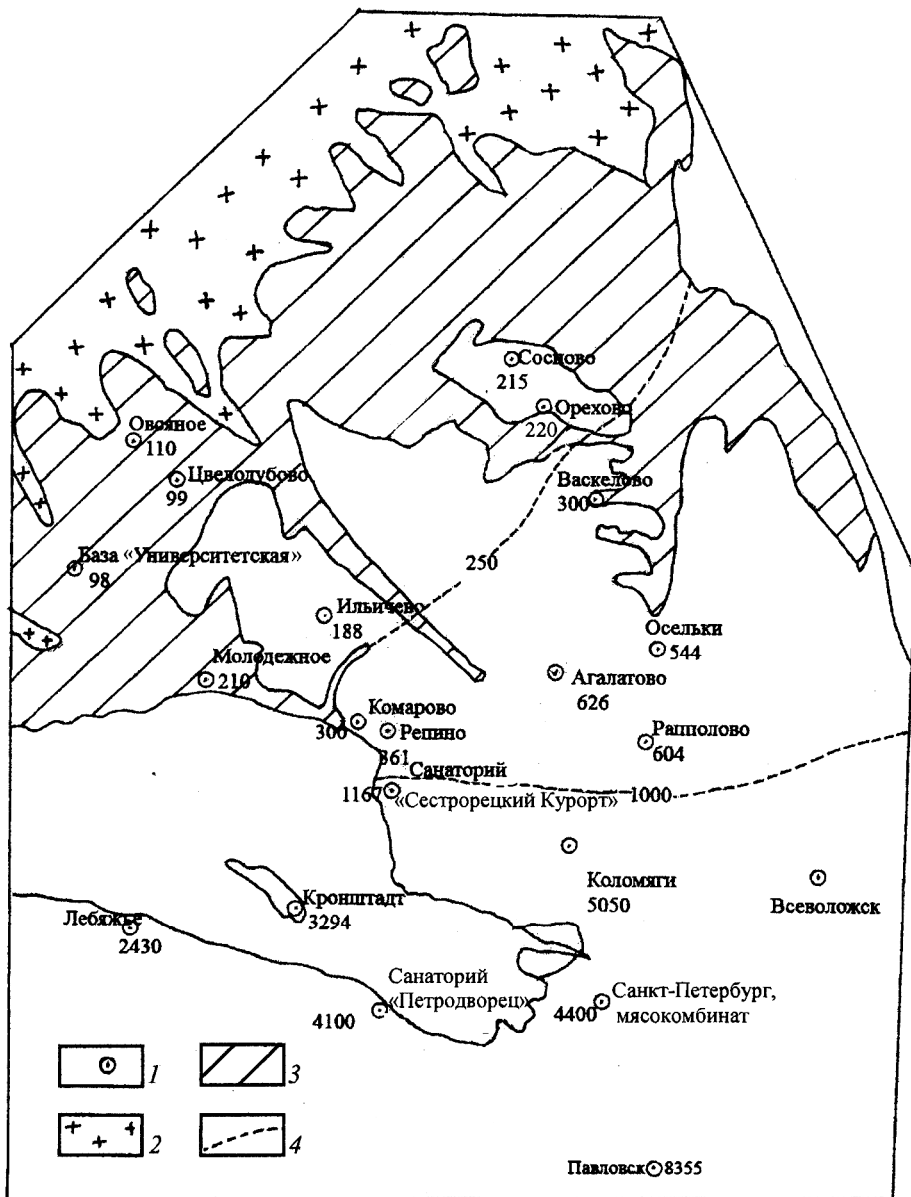


Рис. 2. Схематическая карта минерализации подземных вод гдовского водоносного комплекса на Карельском перешейке.

1 – скважина и минерализация воды (мг/л); 2, 3 – зоны выхода под четвертичные отложения пород кристаллического фундамента, вмещающих пород гдовского водоносного комплекса соответственно; 4 – изолинии минерализации подземных вод (мг/л).

пресных вод с минерализацией менее 250 мг/л; II – зона ультрапресных и пресных вод – 250–1000 мг/л; III – зона солоноватых вод – 1–10 г/л; IV – зона соленых вод – 10–35 г/л; V – зона распространения рассолов – более 35 г/л (рис. 2, 3). Для каждой зоны характерны свои закономерности распространения компонентов химического состава вод, а роль любого из них для вод разного класса различна.

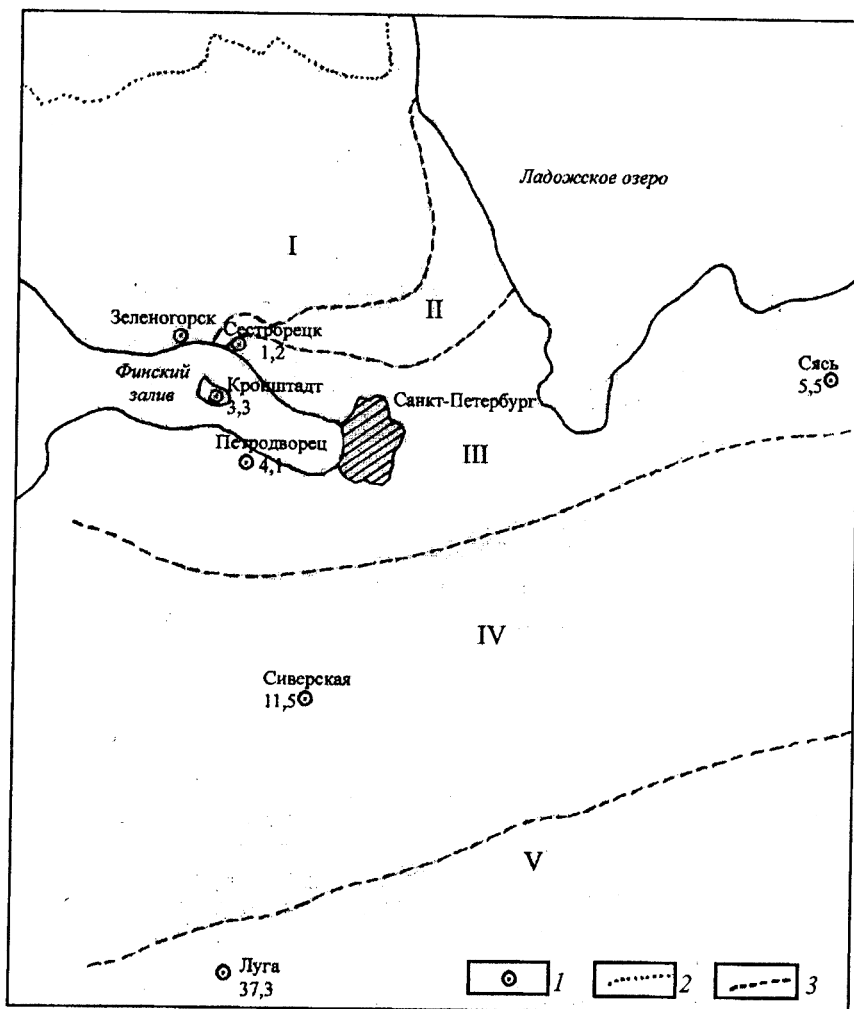


Рис. 3. Гидрохимическая зональность гдовского водоносного комплекса.

1 – скважина и минерализация воды (г/л); 2 – граница распространения гдовского водоносного комплекса; 3 – границы гидрохимических зон (объяснение см. в тексте).

Зона I в основном совпадает с районом, где водоносный горизонт залегает непосредственно под четвертичными отложениями, т. е. там, где нижнекотлинский комплекс лишен глинистого покрова (см. таблицу). Она охватывает наиболее возвышенную часть Карельского перешейка, где и располагается область питания комплекса. При этом величина минерализации редко становится меньше 100 мг/л. На побережье данная зона находится севернее Зеленогорска. В районе побережья в ряде скважин отмечаются повышенные концентрации железа и марганца.

Зона II располагается южнее линии Зеленогорск–Васкелово (см. таблицу). В обеих зонах наблюдаются значительные колебания величины минерализации, связанные, видимо, с неоднородными фильтрационными свойствами вмещающих пород. В зоне II особое внимание обращают на себя микрокомпоненты, имеющие значение для здоровья человека и обычно нормируемые требованиями к питьевым водам [3]. В области распространения пресных

Состав подземных вод гдовского водоносного комплекса (мг/л)

Местоположение скважин	База «Университетская»	пос. Цвелодубово	пос. Сосново	пос. Орехово	пос. Ильичево	пос. Молодежное	пос. Овсяное
<i>Зона I</i>							
pH	6,7	7,4	8,6	8,2	8,0	8,2	7,4
Минерализация	98	99	215	220	188	210	210
Cl	2,9	5,0	12,7	8,8	13,2	14,1	11,7
SO ₄	5,5	18,1	11,3	13,1	10,7	3,1	20,6
HCO ₃	61,0	48,8	134,2	140,0	115,9	112,8	48,8
Na	7,4	4,9	13,0	34,8	19,2	18,0	7,4
Mg	1,8	4,8	7,3	7,2	9,6	7,0	7,2
Ca	5,1	12,0	16,0	12,0	16,0	20,0	12,0
K	1,1	1,4	3,7	5,0	3,0	4,0	1,4
NO ₃		0,77	0		0,8	0,7	0,83
NO ₂		0	0,3	0	0	0,02	0
Fe _{общ}	0,08	0,12	0,16	0,13	0,12	2,4	0,13
Zn	0,006	0,008	0,014	0,006	0,014	0,004	0,13
Mn	0,001	0,009	0,017		0,002	0,086	0,012
Sr	0,051		0,24			0,016	
Si	3,3		4,9				
Ba	0,005		1,2			0,028	

<i>Зона II</i>							
	пос. Комарово	пос. Репино	пос. Васкелово	пос. Осельки	пос. Рапполово	пос. Агалатово	
pH	8,3	8,0	7,8	8,1	7,6	8,5	
Минерализация	390	361	604	544	422	626	
Cl	22,7	56,5	89,5	129,6	56,7	243,0	
SO ₄	56,7	37,1	21,4	4,5	1,2	3,5	
HCO ₃	195,2	145,2	317,2	241,2	245,3	148,8	
Na	93,0	91,0	168,0	159,8	90,0	220,0	
Mg	2,8	5,4	4,4	4,9	9,7	6,2	
Ca	8,7	10,0	65,0	6,0	14,0	7,8	
K	4,7	5,7	0,5			5,5	
Fe _{общ}	0,48	0,20	0,57	0,19	0,29	1,5	
Mn	0,041	0,075	0,064	0,11	0,072	0,060	
Sr	0,10	0,13	0,24	0,25	0,22	0,20	
Si	2,4	2,2	3,0			1,4	
Ba	0,12	0,10	0,04			0,05	

<i>Зона III</i>							
	Санаторий «Сестрорецкий Курорт»	Санаторий «Детские Дюны»	г. Кронштадт	г. Павловск	Санкт-Петербург		
					мясокомбинат	«Электросила»	
pH	7,6	7,9	9,4	7,6	7,6		
Минерализация	1167	1234	3294	8395	4400	3894	
Cl	567	651	1935	5067	2654	2095	
SO ₄	26	2	30	2,8	2,5	14,8	
HCO ₃	154	153	117	146	165	177	
Na	359	463	1300	2917	1468	1117	
Mg	20	19	90	172	75	92	
Ca	41	37	100	293	148	118	
K			29				
Fe _{общ}	0,23		0,30		0,30		
Zn	0,9		0,011				
Mn			0,26				
Sr	0,7		2,4				

	Санаторий «Сестрорецкий Курорт»	Санаторий «Детские Дюны»	г. Кронштадт	г. Павловск	Санкт-Петербург	
					мясокомбинат	«Электросила»
Si	6	7	3,1			
Ba			0,78			
<i>Зоны IV и V</i>						
	ст. Сиверская	г. Старая Русса	г. Луга	г. Валдай	г. Збруев	г. Москва
pH		6,9	6,8			
Минерализация	11533	19900	37300	183000	270355	265561
Cl	7175	9443	21800	112750	163825	164086
SO ₄	22	1280	292	330	617	355
HCO ₃	73	122	73	60	610	83
Na	3227	4846	10700	54007	97552	83394
Mg	313	930	851	3530		3842
Ca	759	1010	2220	10980	8018	13862
K		130	107			
Fe _{общ.}	0,23	0,2				
Zn	0,9					
Sr	0,7	2,3	50			
Si	6	22	20	7		
Br	20	48	106			697

вод превышения установленных норм наблюдаются для железа, марганца, бария, фтора и радона. Среднее содержание железа в Смолячковском, самом северном, месторождении составляет 1,2 мг/л. Концентрация марганца в среднем варьирует в пределах 0,05–0,10 мг/л, иногда достигая 0,96 мг/л. На Смолячковском месторождении она равна 1,2 мг/л. Средняя концентрация бария – 0,39 мг/л, достигает в ряде случаев 1,2 мг/л. Как показали исследования [4], она лимитируется наличием в воде сульфатного иона. Содержание фтора хорошо коррелируется с величиной общей минерализации и составляет для пресных вод 0,5–1,5 мг/л. Для Комаровского участка оно в среднем составляет 0,84 мг/л, для Репинского – 0,70 мг/л, для участка Дюны – 0,56 мг/л.

На Карельском перешейке в ряде зон отмечаются концентрации радона, превышающие допустимые с точки зрения норм радиационной безопасности в России (60 Бк/л). В некоторых случаях зафиксированы содержания радона до 200–300 Бк/л. Это обусловлено высоким содержанием материнских элементов в подстилающих и вмещающих породах. В некоторых случаях повышенные концентрации при эксплуатации вызваны отложением солей радия на стенках скважин в период их простоя.

Следует отметить, что для большинства микрокомпонентов какие-либо четкие региональные закономерности распространения в зоне пресных вод выявить не удалось.

В зонах III и IV происходит смена типа вод с гидрокарбонатно-натриевого на хлоридно-натриевый, а концентрация большинства микрокомпонентов возрастает (см. таблицу). Среди последних внимание привлекают те, которые придают воде лечебный характер или представляют интерес для промышленности. К ним в первую очередь относится бром, содержание которого растет параллельно с увеличением минерализации и достигает 100 мг/л в районе Луги. Заметно повышаются концентрации бора, лития, йода и стронция.

Наконец, в зоне V – зоне рассолов – набор фиксируемых микрокомпонентов значительно расширяется, возрастает их относительная роль в минеральном остатке воды (см. таблицу). К сожалению, изученность гидрохимических особенностей нижнекотлинского горизонта резко снижается при увеличении глубины его залегания.

Использование вод нижнекотлинского комплекса. Применение этих вод определяется прежде всего их гидрохимическими особенностями. В зонах ультрапресных и пресных вод горизонт активно разрабатывается для водоснабжения. Начало добычи пресных вод относится к концу XIX в. Подземные воды используются для централизованного водоснабжения Курортного района Санкт-Петербурга, водоснабжения предприятий, частного водоснабжения индивидуальных коттеджей и дачных хозяйств Карельского перешейка. Подсчитаны запасы нескольких месторождений подземных вод [5]. Утвержденные запасы подземных вод этих месторождений составляют 13 700 м³/сут. Годовая добыча на Карельском перешейке явно превышает эксплуатационные запасы нижнекотлинского комплекса, о чем свидетельствует существование депрессионной воронки. Ограничения в водопользовании могут быть связаны с качественной характеристикой воды, в которой в ряде случаев наблюдаются превышения существующих норм для бария, марганца, радона, радия.

В зоне развития минерализованных вод эксплуатация ведется с целью получения лечебного сырья, применяемого на курортах, и для выпуска бутылкированной воды. Так, в санаториях «Сестрорецкий Курорт» и «Детские

Дюны» используются воды с минерализацией 1,2 г/л, в санатории «Петергоф» – 4,3 г/л. Считается, что в первых двух санаториях одним из лечебных факторов является радон в воде, хотя его концентрация не достигает величин, установленных для лечебных минеральных вод (185 Бк/л). Ряд предприятий выпускает минерализованную воду в фасованном виде, например Екатеринбургскую, Охтинскую. Использование вод нижнекотлинского комплекса промышленными предприятиями Петербурга для технических целей связано с ее постоянной температурой и доступностью. Такое употребление ценной воды можно сравнить, вслед за Д. И. Менделеевым, с топкой печей ассигнациями. Добыча подземных вод для технических целей в 1970-е годы составляла 30–35 тыс. м³/сут.

Обсуждение результатов. Как уже говорилось, по величине минерализации и гидрохимическим особенностям подземных вод территория распространения нижнекотлинского комплекса может быть разделена на пять зон (см. рис. 2, 3).

Зоны I и II охватывают северные и центральные районы Карельского перешейка. Южные их границы проходят в широтном направлении чуть севернее Сестрорецка. В этой области питание комплекса обеспечивается инфильтрационными водами. Наиболее интенсивная циркуляция и питание происходят в северо-западной части территории, где на отдельных участках породы нижнекотлинского возраста выходят на поверхность. Дополнительное питание комплекс получает в результате перетоков из межморенных водоносных комплексов. Их масштабы возрастают за счет того, что пьезометрический уровень подземных вод комплекса снижается в результате эксплуатации. Так, в районе Зеленогорска он составил в 2005 г. –10 м, а нижнего межморенного горизонта – +18 м. Таким образом, в этой области возможно проникновение вод межморенных отложений в гдовский водоносный комплекс (рис. 4). В настоящее время положение пьезометрического уровня ниже уровня воды в Финском заливе делает принципиально возможной интрузию морских вод. В то же время до начала эксплуатации пьезометрический уровень гдовского комплекса был выше уровня моря, что приводило к возможности его разгрузки в акваторию Финского залива. Не исключено, что именно такой разгрузкой обусловлено формирование железо-марганцевых конкреций на дне залива.

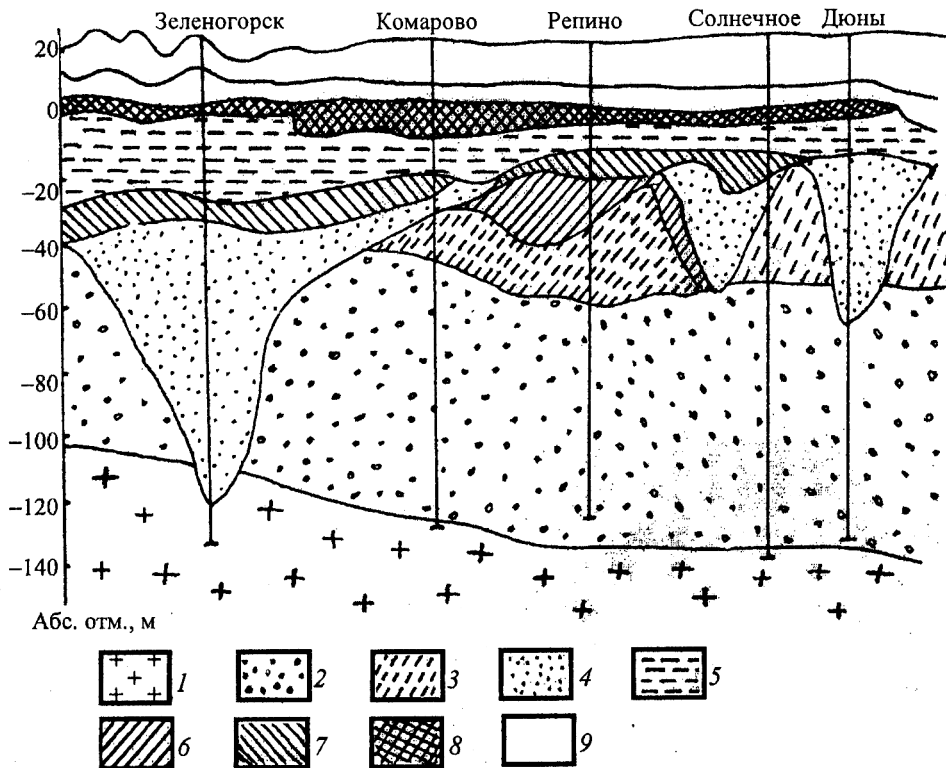


Рис. 4. Гидрогеологический разрез по линии Зеленогорск–Дюны [4].

1 – породы кристаллического фундамента; 2 – вмещающие породы гдовского водоносного комплекса (Vkt_1); 3 – верхнекотлинские глины (Vkt_2); 4 – нижний межморенный горизонт; 5 – верхний межморенный горизонт; 6 – днепровская морена (gQ_{1dn}); 7 – московская морена (gQ_{1ms}); 8 – лужская морена ($gQ_{1л}$); 9 – надморенный водоносный горизонт.

Зоны III и IV простираются до широты распространения вод с минерализацией 35 г/л. Видимо, именно в данной области происходит смешение двух потоков подземных вод – инфильтрационного и седиментогенного, медленно поднимающегося из глубоких частей Московской синеклизы [6]. Об этом говорит появление в составе подземных вод таких компонентов как бром и йод.

Зона V охватывает самые глубокие части Московской синеклизы. Здесь преобладают седиментогенные воды, медленно отжимающиеся к периферийным частям бассейна. Частичная разгрузка происходит в зоне ильменских дислокаций в районе Старой Руссы и южнее оз. Ильмень.

Конечно, предложенная схема циркуляции подземных вод нижнекотлинского комплекса нуждается в дальнейшем уточнении. Многие вопросы требуют еще своего решения. Необходимо привлечение доказательной базы изотопной гидрогеологии. Так, изучение изотопного состава гелия и радона [7] свидетельствует об увеличении относительного возраста подземных вод с погружением комплекса.

Summary

Voronov A. N., Vinograd N. A. Lower-Kotlin aquifer as a source of potable water supply and mineral curative waters.

The layer of the Vendian water-bearing sandstone named the Lower-Kotlin aquifer is widespread in the northwestern part of the Russian platform, within the Moscow Artesian Basin. It is overlain by the thick layer of Kotlin clays. The aquifer is actively exploited – for public water supply and bottling in the north and for mineral water treatment in the south. Within St. Petersburg this water is used for technical purposes of industry. New investigations allow clarifying water genesis of the Lower-Kotlin aquifer that is of great theoretical and practical interest. This aquifer is an example of classical confined groundwater system of the artesian basin and its study can be considered as a model for investigation of the other aquifers.

Литература

1. Кирюхин В. А., Коротков А. И. Региональная гидрогеология. М., 1987.
2. Гидрогеология СССР. Т. 3: Ленинградская, Псковская и Новгородская области / Под ред. И. К. Зайцева. М., 1967.
3. Кисилев И. И., Проскуряков В. В., Саванин В. В. Геология и полезные ископаемые Ленинградской области. СПб., 2002.
4. Воронов А. Н., Барвиш М. В., Шварц А. А. Особенности микрокомпонентного состава подземных вод нижнекотлинского горизонта // Разведка и охрана недр. 1998. № 7.
5. Гатальский М. А. Подземные воды и газы палеозоя северной половины Русской платформы // Труды Всесоюз. нефт. геол.-развед. ин-та. 1954. Вып. 9.
6. Коротков А. И. Формирование и защищенность минеральных вод Санкт-Петербурга и окрестностей // Школа экологической геологии и недропользования: Материалы конференции. СПб., 2006.
7. Воронов А. Н., Шварц А. А., Бирон А. А. Гелий и радон в подземных водах нижнекотлинского горизонта как показатель их происхождения // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: Геология, география. 1998. Вып. 1 (№ 7).

Статья поступила в редакцию 3 июля 2006 г.