

«Нарзан-2015»

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 55.556

### СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

*И.С. ЗЕКЦЕР, О.А. КАРИМОВА, А.В. ЧЕТВЕРИКОВА*

*Институт водных проблем РАН  
119333, Россия, г. Москва, ул. Губкина, 3; e-mail: zektser@aqua.laser.ru*

Кратко охарактеризована роль пресных подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении крупных городов России, проведена сравнительная оценка запасов и использования подземных вод на различные цели в России и США. Обращено внимание на проседание земной поверхности под влиянием крупного водоотбора подземных вод. Оценена возможность использования пресных подземных вод для водообеспечения городского населения в условиях чрезвычайных ситуаций в настоящее время и дан прогноз до 2030 г. При этом на основании существующей потребности в питьевой воде (с учётом возможных изменений численности населения городов и установленных законодательством норм водопотребления) и наличии утверждённых запасов пресных подземных вод выполнен ориентировочный анализ обеспечения городов запасами пресных подземных вод при различной продолжительности чрезвычайных ситуаций. Обоснован вывод о необходимости создания системы резервного водоснабжения населения за счёт защищённых от загрязнения пресных подземных вод.

Ключевые слова: утвержденные запасы пресных подземных вод; хозяйственно-питьевое водоснабжение; прогнозная обеспеченность подземными водами.

### USE OF THE FRESH GROUNDWATER FOR THE CITIES WATER SUPPLY: CURRENT STATE OF AFFAIRS AND PROSPECTS

*I.S. ZEKTSER, O.A. KARIMOVA, A.V. CHETVERIKOVA*

*Water problems Institute RAS  
119333, Russia, Moscow, Gubkina street, 3; e-mail: zektser@aqua.laser.ru*

A brief description of the role of fresh groundwater in drinking water supply of large cities of Russia and the comparative evaluation of groundwater resources and the use of groundwater for various purposes in Russia and the United States are given. Land subsidence under the influence of large groundwater withdrawal is characterized. The assessment of the possibility of the fresh groundwater use for the urban water supply in emergency situations, both in current conditions as well as a forecast for the 2030, is given. On the basis of existing needs for drinking water and the availability of approved groundwater resources, the approximate prediction of groundwater supply for cities is made for different emergency situations. Possible changes in the population of cities and established water consumption rates are taken into account. The conclusion about the necessity of creation of a backup system of water supply based on fresh groundwater protected from contamination is justified.

Key words: groundwater resources; drinking water supply; the forecasted availability of groundwater.

### Ресурсы и использование пресных подземных вод России

В настоящее время в России, как и в других странах мира, большое внимание уделяется использованию пресных подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения (ХПВ). Подземные воды, как источник водоснабжения, имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с поверхностными водами: высокое качество и большая защищенность от загрязнения и заражения; меньшая подверженность многолетним и сезонным колебаниям, связанным с климатической цикличностью и водностью отдельных лет; как правило, более широкое распространение. Важен и экономический аспект: ввод в эксплуатацию водозаборов подземных вод может осуществляться постепенно по мере роста потребности в воде, в то время как строительство гидротехнических сооружений (водохранилищ, каналов и др.) требует крупных единовременных затрат.

Подземные воды — основной источник водоснабжения во многих странах Европы: в Австрии, Бельгии, Венгрии, Литве, Германии, Белоруссии, Дании, Румынии, Швейцарии и бывшей Югославии доля подземных вод в ХПВ составляет более 70 %, а в Болгарии, Италии Нидерландах, Португалии, Франции, Чехии и Словении — 50—70 %. Во многих крупных европейских городах подземные воды — широко используются для ХПВ. Так, полностью или почти полностью на подземных водах основано водоснабжение городов: Гамбурга, Будапешта, Вены, Копенгагена, Мюнхена, Рима, Мин-

ска, Вильнюса, а в Амстердаме, Брюсселе, Лиссабоне подземные воды покрывают больше половины потребности в воде для ХПВ [1, 2, 7, 10].

Общие прогнозные ресурсы подземных вод с минерализацией до 3 г/л на территории России составляют 869,1 млн м<sup>3</sup>/сут. По субъектам Российской Федерации прогнозные ресурсы подземных вод распределены неравномерно и изменяются от 0,1 до 94,7 млн. м<sup>3</sup>/сут. При этом наибольшие прогнозные ресурсы приурочены к Ханты-Мансийскому автономному округу (94,7 млн. м<sup>3</sup>/сут.), Республике Коми (69,3 млн. м<sup>3</sup>/сут.), Томской области (59,7 млн. м<sup>3</sup>/сут.) и Камчатскому краю (50,0 млн. м<sup>3</sup>/сут.), а наименьшие отмечены на территории Мурманской области (0,37 млн. м<sup>3</sup>/сут.), Карелии (0,13 млн. м<sup>3</sup>/сут.) и Калмыкии (0,11 млн. м<sup>3</sup>/сут.). На территории России по состоянию на 01.01.2014 г. разведано 13157 месторождений подземных вод, из которых в эксплуатации находится только 63 %. Общие утвержденные запасы подземных вод составляют 91,4 млн. м<sup>3</sup>/сут., из которых 15 % приходится на Московскую область и Краснодарский край [3]. Наглядное соотношение прогнозных ресурсов, утвержденных запасов и использования подземных вод приведено на рис. 1. Общая количественная характеристика запасов подземных вод и их использования по федеральным округам приводится в табл. 1 [7].

Приведенное выше сравнение запасов пресных подземных вод и их использование свидетельствует об их избытке в России, и поэтому даёт основание некоторым специалистам и особенно неспециалистам делать вывод о возможности прекращения

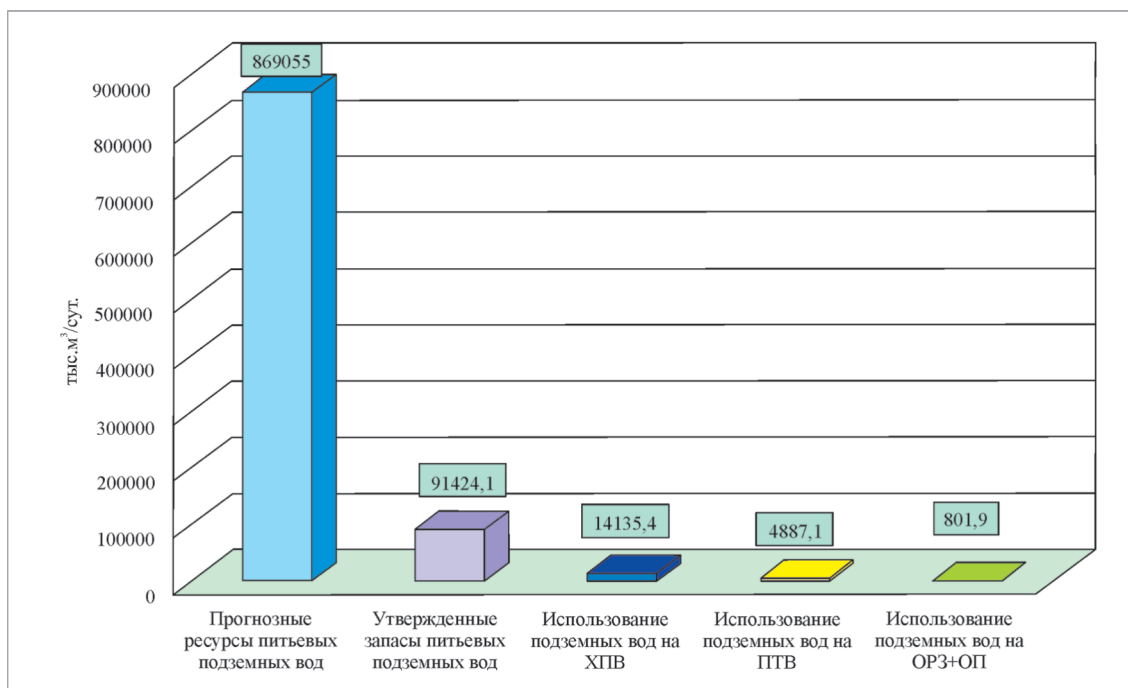


Рис. 1. Соотношение ресурсов и использования пресных подземных вод на территории России: ХПВ — хозяйственно-питьевое водоснабжение; ПТВ — промышленное водоснабжение; ОРЗ+ОП — орошение земель и обводненные пастбища

Общая характеристика запасов подземных вод и их использования по федеральным округам [7]

Федеральный округ	Прогнозные ресурсы, тыс. м <sup>3</sup> /сут.	Утвержденные запасы подземных вод, тыс. м <sup>3</sup> /сут.	Добыча подземных вод на месторождениях, тыс. м <sup>3</sup> /сут.	Степень разведанности утвержденных запасов подземных вод, %
Центральный	74055,0	27851,1	5351,7	19,2
Северо-Западный	117704,0	4939,1	575,2	11,6
Приволжский	84738,0	17226,2	2412,0	14,0
Южный	16945,0	8735,4	1321,2	15,1
Северо-Кавказский	22904,0	7342,3	656,3	8,9
Уральский	142575,0	5696,2	1292,3	22,7
Сибирский	250902,0	13707,9	1589,0	11,6
Дальневосточный	159232,0	5925,9	600,1	10,1

поисково-разведочных работ и изучения условий формирования запасов подземных вод. Такое утверждение принципиально неверно по следующим соображениям. Превышение утвержденных запасов подземных вод над их использованием справедливо только для крупных территорий — федеральных округов, областей, крупных субъектов федерации и страны в целом. При этом не учитывается большая неравномерность распределения ресурсов подземных вод, что наглядно проявляется при оценке водообеспеченности подземными водами отдельных городов.

В России насчитывается 76 крупных городов с населением более 250 000 чел. в каждом. При этом водоснабжение населения хозяйственно-питьевой водой в 26 городах почти полностью основано на использовании подземных вод, в 27 городах — на поверхностных водах (использование подземных вод менее 10 %), в остальных городах применяют поверхностные и подземные воды совместно. В городах с населением менее 100 тыс. человек в каждом и в сельских населенных пунктах европейской части России питьевое водоснабжение почти полностью основано на подземных водах.

### Использование пресных подземных вод в России и США

Представляет интерес сравнение данных по ресурсам пресных подземных вод в России и в США. При этом для России использованы материалы Государственного доклада [5], а для США — данные за 2010 г., любезно предоставленные авторам настоящей статьи Геологической службой США, по территории страны в целом и её отдельных штатов (рис. 2) [13]. Общая картина выглядит таким образом: из общего количества утвержденных запасов подземных вод 91,4 млн м<sup>3</sup>/сут. в России добывается и используется на ХПВ лишь 14,4 млн м<sup>3</sup>/сут., т. е. около 15 %, а в США из общего количества подземной воды в 2372,6 млн м<sup>3</sup>/сут. используется 1322,7 млн м<sup>3</sup>/сут., т. е. более 50 %. Если сравнивать использование только пресных подземных вод

для водоснабжения населения, то в США оно в 4 раза выше, чем в России.

Наиболее наглядно различие в использовании пресных подземных вод в России и в США видно на рис. 2 и 3. Так, в США на орошение земель и обводнение пастбищ подземной воды расходуется примерно в 310 раз больше, чем в России (соответственно 197,4 млн и 0,63 млн м<sup>3</sup>/сут.).

При обсуждении современного состояния и перспектив использования пресных подземных вод в России часто возникает вопрос: почему использование подземных вод на орошение столь незначительно (порядка 2 % от общего отбора подземных вод)? Незначительное использование объясняется двумя обстоятельствами. Во-первых, большинство сельскохозяйственных земель в России находятся в благоприятных природно-климатических условиях (за исключением районов распространения многолетней мерзлоты с неблагоприятными природными условиями), где не требуется искусственное орошение или имеются значительные ресурсы поверхностных вод. Во-вторых, и это особенно важно подчеркнуть, в России, как и ранее в СССР, существует строгое водное законодательство. Согласно законам, закрепленным в Водном кодексе России, пресные подземные воды высокого качества могут и должны использоваться в

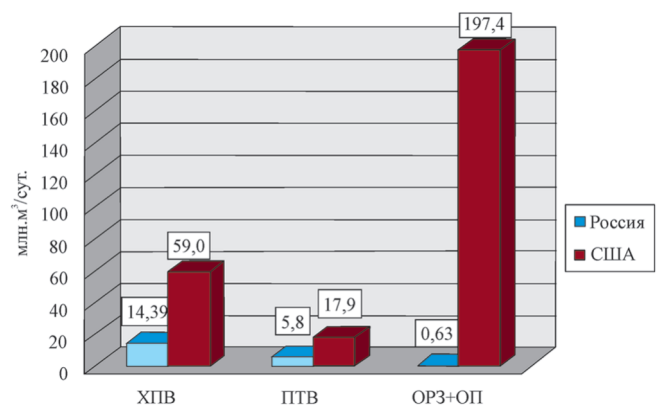


Рис. 2. Использование пресных подземных вод (м<sup>3</sup>/сут.) в России (2011 г.) и США (2010 г.)

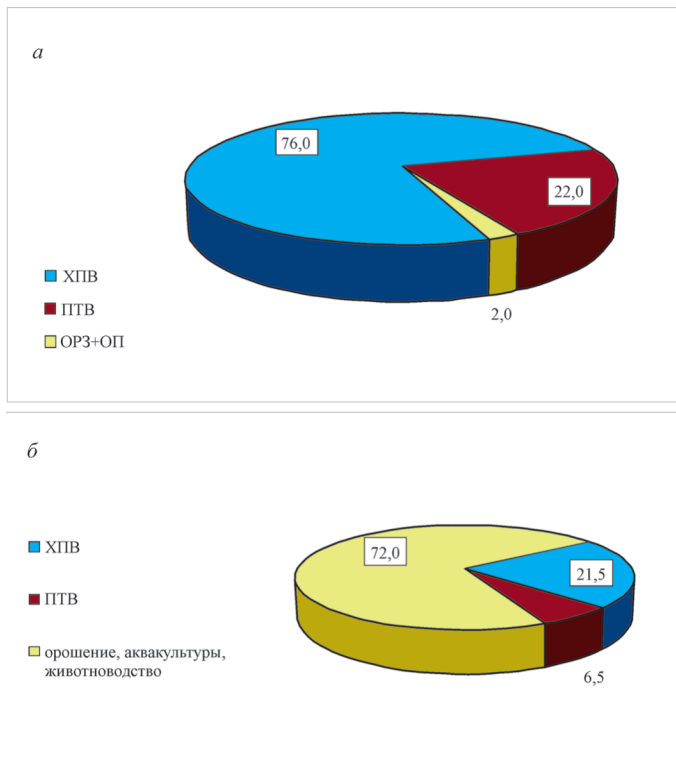


Рис. 3. Использование подземных вод (%) в России (2011 г.) и США (2010 г.)

основном для ХПВ. И только в тех случаях, когда имеются достаточные ресурсы подземных вод для водоснабжения населения в настоящее время и на перспективу, возможно использование подземных вод на иные цели, не связанные с ХПВ (орошение земель, промышленное водоснабжение) по специальному разрешению государственных природоохранных органов. Такие принципы правильные. Необходимо стремиться к использованию поверхностных вод для целей, не связанных с ХПВ (в частности, для орошения), даже в тех случаях, когда это дороже, чтобы сохранить экологически чистые ресурсы пресных подземных вод питьевого качества для будущих поколений.

Подобная позиция в настоящее время разделяется учеными и специалистами многих стран и поддерживается решениями ряда международных съездов, симпозиумов и конференций по водным ресурсам. В ряде стран орошаемое земледелие стремятся перевести на использование поверхностных вод. Например, в штате Калифорния (США) в 1980—1990-е гг. на орошение использовалось 85 % отбираемой подземной воды, а в настоящее время эта доля значительно снизилась [7].

#### Проседание земной поверхности под влиянием крупного водоотбора подземных вод

При решении вопросов увеличения отбора подземных вод на действующих водозаборах или расчёта допустимых понижений уровня на новых

проектируемых водозаборах всегда важно помнить, что подземные воды являются не только важным и единственным возобновляемым полезным ископаемым, но и компонентом окружающей среды. Изменения в режиме и балансе эксплуатируемого водоносного горизонта под влиянием крупного отбора подземных вод могут привести к негативным последствиям в других компонентах окружающей среды.

Наиболее значительное экологическое воздействие крупного отбора подземных вод, помимо снижения их уровня и образования депрессионных воронок — изменение взаимосвязи между подземными и поверхностными водами, что в ряде случаев приводит к негативным последствиям в окружающей среде. Такие последствия проявляются в уменьшении и даже прекращении подземного питания рек и сокращения меженного стока (в условиях работы береговых водозаборов подземных вод так называемого инфильтрационного типа, расположенных вблизи рек), проседании земной поверхности, угнетении или гибели растительности в результате осушения корнеобитаемого слоя почвы и др.

Рассмотрим кратко одно из слабоизученных в России геоэкологических явлений — проседание земной поверхности в результате крупного отбора подземных вод.

Впервые обратили серьезное внимание на проблему опускания земной поверхности в результате откачки подземных вод, нефти и газа японские специалисты. В Японии в северо-восточной части Токио еще в начале 1980-х гг. зарегистрировано снижение земной поверхности на 4,5 м по сравнению с 1920 г. [8]. При этом возникла серьезная угроза затопления города нагонными морскими водами в период штормов. Аналогичные проблемы возникли в г. Осака, где максимальное опускание поверхности достигло 3 м [7].

В общем виде развитие оседания поверхности земли при крупном водоотборе подземных вод зависит от ряда факторов: геолого-гидрогеологических условий территории, интенсивности откачки, величины понижений уровней и напоров, значений напорных градиентов, мощности сжимаемых толщ, характеристик сжимаемых пород и др.

Как известно, в районах крупных откачек подземных вод формируются обширные понижения пьезометрических уровней (депрессионные воронки), охватывающие часто площади в десятки и сотни квадратных километров. Понижение пьезометрических уровней подземных вод и изменение пластовых давлений вызывают изменения напряжений в горных породах, скоростей, а иногда и направлений движения подземных вод, что увеличивает интенсивность суффозионных и карстовых процессов. В одних условиях понижения уровней приводят к оседанию поверхности земли, в дру-

гих — к образованию провалов. Наиболее широко распространены оседания на тех территориях, где подземные воды заключены в хорошо проницаемых песчано-гравелистых породах с небольшой сжимаемостью, которые переслаиваются с глинистыми слабопроницаемыми, но хорошо сжимаемыми отложениями. При откачке снижается напор подземных вод, что увеличивает эффективное давление на «скелет» грунта и приводит к уплотнению сжимаемых отложений, а как следствие — к оседанию земной поверхности.

В [8] описаны многочисленные случаи оседания и провалов поверхности, вызванные интенсивной эксплуатацией подземных вод в США (3,0—3,5 м в Калифорнии), Мексике (10,5 м в Мехико), в Италии (10,7 м в Венеции) и т. д. Это вызвало необходимость значительного сокращения отбора подземных вод и сооружения специальных берегозащитных конструкций.

### Обеспеченность крупных городов России запасами пресных подземных вод

Под обеспеченностью городского населения запасами пресных подземных вод понимается отношение разведанных и утвержденных эксплуатационных запасов подземных вод к современной или перспективной потребности в воде для ХПВ отдельных крупных и средних городов. Нами введены три градации обеспеченности подземной во-

дой: 1) надёжно обеспеченные — города, для которых запасы подземных вод превышают потребность более чем в 2 раза, 2) достаточно обеспеченные — города, для которых превышение запасов подземных вод над потребностью не более чем в 2 раза и 3) необеспеченные города. Расчеты выполнены на основании данных о численности населения в 2015 г. и норм водопотребления на 1 человека в современных условиях (от 220 до 280 л/сут. в различных климатических зонах России) [11]. Сравнение потребности населения в воде для ХПВ и утвержденных запасов пресных подземных вод приведены на рис. 4. Результаты расчёта обеспеченности населения 16 крупных и средних городов, выбранных экспертным путем из всех федеральных округов России показывают, что города Москва (с учетом новых разведанных месторождений, указанных выше), Санкт-Петербург, Астрахань, Ростов-на-Дону, Набережные Челны, Ижевск, Пермь, Екатеринбург, Челябинск, Новосибирск и Омск в 2015 г. не обеспечены утвержденными запасами пресных подземных вод; города Рязань, Махачкала и Тюмень — достаточно обеспечены, а города Красноярск и Хабаровск надёжно обеспечены.

Выполнены также прогнозные расчёты обеспеченности населения этих городов в 2030 г. с учётом возможного изменения численности населения. Возможная численность населения ориентировочно определена на основе анализа существующих

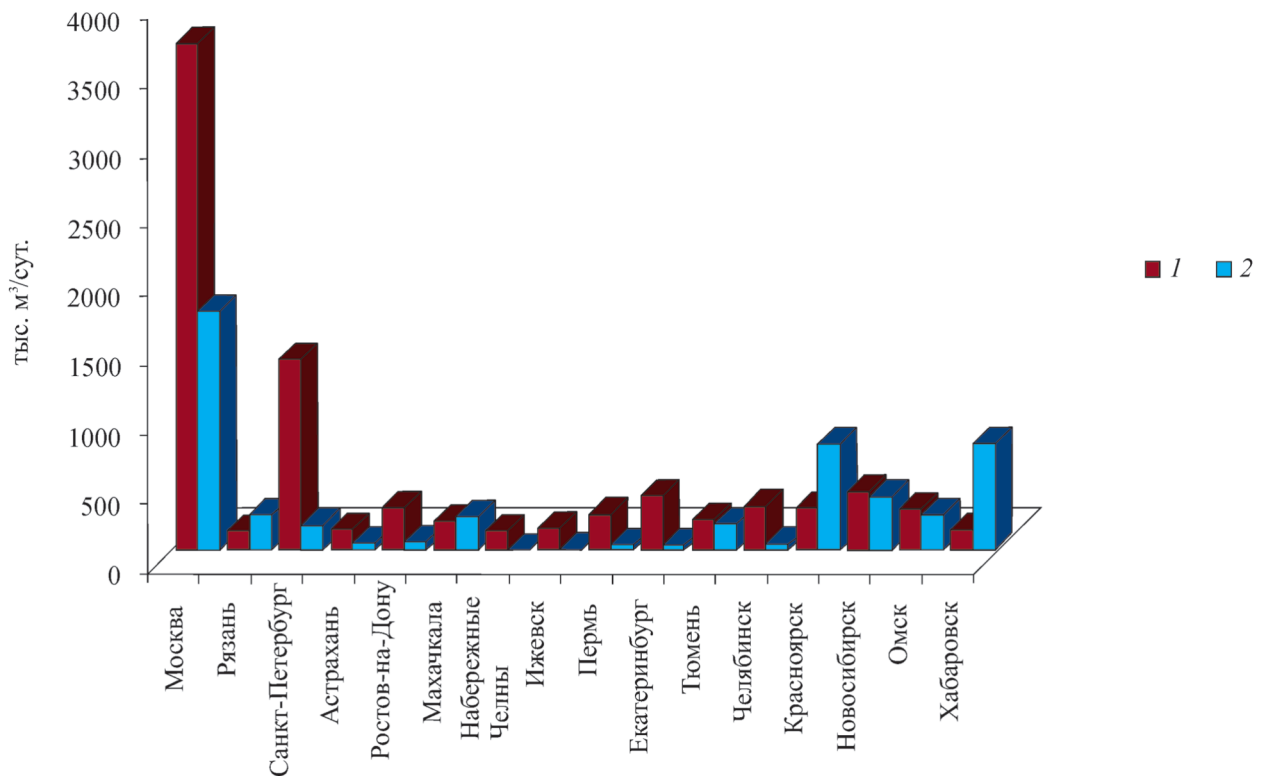


Рис. 4. Сравнение потребности населения в ХПВ в «нормальных» условиях (1) и утвержденных запасов пресных подземных вод (2)

методологических подходов к оценке численности населения [12]. При этом экспертным путём было решено использовать для прогноза численности населения на период до 2030 г. метод экспертных оценок, основанный на учёте в расчётных зависимостях таких изменяющихся во времени статистических характеристик, как средний абсолютный прирост, средний темп роста и прироста населения [6]. Полагая такие характеристики неизменными на период с 2014 по 2030 гг. и равными их средним значениям за предыдущий период (с 1998 по 2014 гг.), можно найти численность населения в будущем. Результаты расчёта прогнозной обеспеченности населения указанных городов отличаются только для г. Тюмень, который из разряда достаточно обеспеченных городов перешел в разряд необеспеченных.

Особо важное практическое значение имеют оценки обеспеченности городского населения пресными подземными водами в периоды чрезвычайных ситуаций (ЧС), под которыми понимаются природные и техногенные катастрофы, аварии, наводнения, разрушения трубопроводов, экстремальное загрязнение поверхностных вод, теракты и другие причины, приводящие к выходу из строя

системы водоснабжения за счёт поверхностных водоисточников. В этих условиях пресные подземные воды остаются единственным источником ХВП населения.

Результаты расчётов водообеспеченности указанных городов при ЧС продолжительностью 10, 30 и 100 сут. и нормах водопотребления 31–49,6 л/сут. на человека [4] приведены в табл. 2. Расчёты показывают, что города Москва, Рязань, Махачкала, Тюмень, Красноярск, Новосибирск, Омск, Хабаровск в 2015 г. надёжно обеспечены утвержденными запасами пресных подземных вод при любой продолжительности ЧС (10, 30 и 100 сут.), а города Набережные Челны, Ижевск, Пермь, Екатеринбург, Челябинск не обеспечены утвержденными запасами в период ЧС.

Следует отметить, что выполненная оценка носит приближённый характер по следующим причинам: 1) при расчётах численности населения в указанных городах отдельно не учтены (и в настоящее время это невозможно) миграционные процессы, усилившиеся в последние годы, и прежде всего миграцию населения из сельской местности в города и миграцию из бывших союзных республик в Россию; 2) в соответствии с существовавшими и

Таблица 2

Обеспеченность отдельных городов Российской Федерации утвержденными запасами питьевых подземных вод в период ЧС с различной продолжительностью на период до 2030 г.

Город	Численность населения, тыс. чел. 2030 г.	Потребность при ЧС, тыс. м <sup>3</sup>			Обеспеченность утвержденными запасами подземных вод		
		10 сут.	30 сут.	100 сут.	10 сут.	30 сут.	100 сут.
Москва	14612,3	4529,8	13589,4	45298,1	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен
Рязань	527,5	163,5	490,6	1635,3	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен
Санкт-Петербург	5480,4	1698,9	5096,8	16989,2	Достаточно обеспечен	Достаточно обеспечен	Достаточно обеспечен
Астрахань	571,7	230,4	691,2	2304,0	Достаточно обеспечен	Достаточно обеспечен	Достаточно обеспечен
Ростов-на-Дону	1199,6	483,4	1450,3	4834,4	Достаточно обеспечен	Достаточно обеспечен	Достаточно обеспечен
Махачкала	819,4	330,2	990,7	3302,2	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен
Набережные Челны	523,9	259,9	779,6	2598,5	Не обеспечен	Не обеспечен	Не обеспечен
Ижевск	620,1	307,6	922,7	3075,7	Не обеспечен	Не обеспечен	Не обеспечен
Пермь	1031,3	511,5	1534,6	5115,2	Не обеспечен	Не обеспечен	Не обеспечен
Екатеринбург	1550,4	769,0	2307,0	7690,0	Не обеспечен	Не обеспечен	Не обеспечен
Тюмень	858,4	425,8	1277,3	4257,7	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен
Челябинск	1254,2	622,1	1866,2	6220,8	Не обеспечен	Не обеспечен	Не обеспечен
Красноярск	1195,7	593,1	1779,2	5930,7	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен
Новосибирск	1696,4	841,4	2524,2	8414,1	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен
Омск	1173,2	581,9	1745,7	5819,1	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен
Хабаровск	587,2	291,3	873,8	2912,5	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен	Надёжно обеспечен

существующими правилами разведанные запасы пресных подземных вод оцениваются и утверждаются на 25 лет эксплуатации. Для ряда водозаборов этот срок истёк, и необходимо провести переоценку и переутверждение запасов подземных вод на действующих водозаборах с учётом имеющегося опыта их эксплуатации.

Приведенные выше результаты оценок — ориентировочные и характеризуют в основном масштаб события, однако они свидетельствуют о не-

обходимости прогноза численности населения крупных и средних городов Российской Федерации на ближайшую и отдаленную перспективу, а также разработки мероприятий по созданию резервных источников водоснабжения городов, не обеспеченных утвержденными запасами подземных вод в условиях ЧС как в современных условиях, так и в перспективе.

Статья выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-17-00791.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Боровский Б.В. и др. Состояние проблемы изучения и оценки ресурсов пресных подземных вод // Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод. М.: Науч. мир, 2013. С. 21–25.
2. Боровский Б.В., Данилов-Данильян В.И., Зекцер И.С., Палкин С.В. Использование пресных подземных вод для улучшения водообеспеченности городского населения // Сб. науч. тр. Всерос. науч. конф. «Устойчивость водных объектов, водосборных и прибрежных территорий; риски их использования». Калининград: Капрос, 2011. С. 55–62.
3. Данилов-Данильян В.И., Зекцер И.С. Ресурсы подземных вод и возможности их использования в Арктической зоне России. Современные производительные силы. От догоняющего к опережающему развитию. К 100-летию Совета по изучению производительных сил // Спецвыпуск: Арктика. Стратегия и приоритеты развития. М.: СОПС, 2015, № 3. С. 103–112.
4. ГОСТ 22.3.006-87 В «Система стандартов Гражданской обороны СССР. Нормы водообеспечения населения». Режим доступа: [http://prokvo.ru/load/gosty/gost\_223006\_87\_v\_quot-sistema\_standartov\_grazhdanskoj\_oborony\_sssr\_normy\_vodoob-espechenija\_naselenijaquot/11-1-0-219] — дата обращения: 20.04.2015.
5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году». М.: Министерство природных ресурсов и экологии, 2015. Режим доступа: [http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/b27/gosdoklad\_2015.pdf] — дата обращения: 14.12.2015.
6. Зекцер И.С., Каримова О.А., Четверикова А.В. Ресурсы пресных подземных вод России и их использование в чрезвычайных ситуациях // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 4. С. 351–366.
7. Зекцер И.С. Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод. Современное состояние и перспективы использования в России. М.: Науч. мир, 2012. 428 с.
8. Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М.: Науч. мир, 2001. 327 с.
9. Информационный бюллетень Федерального агентства по недропользованию о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2013 г. Вып. 37. М.: ООО «Геоинформмарк», 2014. 226 с.
10. Подземные воды мира: ресурсы, использование, прогнозы / Под ред. И.С. Зекцера М.: Наука, 2007. 437 с.
11. Свод Правил 31.13330.2012. «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Water supply. Pipelines and portable water treatment plants. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84. Режим доступа: [http://docs.cntd.ru/document/1200093820] — дата обращения: 04.09.2015.
12. Статистика населения с основами демографии / Г.С. Кильдышев, Л.Л. Козлова, С.П. Ананьева. М.: Финансы и статистика, 1990. 312 с.
13. Water Resources of the United States режимдоступа: [http://www.usgs.gov/water/] — дата обращения: 15.12.2015.

УДК 624.191.9

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА

Е.Ю. КУЛИКОВА

*Горный институт НИТУ «МИСУС»  
119991, Россия, г. Москва, Ленинский просп., 6; e-mail: fragrante@mail.ru*

Представлена методика, позволяющая на основе комплексных исследований прочностных и фильтрационных характеристик несущих конструкций подземных сооружений решить задачи выявления условий образования дефектов и наметить мероприятия по повышению качества бетонных обделок. Для определения возможных пределов изменения водонепроницаемости бетона несущих конструкций подземных сооружений определено отклонение величины коэффициента фильтрации бетона от средней величины или коэффициент вариации. Найденный коэффициент вариации позволяет определить расчётную величину коэффициента фильтрации, которая должна закладываться в фильтрационный расчёт обделок. Чем выше величина коэффициента вариации, тем неоднороднее обделка, тем выше вероятность образования течи. Выявлены зоны, где обделка будет фильтровать воду из-за недостаточной плотности, и безопасная в этом отношении зона

Ключевые слова: прочность; фильтрация; фильтрационная надёжность; пространство; течь; подземное сооружение; математическая статистика.