

*А. А. Шебеста, Е. А. Шебеста*

## **ИЗМЕНЕНИЕ РЕСУРСНОЙ ФУНКЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В БАССЕЙНЕ Р. ВОЛХОВА**

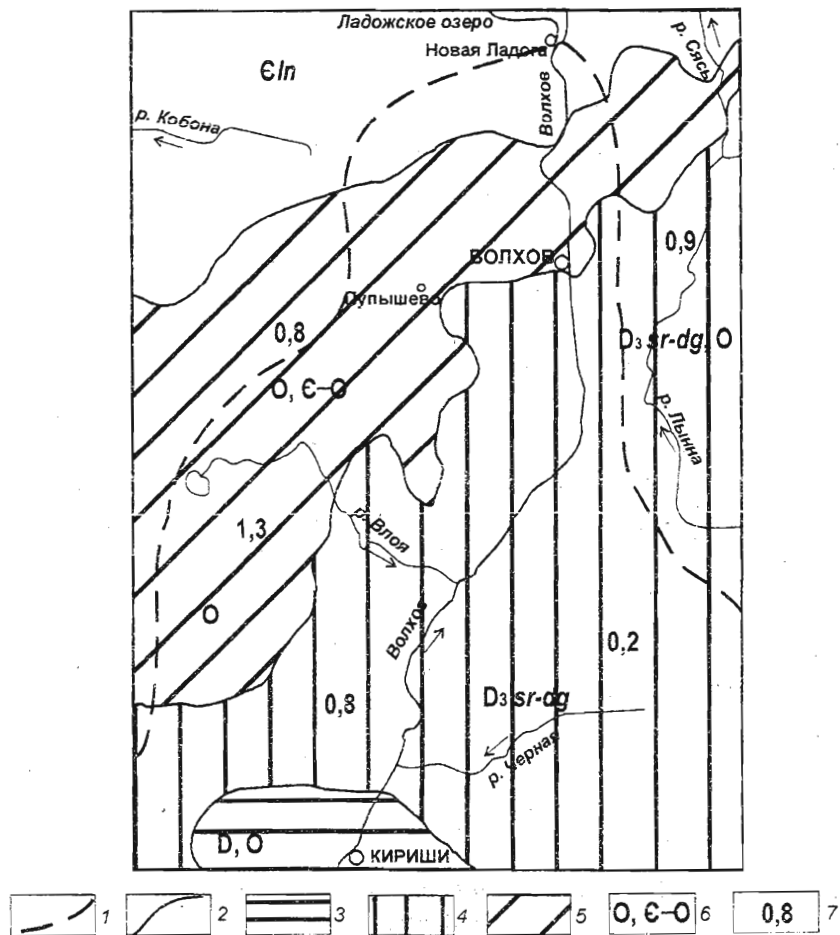
В ряду экологических функций подземной гидросферы ведущее место отводится ресурсной функции подземных вод [1]. В современных условиях главную роль в изменении ресурсной функции подземных вод играет техногенная нагрузка, влияние которой связано прежде всего с изменениями условий формирования, распространения и эксплуатации подземных вод.

В административном отношении территория бассейна р. Волхова ограничена Ленинградской обл. Она относится к зоне достаточного и избыточного увлажнения и имеет хорошо развитую гидрографическую сеть. Бассейн Волхова, как большинства рек Северо-Западного региона, относится к единому бассейну континентального подземного стока – Балтийскому, для которого региональным базисом стока является Ладожское озеро (рисунок). На площади бассейна регионального подземного стока – Волховского – выделяются бассейны местного и элементарного стока (водосборные бассейны рек Пчевжи, Тигоды и др.). Границами между ними служат водоразделы подземных вод, которые определяют направления движения этих вод в верхней части гидрогеологического разреза.

Площадь водосбора р. Волхова только в границах Ленинградской обл. составляет более 6000 км<sup>2</sup>. С точки зрения хозяйственно-питьевого водоснабжения, важным является верхний гидрогеологический этаж – зона свободного водообмена, где активная циркуляция вод обеспечивается атмосферным питанием подземных вод и разгрузкой их в гидрографическую сеть.

Экологическое состояние территории и в первую очередь подземных и поверхностных вод зависит от экономики района. Техногенная нагрузка на природную среду здесь весьма значительна. Волховский район характеризуется наличием таких предприятий, оказывающих негативное влияние, как Волховский алюминиевый завод, крупный железнодорожный узел и предприятия местной промышленности в Волхове. В Киришском районе, помимо основной промышленности в г. Кириши – ООО ПО «Кинэф», ГУП «Киришский биохимический завод», ГРЭС-19 ОАО «Ленэнерго», в пос. Ирса действует асфальто-битумный завод. В Тосненском районе определяющую роль играет Пельгорское торфопредприятие, в г. Любани – предприятия деревообрабатывающей и пищевой промышленности. Большая часть населения занята в сельском хозяйстве (животноводство, овощеводство). Территория пересечена автострадами Москва–Санкт-Петербург, Санкт-Петербург–Мурманск, многочисленными железнодорожными линиями, асфальтированными автомобильными и грунтовыми дорогами. Тем не менее, с точки зрения эксплуатации подземных вод, антропогенное воздействие на них в рассматриваемом бассейне невелико. Связано это в первую очередь с природными гидрогеологическими условиями – отсутствием пресных подземных вод вблизи крупных городов и поселков непосредственно в долине р. Волхова.

Территория бассейна р. Волхова в геологическом и гидрогеологическом плане изучена довольно хорошо. Здесь проводились многочисленные средние- и крупномасштабные съемочные, поисковые, разведочные и тематические работы, на основе которых подготовлены и изданы геологические карты с объяснительными записками, а также государственные гидрогеологические карты масштаба 1:200 000 Ильменской серии листов [2–6].



Карта гидрогеологических условий водосборного бассейна р. Волхова  
(по материалам В. А. Кальм и др., 2001, с дополнениями).

1 – границы Волховского бассейна регионального подземного стока зоны свободного водообмена; 2 – границы участков с разной защищенностью подземных вод; 3 – защищенные, 4 – незащищенные, 5 – условно защищенные; 6 – индексы основных для водоснабжения водоносных горизонтов ( $\epsilon ln$  – поле развития кембрийских водоупорных отложений); 7 – величина модуля подземного стока, л/с км<sup>2</sup>.

Среди региональных гидрогеологических работ, охватывающих рассматриваемую территорию, необходимо отметить вышедший в 1967 г. т. III монографии «Гидрогеология СССР», посвященный Ленинградской, Псковской и Новгородской областям [7]. Он является крупным обобщением сведений по гидрогеологии региона, не потерявшим свое практическое значение до настоящего времени. В нем рассмотрены общие гидрогеологические закономерности – формирование подземных вод, естественные ресурсы и эксплуатационные запасы пресных подземных вод. В 1982 г. специалисты ПГО «Севзапгеология» (В. В. Селадина и др.) провели оценку региональных эксплуатационных запасов подземных вод Ленинградского артезианского бассейна, которые в 1983 г. были утверждены ГКЗ СССР. В 2001 г. в работе «Оценка обеспеченности населения Северо-Запада РФ ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения» (В. А. Кальм и др.) она

была уточнена с привлечением новых гидрогеологических сведений и в соответствии с современным гидрогеологическим районированием территории.

**Гидрогеологические условия.** Рассматриваемая территория, расположенная в Ленинградском гидрогеологическом районе, входит в состав Московского артезианского бассейна, являющегося частью провинции – Среднерусского артезианского бассейна.

В орографическом отношении на территории района выделяется Предглинтовая низменность с абсолютными отметками поверхности от 4 до 30 м, протягивающаяся узкой полосой на южном берегу Ладожского озера. С южной стороны Предглинтовая низменность ограничена хорошо выраженным в рельефе Балтийско-Ладожским уступом (Глинтум). К югу от него почти в широтном направлении простирается плоская возвышенная равнина – Ордовикское (Волховское) плато, имеющее отметки 30–60 м, сложенное известняками ордовика и перекрытое маломощным четвертичным покровом. Остальная часть района расположена на девонской равнине, осложненной камовым рельефом с отметками поверхности до 90 м [8].

Объектом изучения является верхний гидрогеологический этаж – зона свободного водообмена, где активная циркуляция вод обеспечивается атмосферным питанием подземных вод и разгрузкой их в гидрографическую сеть. Волховский бассейн включает стоки всех притоков р. Волхова (рек Влои, Оломны, Тигоды, Черной, Пчевжи и др.).

Для зоны свободного водообмена характерно развитие пород с поровым, трещинным и трещинно-карстовым типами проницаемости. В зависимости от величины проницаемости, характера обводненности, возраста и генетического типа выделены горизонты и комплексы водоносных подразделений. В областях питания преобладает нисходящий характер фильтрации подземных вод, в низинах и долинах крупных рек, являющихся областями разгрузки, – восходящий.

В гидрогеологическом разрезе выделяются две группы подземных вод – четвертичных и дочетвертичных отложений. Четвертичные водоносные подразделения повсеместно залегают с поверхности, дочетвертичные погружаются в юго-восточном направлении, при этом имеет место последовательная смена водоносных подразделений, залегающих непосредственно под четвертичными отложениями, – от вендских на севере до верхнедевонских на юге.

**Четвертичные водоносные горизонты.** Четвертичные отложения от современного до осташковского (валдайского) возраста представлены в основном песками, супесями и суглинками.

Непосредственно на территории Волховского бассейна развиты грунтовые воды, залегающие на глубинах от 0,2 до 5,0 м, и напорные воды, приуроченные к межморенным отложениям. Питание водоносных подразделений осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. Аллювиальные и озерные горизонты получают также речное питание в паводок, однако масштабы такого питания, по-видимому, невелики. Зеркало грунтовых вод наклонено от области питания к зоне разгрузки.

Водовмещающие породы представлены супесями, песками различного гранулометрического состава, реже с гравием и галькой. Мощность водоносных горизонтов изменяется от 1–2 до 10–25 м. Воды безнапорные, уровень грунтовых вод залегают на глубине от 0 до 2–5 м на равнинах, в камах и озах – 5–10 м и более. Водообильность горизонтов пестрая, в основном незначительная. Удельный дебит скважин, оборудованных в аллювиальных, озерных и озерно-ледниковых песках, не превышал 0,1–0,5 л/с, во флювиогляциальных отложениях изменялся от 0,3 до 3,3 л/с.

По химическому составу воды пресные, гидрокарбонатные смешанного катионного состава. На отдельных участках (преимущественно в долинах рек) отмечаются увеличение минерализации и изменение состава, связанное с подтоком соленых вод из более глубоких водоносных горизонтов (долина р. Волхова). Грунтовые воды повсеместно не защищены от поверхностного загрязнения, что сказывается в росте содержания в них соединений азота и прочих загрязняющих компонентов (антропогенное загрязнение в районах населенных пунктов).

Грунтовые воды эксплуатируются многочисленными колодцами, каптированными родниками, реже скважинами, как правило, индивидуального пользования.

Межморенные напорные воды приурочены к межморенным песчано-супесчаным отложениям, распространенным на ограниченных площадях в древней долине р. Волхова и Ругуйском понижении, которые заполнены флювиогляциальными песками мощностью до 2,7–11,8 м (район г. Кириши) и песчано-глинистыми озерно-аллювиальными и озерными отложениями мощностью 2,5–10,4 м.

Глубина залегания межморенных водоносных горизонтов колеблется в широких пределах – от нескольких до 22 м. Воды напорные. Уровни подземных вод устанавливаются на глубинах от 1 до 5 м или превышают дневную поверхность в долинах рек на 1–2 м. Водоносные горизонты практически везде защищены или условно защищены от поверхностного загрязнения. Водообильность водовмещающих пород – преимущественно невысокая. Удельные дебиты скважин составляют 0,002–0,2 л/с.

По химическому составу воды чаще солоноватые (минерализация 1,1–2,3 г/дм<sup>3</sup>), сульфатные смешанного катионного состава, что объясняется подтоком минерализованных вод, разгружающихся в долине р. Волхова. В районе пос. Будогощь воды пресные гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией 0,1 г/дм<sup>3</sup>.

При оценке эксплуатационных запасов подземных вод грунтовые воды, в большинстве своем развитые в водоносных горизонтах четвертичных образований, не играют существенной роли. Эксплуатируются межморенные подземные воды в пос. Будогощь, где водоотбор составляет 370 м<sup>3</sup>/сутки.

**Подземные воды дочетвертичных отложений.** В разрезе дочетвертичных образований выделяются следующие гидрогеологические подразделения.

**Девонские** водоносные горизонты: снежско-плавский (D<sub>3snz-pl</sub>), саргаевско-даугавский (D<sub>3sr-dg</sub>), арукюласкошвянтской (D<sub>2ar-D<sub>3shv</sub></sub>) и пярнуский (D<sub>2pn</sub>). Водовмещающие породы представлены переслаиванием мергелей, песчаников, реже песков с подчиненными прослоями известняков. Слои глин разделяют отдельные водоносные слои и водоносные горизонты. Ввиду значительной глинистой составляющей проницаемость отложений низкая и водообильность неравномерная, но в основном невысокая. Удельные дебиты скважин изменяются в пределах от 0,002 до 2,0 л/с, преобладают величины 0,3–0,6 л/с. По характеру циркуляции и гидродинамическому режиму подземные воды девонских горизонтов порово-пластовые, напорные. Воды пресные, гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, минерализация 0,2–0,6 г/дм<sup>3</sup>. В долине Волхова воды солоноватые (минерализация 1,0–3,5 г/дм<sup>3</sup>) сульфатные и хлоридно-сульфатные кальциево-натриевые. Причиной этому является разгрузка более глубоких водоносных горизонтов, воды которых обладают большими напорами и поднимаются по трещиноватым зонам.

**Ордовикский** водоносный горизонт (O<sub>1z</sub>) развит на значительной части территории и залегает как первым на дочетвертичной поверхности, так и перекрывается породами девонских горизонтов. Он включает в себя карбонатные отложения, представленные известняками, доломитами и мергелями.

Воды ордовикского горизонта трещино-пластовые. Водообильность неравномерная и зависит от трещиноватости пород. Удельный дебит скважин изменяется от сотых долей до 2–5 л/с, составляя чаще 0,5–1,0 л/с. Водопроницаемость горизонта в пределах изученной площади изменяется от первых единиц до 260–390 м<sup>2</sup>/сутки и выше. Участки с высокой водопроницаемостью хорошо коррелируются с зонами повышенной трещиноватости карбонатных пород.

Подземные воды ордовикского горизонта имеют различные химический состав и минерализацию, которые изменяются как по площади, так и на глубину. На большей части левобережья р. Волхова подземные воды пресные минерализация чаще составляет 0,3–0,5 г/дм<sup>3</sup>, состав подземных вод – гидрокарбонатный магниевый-кальциевый или смешанный катионный. С погружением горизонта в южном направлении гидрокарбонатные воды изменяются на хлоридно-гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые с минерализацией 0,7–0,9 г/дм<sup>3</sup>. На участке региональной разгрузки – долине р. Волхова – состав вод становится сульфатно-хлоридным и хлоридно-сульфатным магниевый-кальциевым, минерализация увеличивается от 0,7 до 1,0 и 2,1 г/дм<sup>3</sup>. Формирование вод на данном участке обусловлено двумя факторами – разгрузкой солоноватых хлоридных вод кембро-ордовикского водоносного горизонта и влиянием огипсованных водовмещающих пород ордовика. На правобережье, в долине р. Пчевжа преобладают воды хлоридно-сульфатного натриевого состава с минерализацией до 5,0 г/дм<sup>3</sup>.

Пресные воды ордовикского горизонта достаточно широко используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Минеральные воды разнообразного химического состава перспективны для применения их в качестве питьевых лечебно-столовых минеральных вод.

**Кембро-ордовикский** водоносный горизонт (Є<sub>2</sub>-O<sub>1</sub>) развит на большой территории, ограниченной с севера Глинтом, и подстилается водоупорными отложениями нижнего кембрия. Он приурочен к терригенным пескам и песчанникам тосненской свиты пакерортского горизонта нижнего ордовика, ладожской свиты среднего кембрия и саблинской свиты нижнего кембрия.

Подземные воды горизонта порово-трещинно-пластовые, повсеместно напорные. Водообильность горизонта изучена более полно в области его неглубокого залегания – приглинтовой зоне. Удельный дебит скважин меняется от сотых долей до 2,6 л/с, чаще 0,1–0,5 л/с.

Состав воды горизонта закономерно изменяется при погружении его на юг. В приглинтовой полосе минерализация подземных вод 0,2–0,4 г/дм<sup>3</sup>, состав гидрокарбонатный магниевый-кальциевый или хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый при минерализации 0,5–0,8 г/дм<sup>3</sup>. С глубиной в составе начинают преобладать ионы хлора, минерализация воды увеличивается от 1,0 до 4,5–5,2 г/дм<sup>3</sup>. В долине р. Волхова и на юго-восточной части территории наблюдаются воды сульфатно-хлоридного натриевого состава.

Практическое значение горизонта как источника водоснабжения имеет значение в приглинтовой зоне, районах северной части Волховского плато, где его гидрогеологические параметры сопоставимы с параметрами вышележащего ордовикского водоносного горизонта. Перспективен кембро-ордовикский водоносный горизонт в качестве надежного источника для получения лечебно-столовых минеральных вод достаточно редкого для Северо-Западного региона сульфатно-хлоридного натриевого состава.

Водоносные горизонты, залегающие ниже по разрезу, содержат солоноватые и соленые воды и не могут рассматриваться как ресурсы подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Практическое значение они могут иметь как источники минеральных вод.

**Использование подземных вод и существующее водоснабжение.** *Пресные подземные воды* на территории повсеместно применяются для целей хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения. Для целей местного водоснабжения эксплуатационными горизонтами служат практически все гидрогеологические подразделения с пресными водами в четвертичных и дочетвертичных отложениях. Грунтовые воды используются для индивидуальных хозяйств в деревнях и поселках, где они вскрыты многочисленными копаными колодцами.

Воды девонских отложений, развитые на юго-востоке территории, эксплуатируются в пос. Будогощь, где водозабор состоит из 23 скважин с общим водоотбором порядка 1,2 тыс. м<sup>3</sup>/сутки, и в пос. Пчевжа (1 скважина), а также в небольших населенных пунктах. Наиболее крупные водозаборы – в городах Любань, Рябово. Воды ордовика эксплуатируются скважинными водозаборами, которые находятся в поселках Посадников Остров (13 скважин), Пчева (3 скв.), Ирса (1 скважина) и в крупных садоводах (Пупышево). Для централизованного водоснабжения используются воды только ордовикского водоносного горизонта или ордовикского совместно с кембро-ордовикским. Водоснабжение полностью базируется на подземных водах в г. Любани и многочисленных поселках и деревнях.

Доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении мелких населенных пунктов по административным районам варьирует от 39% (Тосненский район), 71% (Киришский) до 100% (Волховский район). Однако хозяйственно-питьевое водоснабжение наиболее крупных городов – Волхова и Киришей (численность населения соответственно 50,4 и 55,08 тыс. человек) обеспечивается исключительно за счет поверхностных вод.

Подземными водами для питьевого водоснабжения население рассматриваемой территории обеспечено недостаточно. Так, в Волховском районе необеспеченной является большая часть населения – в городах Волхов и Новая Ладога, в Киришском районе – территория, расположенная вдоль р. Волхов, в том числе г. Кириши.

**Минеральные подземные воды** представлены питьевыми лечебно-столовыми водами различных типов. Маломинерализованные воды разнообразного химического состава развиты на территории повсеместно и приурочены ко всему гидрогеологическому разрезу.

Хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные воды (Феодосийского, Углицкого, Алма-Атинского и Чартакского типов) широко распространены в Волховском и Киришском районах. Подземные воды хлоридно-сульфатного и сульфатно-хлоридного состава с минерализацией от 1,1 до 4,8 г/дм<sup>3</sup> вскрыты многочисленными скважинами в отложениях четвертичного возраста, верхнего и среднего девона, ордовика, реже в кембро-ордовикском и вендском водоносных горизонтах.

Гидрокарбонатно-хлоридные натриевые воды (Айвазовского типа) выявлены на ограниченных площадях в районе г. Любани. Глубина их залегания от 0,7 до 40 м, минерализация изменяется в пределах 1,0–2,3 г/дм<sup>3</sup>.

Хлоридные натриевые воды (Миргородского типа) развиты практически повсеместно. В южной части воды данного состава вскрыты в районе Рябово и Любани, где они приурочены к девонским водоносным подразделениям и кембро-ордовикскому водоносному горизонту. Глубина вскрытия их на этом участке меняется от 50 до 180–190 м, минерализация составляет 1,2–5,5 г/дм<sup>3</sup>.

**Подземные водные ресурсы.** Основным базисом разгрузки континентального стока северо-запада является Балтийское море, куда разгружаются подземные воды зоны свободного водообмена всего региона. Дреной, имеющей региональное значение, является также долина р. Волхова, куда разгружаются не только пресные воды верхних водоносных гори-

зонтов, но и солоноватые воды более глубоких горизонтов подземных вод, засоляя, тем самым, верхние водоносные горизонты в долине реки. Речные долины притоков Волхова – Пчевжы, Тигоды Оломны, Влои и др. – дренируют подземные воды первых от поверхности основных водоносных горизонтов. Условия дренирования подземных вод реками позволяют применить для количественной оценки подземного стока метод расчленения гидрографа.

Специалистами ГГИ (Т. Л. Ястребова и др., 1979 г.) была выполнена оценка естественных ресурсов подземных вод способом выделения подземной составляющей общего речного стока. Характеристики подземного притока в реки как показателя естественных ресурсов подземных вод зоны интенсивного водообмена определялись по данным многолетних наблюдений за стоком рек, полученным на гидрометрических постах-створах Госкомгидромета и др. Определены среднемноголетние значения модулей и расходов подземного стока. Для территории бассейна р. Волхова пределы изменения величин подземного притока 95%-ной обеспеченности составляют 0,2–0,5 л/с·км<sup>2</sup>, причем в пределах 0,35–0,5 л/с·км<sup>2</sup> приурочены к узкой долине Волхова и его правобережных притоков. Коэффициент подземного питания не превышает 10–20%. Среднемноголетнее значение модуля подземного стока бассейна р. Волхова в границах Ленинградской обл. составляет 1,09 л/с·км<sup>2</sup>, расход подземного стока – 548,7 тыс. м<sup>3</sup>/сутки.

Естественные ресурсы – величина питания подземных вод в естественных условиях, выражающаяся в расходе подземного потока. При региональных исследованиях под естественными ресурсами подземных вод понимают результирующее питание этих вод, эквивалентное их разгрузке, оцениваемое по подземному стоку реки.<sup>1</sup>

Возможность использовать величину подземного питания для характеристики естественных ресурсов подземных вод определяется тем, что в пределах водосборных бассейнов крупных рек дренируются практически все основные водоносные горизонты зоны свободного водообмена. Однако в этой зоне в водосборном бассейне Волхова развиты, помимо пресных подземных вод, солоноватые воды с минерализацией от 1,0 до 3,0 г/дм<sup>3</sup> в верхней части разреза и до 5,0 г/дм<sup>3</sup> и более в глубоких частях.

Площадь развития пресных вод составляет около 4160 км<sup>2</sup>. Размеры естественных ресурсов пресных вод рассчитывались по средневзвешенному модулю подземного стока и составляют при среднегодовых его значениях (1,09 л/с·км<sup>2</sup>) 4,5 м<sup>3</sup>/с, или 391,8 тыс. м<sup>3</sup>/сутки. При минимальных значениях модуля подземного стока – 95%-ной обеспеченности, равного 0,41 л/с·км<sup>2</sup>, – естественные ресурсы подземных вод оцениваются в 1,7 м<sup>3</sup>/с, или 147,4 тыс. м<sup>3</sup>/сутки.

Эксплуатационные запасы – это количество подземных вод, которое может быть получено рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требуемым нормативам в течение всего срока эксплуатации. При прогнозных региональных оценках пользуются термином «эксплуатационные ресурсы» как характеристикой потенциальных возможностей эксплуатации подземных вод в крупном регионе. В связи с имеющимся различием в употреблении терминов «запасы» и «ресурсы» В. Б. Боровским в 1989 г. предложено эти термины рассматривать как синонимы, при этом основную содержательную нагрузку несет прилагательное, т.е. *прогнозные эксплуатационные ресурсы*.

В период с 1995 по 2001 г. была выполнена оценка прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод Северо-Западного региона РФ (В. А. Кальм и др., 2001 г.). Она проводилась в основном для пресных подземных вод, а на участках их отсутствия учитывались запасы подземных вод с минерализацией 1–3 г/дм<sup>3</sup>. С учетом новых данных, полученных в процессе разведочных работ для водоснабжения и режимных наблюдений, проведена кор-

<sup>1</sup> Ковалевский В. С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001.

ректировка апробированных ранее прогнозных эксплуатационных запасов в сторону их снижения главным образом за счет исключения привлекаемого транзитного стока рек как малообоснованной составляющей баланса. На правобережье р. Волхова часть прогнозных эксплуатационных ресурсов пресных вод переведена в категорию солоноватых. Уточненные прогнозные эксплуатационные ресурсы каждого из развитых на рассматриваемой территории водоносных горизонтов использованы для определения модулей эксплуатационных ресурсов подземных вод путем отнесения их к площади распространения соответствующего горизонта с учетом изменения водопроницаемости по площади.

Распределение ресурсов по водохозяйственным участкам и бассейнам малых рек, являющихся притоками Волхова, оказалось весьма неравномерным. Суммарные прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод для бассейна р. Волхова в границах Ленинградской обл. составляют 220,8 тыс. м<sup>3</sup>/сутки, средний модуль – 0,62 л/с·км<sup>2</sup>.

Ресурсы солоноватых вод (с минерализацией 1–3 г/дм<sup>3</sup>) определялись на площадях, где с поверхности отсутствуют пресные воды, – в долине р. Волхова и на его правобережье. Суммарные ресурсы солоноватых подземных вод оценены в 35,7 тыс. м<sup>3</sup>/сутки, средний модуль – 0,22 л/с·км<sup>2</sup>. Среднегодовое значение естественных ресурсов подземных вод всей рассматриваемой территории составляет 548,7 тыс. м<sup>3</sup>/сутки. Суммарные прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод оцениваются в 256,5 тыс. м<sup>3</sup>/сутки (220,8 + 35,7), т.е. 47% от среднегодового расхода подземного стока изучаемой территории.

**Характеристика качества подземных вод.** Водоносные горизонты зоны свободного водообмена рассматриваемой территории содержат чаще пресные гидрокарбонатные магниево-кальциевые воды с минерализацией 0,2–0,5 г/дм<sup>3</sup>. Мощность зоны пресных вод меняется от 150 до 30 м и менее. В Приладожской низине, в долинах рек Волхов, Пчевжа, Черная дочетвертичные водоносные горизонты не содержат пресных вод. В Приладожской низине с поверхности развит водоупорный лонтоваский горизонт. Ниже под мощной (около 50 м) толщей «синих» глин залегает кембрийский ломоносковский водоносный горизонт, содержащий солоноватые хлоридные воды с минерализацией 3–5 г/дм<sup>3</sup>. В долине Волхова разгружаются солоноватые воды кембро-ордовикского водоносного горизонта, а на площади развития верхнедевонского саргаевско-даугавского водоносного горизонта на его правобережье развиты солоноватые сульфатные воды [9]. Эти площади не учитываются при подсчете ресурсов пресных подземных вод.

При изучении состояния подземных вод в первую очередь рассмотрим защищенность основных водоносных горизонтов от поверхностного загрязнения. При слабой или недостаточной защищенности возможность поступления загрязняющих веществ с поверхности повышается и при наличии очагов загрязнения становится реальной.

Грунтовые воды не защищены от поверхностного загрязнения практически повсеместно. Защищенность основных для водоснабжения подземных вод на территории бассейна р. Волхова на различных участках разная.

Участки с *не защищенными, условно защищенными и защищенными* (классификация В. М. Гольдберга, 1989 г.) водоносными горизонтами различаются по литологическим характеристикам, строению и мощности зоны аэрации и соотношению уровня напорных и грунтовых вод. Защищенность подземных вод оценена в зависимости от мощности слабопроницаемых отложений, выполняющих роль экрана и залегающих в кровле водоносных горизонтов. При мощности перекрывающего водоупора более 10 м или при наличии в кровле горизонта слабопроницаемых (моренных) отложений мощностью 15–20 м, водоносный горизонт считается защищенным от поверхностного загрязнения. Условно защищенные водоносные горизонты выделяются на участках, где мощность слабопроницаемого горизонта, залегающего выше водоносного, составляет 10–15 м. Не защищенные водоносные гори-

зонты, как правило, это горизонты грунтовых вод, при мощности зоны аэрации менее 20 м или слаборазносные водоносные горизонты, где перекрывающая водоупорная толща менее 5 м.

Большая часть территории, где первыми от поверхности продуктивными горизонтами являются девонские водоносные горизонты, характеризуется преимущественным развитием условно защищенных подземных вод. Это в основном правобережная часть бассейна Волхова и водосбор р. Тигоды (см. рисунок).

Защищенные участки занимают небольшие территории на юге – в районе населенных пунктов Кириши, Будогошь и Посадников Остров. Здесь мощность четвертичных моренных осадков 20–30 м.

Ордовикский водоносный горизонт при близком залегании к поверхности на Волховском плато не защищен от поверхностного загрязнения. Также не защищенными являются участки развития верхнедевонского снежско-плавского горизонта в верховьях р. Пчевжы и среднедевонского арукюласко-швянтойского горизонта в верховьях р. Тигоды.

Состояние подземных вод на рассматриваемой территории обусловлено в основном природными (геологическое строение и гидрогеологические условия) и техногенными факторами – поступлением загрязненных вод с инфильтрационным питанием.

**Грунтовые воды.** Как правило, воды неглубокого залегания, используются населением для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Чаще всего это колодцы или каптированные родники. Состав подземных вод, используемых для водоснабжения, – гидрокарбонатный кальциевый с минерализацией до  $1 \text{ г/дм}^3$  (табл. 1). Содержание основных компонентов (макрокомпонентов) грунтовых вод Волховского бассейна в 1,1–1,9 раз превышает фоновые концентрации для Ленинградской обл. Это можно объяснить гидрогеологическими условиями, когда в долинных участках бассейна мощность зоны пресных вод минимальна и из нижележащих девонских горизонтов подземных вод осуществляется подток солоноватых и соленых вод. В результате проведенного гидрохимического опробования источников питьевого водоснабжения выявлены водопункты, в которых вода не отвечает нормативным требованиям СанПиНа 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода». Колодцы каптируют грунтовые воды, которые в большинстве своем не защищены от поверхностного загрязнения. Повышенное содержание соединений азота в воде колодцев свидетельствует о бытовом характере загрязнения. Так, в дер. Рамцы концентрация  $\text{NO}_3$  в воде колодца на глубине 1,0 м составила  $126,3 \text{ мг/дм}^3$ , а в дер. Оломна – даже больше –  $159,6 \text{ мг/дм}^3$ .

Согласно гигиенической классификации СП 2.1.5.1059-01, степень влияния техногенных факторов на качество грунтовых вод оценивается как «опасное». Вода в большинстве опробованных водопунктов имеет значительную степень загрязнения, так как по нескольким определяемым компонентам не соответствует требованиям СанПиНа.

Из данных табл. 1 видно, что в грунтовых водах рассматриваемой территории вероятность систематического превышения ПДК касается среди макрокомпонентов концентрации нитрат-иона (III класс опасности), среди микроэлементов – концентрации алюминия (II класс опасности) и нефтепродуктов. Особое место среди микроэлементов занимает алюминий. Судя по полученным результатам, средняя его концентрация в грунтовых водах более чем на порядок превышает фоновую величину и в 1,7 раза выше ПДК, т.е. для Волховского бассейна характерно массовое загрязнение грунтовых вод этим элементом.

**Подземные воды основных для водоснабжения водоносных горизонтов.** Пресные воды используются населением исключительно для хозяйственно-питьевого водоснабжения при помощи водозаборных скважин или каптированных родников. Состав их – гидрокарбонатный кальциевый, кальциево-магниевый с минерализацией до  $1 \text{ г/дм}^3$  (табл. 2).



Таблица 1. Параметры химического состава грунтовых вод бассейна р. Волхова  
(данные опробования 2000–2001 гг.)

Компоненты	ПДК, мг/л	Водоносные горизонты четвертичных отложений (фон)*		Грунтовые воды бассейна р. Волхова		Геохимические коэффициенты**	
		Концентрация, мг/л		Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>		$\frac{C_{\text{сред}}}{C_{\text{фон}}}$	$\frac{C_{\text{сред}}}{\text{ПДК}}$
		<u>Средняя</u> Кол-во проб	<u>min</u> <u>max</u>	<u>Средняя</u> Кол-во проб	<u>min</u> <u>max</u>		
Сухой остаток	1000	<u>264.4</u> 315	<u>31.0</u> 3988,4	<u>477</u> 31	<u>94</u> 1060	<b>1,8</b>	<b>0,5</b>
Нефте- продукты	0,1	–	–	<u>0,28</u> 19	<u>0,06</u> 1,7	–	<b>2,8</b>
Na	200	<u>24,1</u> 313	<u>0,7</u> 407,0	<u>26,6</u> 36	<u>4,5</u> 105,6	<b>1,1</b>	0,1
Ca	400	<u>41,7</u> 310	<u>4,0</u> 314,0	<u>64,1</u> 36	<u>1,6</u> 154,7	<b>1,6</b>	0,2
Mg	–	<u>11,9</u> 310	<u>0,6</u> 405,0	<u>21,9</u> 36	<u>0,9</u> 162	<b>1,8</b>	–
Cl	350	<u>28,2</u> 316	<u>3,6</u> 707,6	<u>40,1</u> 36	<u>3,5</u> 149	<b>1,4</b>	0,1
SO <sub>4</sub>	500	<u>20,6</u> 317	<u>0,4</u> 2548	<u>39,8</u> 36	<u>6,2</u> 282	<b>1,9</b>	0,1
HCO <sub>3</sub>	–	<u>152,9</u> 317	<u>12,2</u> 890,8	<u>244</u> 36	<u>10</u> 691	<b>1,6</b>	–
NO <sub>3</sub>	45	<u>4,7</u> 317	<u>0,3</u> 576,0	<u>53,5</u> 36	<u>0,3</u> 160	<b>11,4</b>	<b>1,2</b>
Al	0,5	<u>0,0564</u> 341	<u>0,025</u> 5,71	<u>0,84</u> 7	<u>0,09</u> 1,39	<b>14,9</b>	<b>1,7</b>
Cd	0,001	<u>0,0003</u> 395	<u>0,0001</u> 0,037	<u>0,0004</u> 11	<u>0,0001</u> 0,0007	<b>1,3</b>	0,4
Cu	1,0	<u>0,0027</u> 390	<u>0,0005</u> 7,03	<u>0,059</u> 13	<u>0,008</u> 0,103	<b>21,9</b>	0,6
Fe	0,3	<u>0,3129</u> 317	<u>0,005</u> 36,0	<u>0,1</u> 25	<u>0,02</u> 0,55	0,3	0,3
Mn	0,1	<u>0,0902</u> 344	<u>0,0015</u> 35,0	<u>0,093</u> 24	<u>0,001</u> 0,4	<b>1,1</b>	0,9
Ni	0,1	<u>0,0025</u> 395	<u>0,0005</u> 0,117	<u>0,0109</u> 11	<u>0,001</u> 0,032	<b>4,4</b>	0,1
Pb	0,03	<u>0,0014</u> 397	<u>0,0002</u> 0,05	<u>0,007</u> 28	<u>0,002</u> 0,018	<b>5,3</b>	0,2
Zn	5,0	<u>0,0491</u> 398	<u>0,0025</u> 3,76	<u>0,076</u> 27	<u>0,004</u> 0,637	<b>1,5</b>	0,0

\*Яхнин Э. Я. Отчет о геолого-экологических работах на территории Ленинградской области // Фонды ГУП ПКГЭ. 1994.

\*\* Здесь и далее жирным выделено превышение геохимическими коэффициентами значения 1,0.

Содержание основных компонентов (макрокомпонентов) подземных вод дочетвертичных горизонтов бассейна реки в несколько раз (от 1,1 до 3,2) превышает фоновые концентрации для Ленинградской обл., аналогично грунтовым водам. Повышенное содержание соединений азота в воде скважин, колодцев и родников (в дер. Пчева, оно превышает ПДК) свидетельствует о слабой защищенности водоносного горизонта от загрязнения с поверхности и, следовательно, бытовом характере загрязнения. В ряде случаев (г. Волхов) и в эксплуатационных скважинах наблюдаются повышенные концентрации азотных соединений, что, скорее всего, указывает на плохое санитарное состояние скважин или не соблюдение правил зон санитарной охраны водозаборных сооружений.

В водах этих горизонтов отмечены также высокие концентрации фенолов и нефтепродуктов; эти компоненты превышают ПДК более чем в 2 раза. Сравнение концентраций микрокомпонентов с фоновыми указывает на значительные содержания алюминия, кадмия, меди и свинца, в десятки раз превышающих фон. Особенно это относится к алюминию – выше ПДК почти в 2 раза. Учитывая такие же высокие концентрации этого металла и в грунтовых водах, можно констатировать, что мы, по-видимому, имеем дело с региональным загрязнением подземных вод соединениями алюминия, что не удивительно, так как в г. Волхов имеется мощный очаг загрязнения – Волховский алюминиевый завод, работающий уже более 70 лет.

Большинство опробованных вод имеют умеренно опасную степень загрязнения, так как минимум по одному из определяемых показателей вода не соответствует требованиям СанПиНа. Такими показателями могут являться и макро-, и микрокомпоненты, что характерно для влияния сочетания двух основных факторов – наличие водоносных горизонтов, содержащих соленоватую сульфатную и хлоридно-сульфатную воду, и слабая защищенность от проникновения загрязнения с поверхности. Таким образом, природное «загрязнение» попадает в эксплуатационные горизонты снизу или сбоку, а антропогенное – сверху с инфильтрационным питанием.

Рассматриваемая территория характеризуется неравномерным распределением ресурсов пресных подземных вод, пригодных для питьевого водоснабжения, что вызвано изменчивой мощностью зоны пресных вод и различной защищенностью водоносных горизонтов от поверхностного загрязнения.

Наиболее обеспечен пресными подземными водами участок, где ордовикский водоносный горизонт залегает близко к поверхности. Однако его воды не защищены от поверхностного загрязнения. Обеспеченным подземными водами можно считать район развития среднедевонского водоносного горизонта на юго-западе территории. Здесь водопроницаемость водовмещающих пород менее  $100 \text{ м}^3/\text{сутки}$  и водоносные горизонты развиты в зоне пресных вод. К не обеспеченным пресной водой относятся предглинтовая низменность, где на дочетвертичную поверхность выходит нижнекембрийский водоупорный горизонт, и большая часть правобережья Волхова, где в зоне свободного водообмена развиты соленоватые воды.

Суммарные прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод бассейна р. Волхова в границах Ленинградской обл. составляют 220,8 тыс.  $\text{м}^3/\text{сутки}$ . Суммарные ресурсы соленоватых подземных вод оценены в 35,7 тыс.  $\text{м}^3/\text{сутки}$ . Прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод составляют 47% от среднегодового расхода подземного потока рассматриваемой территории.

Ресурсная функция подземной гидросферы нарушается деятельностью человека, которая ведет к истощению водных ресурсов. При этом в определение эксплуатационных запасов входит устойчивое качество подземных вод, таким образом, качество воды – это ресурсная категория, и в понятие истощения водных ресурсов мы вкладываем и ухудшение качества воды. Отсутствие в Волховском бассейне крупных водозаборов подземных вод не приводит

Таблица 2. Параметры химического состава подземных вод дочетвертичных водоносных горизонтов бассейна р. Волхова (данные опробования 2000–2001 гг)

Компоненты	ПДК	Водоносные горизонты ордовикских отложений (фон)*		Подземные воды бассейна р. Волхова		Геохимические коэффициенты	
		Концентрация, мг/л		Концентрация, мг/л			
		Средняя Кол-во проб	min max	Средняя Кол-во проб	min max	$\frac{C_{\text{сред}}}{C_{\text{фон}}}$	$\frac{C_{\text{сред}}}{\text{ПДК}}$
Сухой остаток	1000	–	–	$\frac{559}{21}$	$\frac{190}{1206}$	–	–
Фенолы	0,001	–	–	$\frac{0,0025}{6}$	$\frac{0,001}{0,004}$	–	2,5
Нефтепродукты	0,1	–	–	$\frac{0,23}{14}$	$\frac{0,06}{0,65}$	–	2,3
Na	200	$\frac{29,8}{51}$	$\frac{2,8}{240,8}$	$\frac{67,3}{31}$	$\frac{4,8}{259}$	2,3	0,3
Ca	400	$\frac{71,8}{54}$	$\frac{28,1}{124}$	$\frac{76,2}{31}$	$\frac{22}{143,5}$	1,1	0,2
Mg	–	$\frac{33,4}{54}$	$\frac{1,2}{65,9}$	$\frac{30,4}{31}$	$\frac{5,2}{77,2}$	0,9	–
Cl	350	$\frac{29,5}{24}$	$\frac{6,8}{234}$	$\frac{93,9}{31}$	$\frac{2,7}{652,3}$	3,2	0,3
SO <sub>4</sub>	500	$\frac{19,7}{54}$	$\frac{1,0}{296}$	$\frac{63,6}{31}$	$\frac{2,1}{458}$	3,2	0,1
HCO <sub>3</sub>	–	$\frac{377,1}{54}$	$\frac{201,4}{668,2}$	$\frac{323}{31}$	$\frac{54,3}{548}$	0,9	–
NO <sub>3</sub>	45	$\frac{8,2}{54}$	$\frac{0,5}{81,6}$	$\frac{14,5}{31}$	$\frac{0,1}{75,4}$	1,8	0,3
Al	0,5	0,025**	–	$\frac{0,94}{8}$	$\frac{0,01}{1,7}$	37,6	1,9
Cd	0,001	0,00015**	–	$\frac{0,0004}{15}$	$\frac{0,0001}{0,001}$	2,7	0,4
Cu	1,0	0,005**	–	$\frac{0,052}{9}$	$\frac{0,013}{0,066}$	10	0,0
Fe	0,30	0,76**	–	$\frac{0,55}{19}$	$\frac{0,04}{4,6}$	0,7	1,8
Pb	0,03	0,002**	–	$\frac{0,021}{20}$	$\frac{0,001}{0,059}$	10,5	0,7
Zn	5,0	0,025**	–	$\frac{0,033}{20}$	$\frac{0,002}{0,145}$	1,3	0,0

\* Яхин Э. Я. Отчет о геолого-экологических работах на территории Ленинградской области. Фонды ГУП ПКГЭ. 1994.

\*\* Средние концентрации элементов в подземных водах зоны гипергенеза взяты из работы: Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М., 1998.

к снижению уровня подземных вод, т.е. к уменьшению их эксплуатационных ресурсов или модуля подземного стока. Вместе с тем происходит заметное ухудшение их качества в связи с загрязнением, связанным со значительной техногенной нагрузкой на территорию.

В целом степень влияния техногенных факторов на качество подземных вод оценивается как «опасное», согласно гигиенической классификации по СП 2.1.5.1059-01. Это выражает-

ся в «стабильном превышении нормируемыми компонентами фоновых показателей при их максимальных уровнях более ПДК». Пресные подземные воды основных для водоснабжения водоносных горизонтов бассейна в настоящее время уже имеют значительную степень загрязнения, так как средние концентрации нескольких нормируемых показателей постоянно превышают не только фоновые значения, но и ПДК, т.е. вода не соответствует нормативным требованиям СанПиНа, например:

Геохимические коэффициенты	NO <sub>3</sub>	Al	Cu	Fe	Pb	Нефте-продукты	Фенолы
C <sub>средн</sub> /C <sub>фон</sub>	1,8	37,6	10,0	0,7	10,5	–	–
C <sub>средн</sub> /ПДК	0,3	1,9	–	1,8	0,7	2,3	2,5

Таковыми показателями являются и макро-, и микрокомпоненты, что характерно для сочетания двух основных факторов – наличие водоносных горизонтов, содержащих солоноватые воды, разгружающихся в горизонты, которые используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения, и недостаточная защищенность от загрязнения с поверхности.

На территории бассейна Волхова ресурсы пресных вод удовлетворяют водопотребность преимущественно мелких водопотребителей. Крупные водопотребители, такие как города Волхов, Кириши, Новая Ладога, не могут быть полностью обеспечены пресными подземными водами. Ресурсы солоноватых и соленых вод, развитых как с поверхности, так и в более глубоких горизонтах разреза, могут быть использованы в бальнеологии и курортном деле.

Подземная гидросфера территории бассейна р. Волхова имеет значительный ресурсный потенциал, но под влиянием антропогенного воздействия происходит его региональное изменение (снижение).

## Summary

*Shebesta A. A., Shebesta E. A.* Change of resource function of groundwater in the water-collecting area of Volkhov.

The problems of reduction of resources of fresh groundwater in a water-collecting area of Volkhov are considered. The pool of Volkhov has significant resource potential (the average module of an effluent runoff – 0,62 l/s·km<sup>2</sup>), but regional reduction of resources of groundwater occurs under influence of man impact. The absence in the Volkhov pool of large drawoffs of groundwater does not result in lowering a level of groundwater, that is to reduction of their operational resources or the module of an effluent runoff. At the same time there is an appreciable deterioration of groundwater in connection with anthropogenic pollution. Concentration Al, Fe, mineral oil and phenols in groundwater exceed Maximum Permissible Concentration for potable water. The resource function of a underground hydrosphere is broken by human activity which leads to an exhaustion of water resources.

## Литература

1. Кирюхин В. А. Экологические проблемы региональной гидрогеологии // Современные проблемы гидрогеологии и гидрогеомеханики: Сб. докл. конференции. СПб., 2002.
2. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:1 000 000 (нов. сер.). Лист О-(35),36. Ленинград. Объяснит. зап. / Отв. ред. А. С. Яновский. Л., 1989.
3. Гречко А. Е. Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Сер. Ильменская. Листы Р-36-XXXII, XXXIII. М., 1972.
4. Недригайлова И. С., Соколова Т. Н., Саванин В. С. Геологическая и гидрогеологическая карты СССР масштаба 1:200 000. Сер. Ильменская. Лист О-36-II. Объяснит. зап. М., 1986.
5. Селиванова В. А., Курбатова Н. Г., Саванин В. С. Геологическая и гидрогеологическая карты СССР масштаба 1:200 000. Сер. Ильменская. Лист О-36-III. Объяснит. зап. М., 1979.
6. Яновский А. С., Недригайлова И. С., Анищенко О. Н., Гречко А. Е. Геологическая и гидрогеологическая карты СССР масштаба 1:200 000. Сер. Ильменская. Листы Р-36-XXXII, Р-36-XXXIII. Объяснит. зап. М., 1978.
7. Гидрогеология СССР. Т. III: Ленинградская, Псковская и Новгородская области / Отв. ред. И. К. Зайцев. М., 1967.
8. Геология СССР. Т. 1: Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Полезные ископаемые / Отв. ред. В. А. Селиванова. М., 1975.
9. О состоянии окружающей природной среды Санкт-Петербурга и Ленинградской области в 1999 году: Гос. докл. СПб., 2000.

Статья поступила в редакцию 15 декабря 2004 г.