

УДК. 556.388.556.18

**В. В. Яковлев, В. Д. Лищина**

(ООО «Лаборатория качества воды «ПЛАЯ»)

**М. В. Бабаев**, канд. геол.-мин. наук, **А. Г. Васенко**, канд. биол. наук, доц.  
(УКРНИИЭП)

## **ИСТОЧНИКИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ХАРЬКОВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУЧЕВЫХ ВОДОЗАБОРОВ**

*С целью обеспечения качества питьевой воды для населения Харькова, снижения затрат на транспортировку хозяйственно-бытовой воды в город и ее кондиционирование предложен ряд инновационных мероприятий. Рассмотрены условия обустройства лучевых водозаборов в пределах акватории Печенежского водохранилища с перспективой полного обеспечения Харькова органолептически кондиционной и бактериально здоровой водой.*

**Ключевые слова:** лучевой водозабор, питьевая вода, хозяйственно-бытовое водоснабжение, Печенежское водохранилище.

Дефицит пресной воды в XXI столетии стал одной из наиболее острых мировых проблем, особенно актуальной для стран, где водные ресурсы ограничены климатическими факторами. Но и в странах с достаточными водными ресурсами проблемы возникают с их загрязнением. В первую очередь это касается поверхностных вод, деградация качества которых связана с тотальным воздействием коммунальной сферы, промышленности, сельского хозяйства, транспортных систем.

Пресные подземные воды являются более защищенным и качественным ресурсом, и вся история человечества, начиная с древнего Рима, связана с безуспешными попытками обустройства подземных водозаборов разных систем. Однако мировая практика водоснабжения во второй половине XX столетия показала, что в крупных городах с населением более нескольких сот тысяч человек подземные источники не обеспечивают всех потребностей коммунальной сферы и промышленности. Рост населения, особенно городского, привел к вынужденному широкому привлечению воды из рек и водохранилищ, что в условиях современного возрастающего загрязнения поверхностных вод еще более обостряет проблему качества питьевой воды. Задачей настоящей работы является попытка найти радио-

нальный выход из ресурсного тупика, в котором оказалось питьевое водоснабжение на примере полуторамиллионного города Харькова.

Системной ошибкой развития водоснабжения СССР был курс на количественные показатели водопотребления, несмотря на увеличивающиеся потери воды в водопроводных сетях, что указывает на отношение к воде как к бросовому ресурсу, не подлежащему учету. Расточительное использование было возможно только при экстенсивном вовлечении все новых источников воды, что, однако, имеет свои физические пределы. Быстрее всего эти пределы достигались в наименее обеспеченных водой регионах, в число которых входит и Украина. В пределах Украины первыми дефицит воды ощутили южные области и крупные города.

В 70-х годах прошлого столетия были приняты решения, окончательно переориентировавшие водоснабжение растущего миллионного Харькова на поверхностные источники воды. Таковыми стали воды р. Северский Донец, использование которых началось в 1938 г., и воды р. Днепр, с 1974 г. подаваемые по трубопроводу от канала Днепр–Донбасс (из Краснопавловского вдхр.). В количественном отношении эти источники достаточны, проблема состоит в затратности перекачки воды на расстояние около 40 км из Северского Донца и около 320 км из Днепра и технологической сложности устранения взвешенных веществ и цветения речных вод. А поскольку эти затраты определяются объемом подаваемой воды, то вопрос удельного водопотребления (на душу населения) здесь ключевой. По данным статистической отчетности 2-ТП «Водхоз» за 2014 год, подача воды в харьковский водопровод составляет 618 тыс. м<sup>3</sup>/сут. (из которых более 98 % – это перекачиваемая вода из вышеуказанных источников, а остальные 2 % – вода из артезианских скважин), что в расчете на каждого из 1 453 тыс. жителей составляет 425 л/сут., из которых нужды промышленных предприятий составляют не более 25 %. Здесь необходимо обратиться к опыту развитых стран.

История развития Европы является примером борьбы за выживание в условиях сокращения и дефицита ресурсов, в том числе и водных. Именно ресурсные ограничения обуславливают меньшие (по сравнению с Украиной) удельные показатели водопотребления в Восточной Европе в два раза, а в Западной – в три. Наиболее

экономной является система водоснабжения в странах с наибольшим дефицитом кондиционных пресных вод. Так, в ряде крупных европейских городов уже в 80-х годах XX столетия потребление воды на одного жителя составляло 88...130 л/сут. [6]. По определению ООН, государство, водные ресурсы которого не превышают 1,5 тыс. м<sup>3</sup> на одного человека, считается необеспеченным водой. В Украине на одного жителя в маловодный год приходится 0,5 м<sup>3</sup> (с учетом транзитного стока – около 1 тыс. м<sup>3</sup>). Обеспеченность ее водой в 4 раза меньше среднемирового показателя. Для сравнения: в Польше – 1,4 тыс. м<sup>3</sup>, Франции – 2,9 тыс. м<sup>3</sup>, Беларуси – 3,3 тыс. м<sup>3</sup>, России – 25,4 тыс. м<sup>3</sup>. Таким образом, Украина принадлежит к недостаточно обеспеченным водой странам. При этом затраты свежей воды в Украине на единицу произведенной продукции значительно превышают такие же показатели в развитых странах Европы: в Германии – в 4,3 раза, Великобритании и Швеции – в 4,2 раза, Франции – в 2,5 раза. Поэтому вопрос экономии водных ресурсов в нашей стране столь же важен, как и в развитых странах.

Основными факторами нерационального, расточительного использования воды являются утечки из водопроводной сети (в разные годы, по данным [5] и статистической отчетности 2-ТП «Водхоз», составлявшие 33...40 % от подачи), использование воды отчасти без ее количественного учета, что связано с заниженными ценами на воду и незаинтересованностью коммунальной службы в выявлении потерь воды в сетях. Как показала практика стран Восточной Европы, результатом обеспечения полного приборного учета стало снижение общего объема водопотребления на 40 % [6].

Еще одним фактором, уменьшающим перекачку воды в Харьков, может стать перевод технического водоснабжения промышленных предприятий на подземные воды неглубоких водоносных горизонтов, которые в большинстве своем являются некондиционными с точки зрения питьевых качеств. Даже в случае ликвидации утечек из водопроводных сетей, запасы некондиционных неглубоко залегающих пресных вод плиоценового, обуховского, палеоценового и мергельно-мелового водоносных горизонтов, составляющие в черте Харькова не менее 80 тыс. м<sup>3</sup>/сут., могут покрыть потребности в технической воде всех промышленных предприятий Харькова

(ныне отбор этой воды составляет 19,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут. [5]). Такой перевод технического водоснабжения на местные подземные источники (скважины глубиной до 25...80 м) позволил бы сократить подачу в город около 10 % ныне потребляемой воды.

Таким образом, в результате вышеуказанных мероприятий перекачка воды в Харьков может быть уменьшена на 50 %, что благоприятно отразилось бы на экономических показателях, поскольку затраты на перекачку воды по каналам и магистральным трубопроводам превалируют в ценообразовании на холодную воду. Кроме того, улучшилась бы ситуация с подтоплением в старой промышленной части города. Впрочем, такое сокращение водопотребления может происходить постепенно, учитывая существенную изношенность водопроводов, требующую значительных средств на замену труб, и инертность существующей коммунальной системы миллионного города. Но потребность в новых подходах к вопросу водоснабжения крупных городов и Харькова в частности назрела давно, и реальное реформирование сдерживается, с одной стороны, косностью управленческого аппарата, а с другой – неготовностью инвесторов вкладывать финансовые средства в предприятия, окупаемость которых не будет сиюминутной по причине громоздкости крайне централизованных систем коммунального водоснабжения городов. Поэтому одной из мер по реформированию должна быть децентрализация системы водоснабжения Харькова.

В качественном отношении воды обоих источников несколько разнятся: Северский Донец несет гидрокарбонатные кальциевые воды, а Днепр – сульфатные кальциевые. Те и другие воды – пресные, с минерализацией до 1 г/дм<sup>3</sup>, имеют приемлемую жесткость – 5...7 ммоль/дм<sup>3</sup>. Несоответствие питьевым нормативам и в том и другом случае наблюдается по ряду микроэлементов (органической и неорганической природы) и обусловлено неизбежным техногенным загрязнением на обширных водосборных территориях указанных рек.

Отличительной чертой качества воды из Северского Донца является систематически более высокие показатели мутности и содержания взвешенных веществ, что связано с переносом этих веществ в потоке реки (особенно в периоды таяния снега и выпадения ливне-

вых осадков), в отличие от условий в Краснопавловском водохранилище, где днепровская вода отстаивается перед отбором.

Общим недостатком в обоих источниках поверхностных вод является колебание температуры воды и ее цветение в весенне-летний период.

Борьба с бактериальным заражением речной воды и вторичным – в трубопроводах приводит к избыточному хлорированию и появлению в водопроводной воде токсичных хлорорганических веществ, что является настоящим бичом современных городов.

Для Северского Донца к наиболее значимым потенциальным загрязнителям, расположенным выше по течению от Кочетокского водозабора, можно отнести Шебекинский химический завод, выпускающий синтетические жирозаменители, жирные спирты, мыло и жидкие моющие средства, а также очистные сооружения г. Белгород. Для Днепра таких потенциальных загрязнителей значительно больше в силу большей водосборной площади, а наиболее потенциально опасным остается значительный депонент радионуклидов в чернобыльской зоне. Если даже считать, что в верхней части бассейна Северского Донца и в большей части бассейна Днепра плотность техногенной нагрузки одинакова, то, учитывая большую вероятность техногенных аварий во втором случае, следует считать первый источник водоснабжения более предпочтительным. Преимущество этого источника состоит и в меньших удельных затратах на перекачку воды.

Проблема обеспечения качества водопроводной воды в последние десятилетия усугубилась тем, что не были разделены питьевое и непитьевое водоснабжение. Непонимание ценности кондиционных питьевых вод практически выражалось в отсутствии общей ресурсосберегающей государственной политики на протяжении многих десятилетий. До сих пор плата за использование ресурса наиболее ценных питьевых подземных вод и технических подземных вод (т. е. вод значительно более низкого качества с точки зрения возможности их использования для питьевых целей) одна и та же. Проблема десятилетиями консервировалась и на уровне нормативов – единых норм качества для воды питьевого и хозяйственного назначения. Все 250...400 л/чел\*сут. воды, которые использовались для хозяй-

ственно-питьевого водоснабжения в крупных городах, требовалось готовить по нормативам качества для питьевых вод. В то же время реальная потребность в питьевой воде составляет 2...4 л/сут.\*чел [1]. В условиях деградации качества воды в источниках это предполагает значительные практически бесполезные затраты на водоподготовку. Впрочем, эта экономическая несуразица разрешалась путем недостаточного финансирования водопроводного хозяйства и отставания от мировых стандартов в развитии водоподготовки, вследствие чего качество воды у потребителя мало отличалось от ее качества в источнике.

Запасы высококачественной питьевой воды на Украине связаны с резервуарами хорошо защищенных пресных вод. Экспертные оценки скорости водообмена в гидрогеологических структурах Украины показывают, что основное количество не имеющей техногенных примесей пресной воды (т. е. пресной воды, сформировавшейся в доиндустриальную эпоху) в настоящее время сосредоточено в осевой части Днепровско-Донецкого артезианского бассейна в альбских, сеноманских и верхнеюрских песчаных коллекторах под многосотметровой толщей мергельно-мелового регионального водоупора [7]. Часть этого резервуара располагается и под Харьковом и может быть источником кондиционных питьевых вод при условии обезжелезирования и уменьшения содержания аммония. В количественном отношении этого ресурса при использовании воды только на питьевые нужды хватит на тысячелетия. В случае же использования этой воды на все нужды городского хозяйства расчетная мощность артезианских водозаборов Харькова не покрывает потребностей города даже на 50 %, а запасы ценных питьевых вод будут истощены в течение первых десятилетий.

Практика показала, что для населения, включая пенсионеров, стоимость питьевой воды из артезианских скважин доставляемой автоцистернами в микрорайоны (предприятием «Галс») и реализуемой через киоски (предприятием «Кулинич») на уровне 0,4...0,6 грн за литр вполне приемлема. Также ничто не мешает строительству бюветов на базе артезианских скважин, оборудованных на альб-сеноманский и верхнеюрские горизонты, принадлежащих коммунальной службе (КП «Харьковводоканал») и ряду промышленных

предприятий, где имеются такие скважины (всего в городе по состоянию на 2015 г. существует более 20 таких скважин). Устранение расходов на перевозку позволит существенно снизить отпускную стоимость воды.

Другими источниками высококачественных питьевых вод являются разведанные месторождения подземных вод в пределах боровых террас в Волчанском, Чугуевском и Змиевском районах, которые имеют достаточные запасы для покрытия питьевых нужд населения Харькова и оснащены специальным оборудованием для децентрализованного водоснабжения. Примерами являются предприятия «Ордана плюс», «Себек», «Артоховский источник», хотя ресурсы подобных вод в пределах пригородных боровых террас рек Северский Донец, Уды и Мжа значительно превышают разведанные запасы и последние могут быть увеличены в несколько раз [8].

Таким образом, по трубопроводам в Харьков рекомендуется подавать воду для хозяйственно-бытовых нужд, здоровую бактериологически и с приемлемыми органолептическими показателями. Выше показано, что экологически и экономически предпочтительнее подача воды Северского Донца по водопроводу из Кочетокского водозабора, при условии решения проблемы взвешенных частиц и цветения воды.

Для обеспечения минимально приемлемого качества воды в системе хозяйственного водопровода, по мнению авторов, целесообразно изменить систему водозабора. Для устранения имеющихся недостатков качества донцовской воды – повышенной мутности, взвешенных частиц, планктона, а также для улучшения бактериологических показателей предлагается спроектировать и построить современную систему лучевых водозаборов с восполнением из поверхностных вод, по производительности рассчитанную на всю перспективную потребность Харькова в хозяйственной воде – 350...400 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Рассмотрим аргументы и принципиальную возможность применения лучевых водозаборов. К таким водозаборам можно отнести собственно лучевые и так называемые «горизонтальные водозаборы». Как первые, так и вторые имеют принципиально сходную конструкцию – они состоят из водосборной камеры в виде колодца

или шахты и водозахватывающих лучей – горизонтальных скважин. Но горизонтальные водозаборы имеют небольшое заглубление водозахватывающих лучей (до 8 м глубины от поверхности земли) и каптируют неглубоко залегающие подземные воды, а собственно лучевые водозаборы имеют горизонтальные (или слабонаклонные к колодцу) лучи-скважины длиной до 40...70 м, оборудуемые на сравнительно больших глубинах.

Первый лучевой водозабор, построенный Л. Раннеем в 1934 г. в аллювиальных отложениях р. Темзы в Лондоне, работает до сих пор. Он состоял из вертикальной шахты глубиной 40 м и отходящих от нее горизонтальных скважин, вода из которых самотеком поступала в шахту и подавалась на поверхность одним мощным насосом. По сути, этот водозабор подземных вод отличается от традиционных скважинных большей поверхностью водоприемной части. Уже к началу 1960-х годов по методу Л. Раннея в США, Венгрии, ФРГ и других странах было построено около четырехсот водозаборов. Горизонтальные лучи в них оборудовались на глубине до 40 м и имели длину в основном от 10 до 70 м. Лучевые конструкции, применяемые в условиях малопроницаемых пород, позволяют за счет увеличения фильтрующей площади повысить производительность водозабора, однако в случае средних и высоких фильтрационных параметров водоносных пород эти системы позволяют достичь производительности систем, которые забирают воду непосредственно из поверхностных вод. Так, в благоприятных гидрогеологических условиях производительность лучевых водозаборов может достигать 2000...2400 м<sup>3</sup>/ч [2] или 48...58 тыс. м<sup>3</sup>/сут., что сопоставимо с потребностью города с населением 250-300 тыс. чел. Но при этом, по сравнению с водозаборами из поверхностных вод, лучевые и горизонтальные водозаборы имеют преимущество подземных водозаборов – в добываемой воде стабилизируется температура, устраняется мутность, взвешенные вещества и планктон, значительно улучшаются бактериологические показатели. Это позволяет значительно снизить концентрацию хлора в водопроводной воде, поскольку проблемой остается только вторичное ее заражение в трубах.

Производительность горизонтальных водозаборов в расчете на единицу длины луча существенно ниже по сравнению с класси-



ческими лучевыми водозаборами, поскольку напор воды над местом ее отбора относительно небольшой, в тоже время, сооружаемые траншейным способом, эти водозаборы могут наращивать отбор воды за счет длины лучей.

Комбинация указанных водозаборов с пополнением запасов подземных вод из поверхностных позволяет сократить площадь водозаборов (по сравнению с водозаборами из подземных вод) и обеспечивает работу водозаборов в установившемся режиме. Более того, из европейской практики известны лучевые водозаборы, сооружаемые на небольших естественных и искусственных речных остовах, что практически устраняет необходимость отчуждения ценных земельных участков [6].

Авторы статьи предлагают рассмотреть варианты размещения лучевых водозаборов разной конструкции в долине р. Северский Донец выше Кочетокских водозаборных сооружений. Одним из вариантов является акватория Печенежского водохранилища, которое предназначено для обеспечения водоснабжения г. Харькова.

На рис. 1–4 показаны литологические карты и инженерно-геологические разрезы в районе расположения головных водозаборных сооружений для Харькова на Краснопавловском вдхр. и р. Северский Донец.

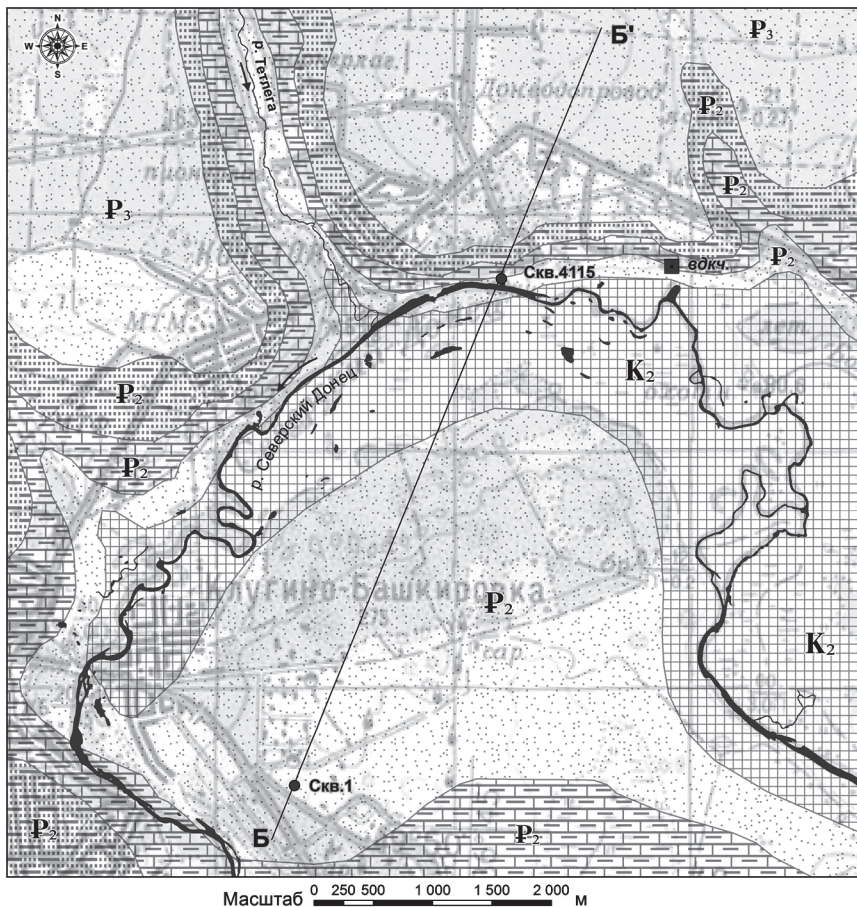
Получение эффекта (большой производительности) от лучевых водозаборов можно ожидать в условиях хорошей гидравлической связи с поверхностными водами. При этом для устройства горизонтальных водозаборов требуется наличие достаточно мощного аллювия с хорошими фильтрационными характеристиками. На рис. 3 и 4 можно видеть, что в пределах акватории Печенежского водохранилища и ниже по течению реки песчаный аллювий залегает на меловых породах. По экспертной оценке авторов, мощность песчаного аллювия ориентировочно составляет 7...11 м, а коэффициент фильтрации песков можно предварительно принять на уровне 4...6 м/сут.

В тоже время наличие трещиноватого мергельно-мелового водоносного горизонта позволяет применять классические лучевые водозаборы. По опыту работ в пределах украинской части Днепровско-Донецкого артезианского бассейна мергельно-меловой горизонт обычно приурочен к зоне открытой трещиноватости меловых пород,






которая обычно распространяется до глубины 70...80 м от поверхности земли. Производительность скважин, оборудованных на этот горизонт, в пределах пойм рек и молодых (невысоких) четвертичных террас, если меловые породы залегают под аллювием, в большинстве случаев колеблется между 10 и 100 м<sup>3</sup>/час. Значения коэффициентов фильтрации обычно составляют 5...30 м/сут. и закономерно уменьшаются сверху вниз соответственно со степенью раскрытости трещин. Именно такие условия имеют место в пределах южной части Печенежского водохранилища, акватория которого покрывает пойму и частично первую надпойменную (левобережную) террасу, а условия раскрытости трещин в меловых породах, зависящие от давления воды в условиях затопления, здесь предположительно способствуют как улучшению фильтрационной способности, так и увеличению мощности водоносного горизонта. Это позволяет ожидать значительных водопритоков к лучевым водозаборам. Неясным вопросом остается степень изолированности мергельно-мелового горизонта сверху так называемой «зоной кольматации» – слоем пластичного мела, который в долинах рек является относительным водоупором. Его наличие или отсутствие, мощность и степень водоупорности в рассматриваемом случае в значительной степени будут определять степень гидравлической связи с вышележащим аллювиальным горизонтом и, таким образом, будут влиять на производительность лучевого водозабора классической конструкции. Также необходимо овладеть технологией проходки, крепления и обеспечения водопритока через стволы горизонтальных скважин в меловых породах.

Из рис. 3 и 4 можно видеть, что в районе Краснопавловского вдхр. условия для оборудования водозаборов вышеуказанных систем менее благоприятные, хотя принципиальная возможность использовать песчаниковый коллектор юрских пород здесь имеется, например, в варианте галерейных водозаборов.

В обоих случаях для окончательного решения вопроса возможности и целесообразности обустройства лучевых водозаборов необходимо произвести гидрогеологические и инженерно-геологические изыскания, выполнить расчеты и составить технико-экономическое обоснование, что после привлечения финансовых средств даст возможность приступить к проектированию, строительству и испы-



**Условные обозначения:**

- |   |   |
|---|---|
|  - олигоценые пески<br>частично обводнённые    |  - эоценовые пески водоносные          |
|  - эоценовые алевролиты<br>частично водоносные |  - мел, в верхней части<br>обводнённый |
|  - эоценовые мергели<br>водоупорные            |   |

**Рис. 1. Литологическая карта дочетвертичных отложений в районе Кочетокских водозаборных сооружений**

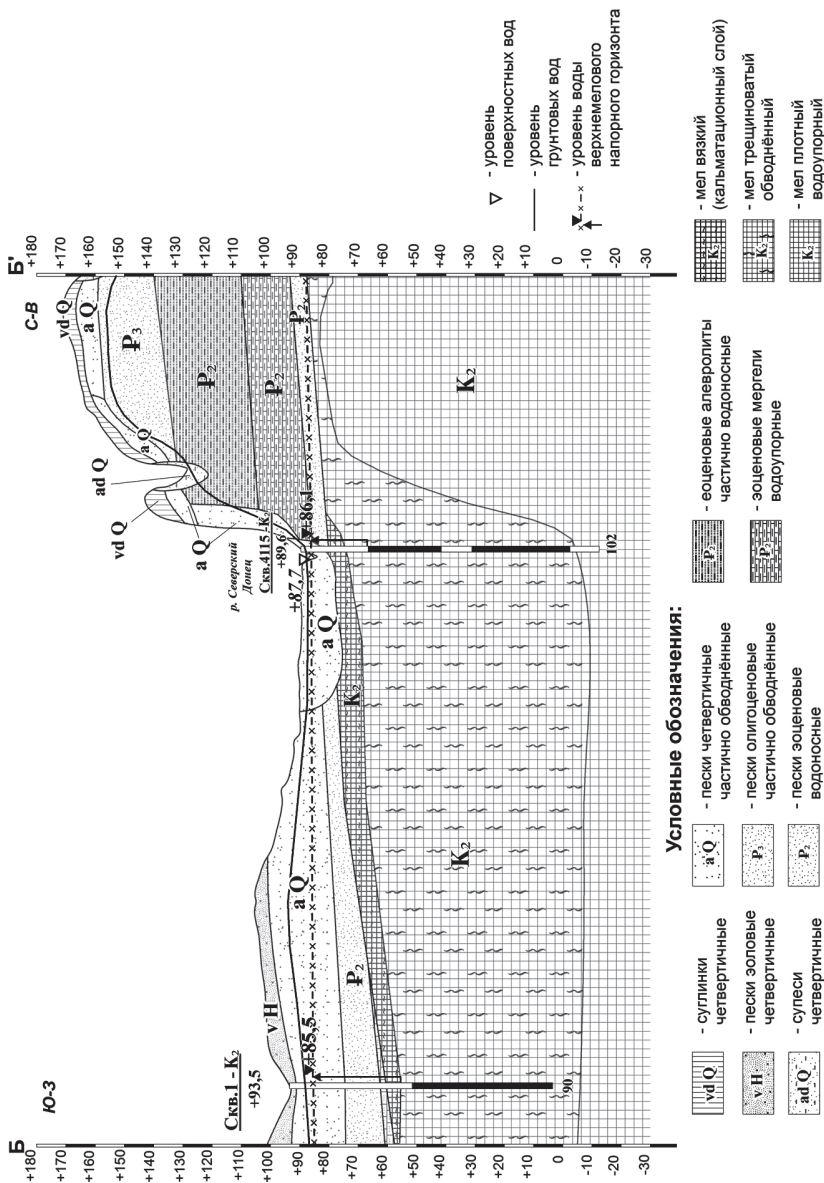
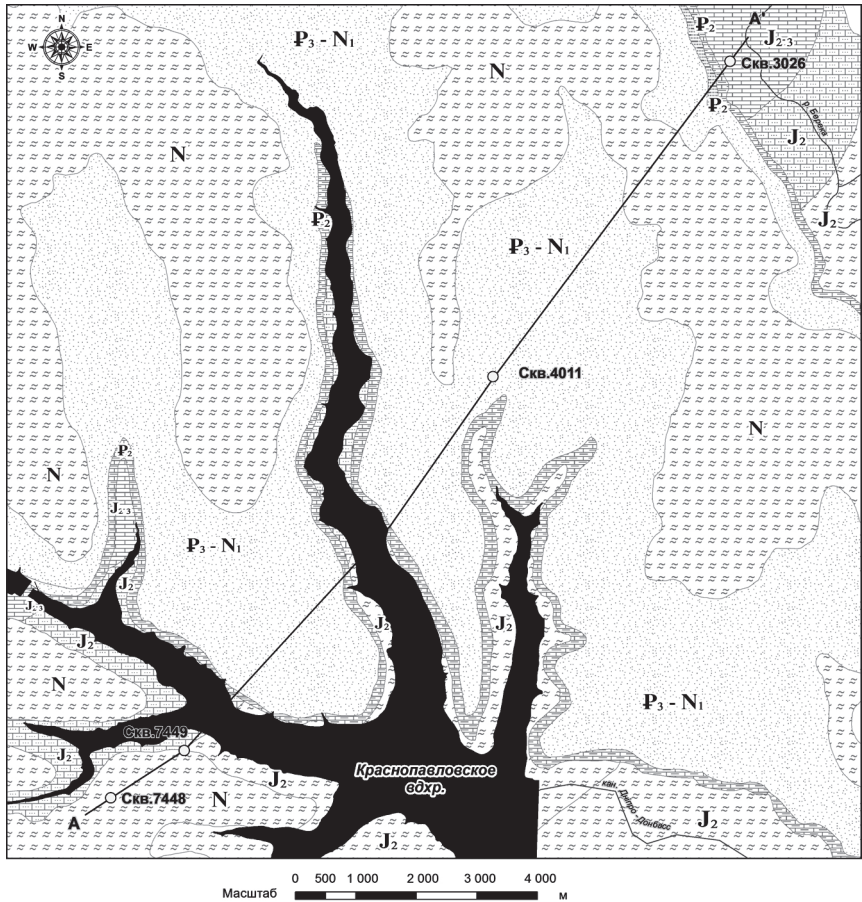


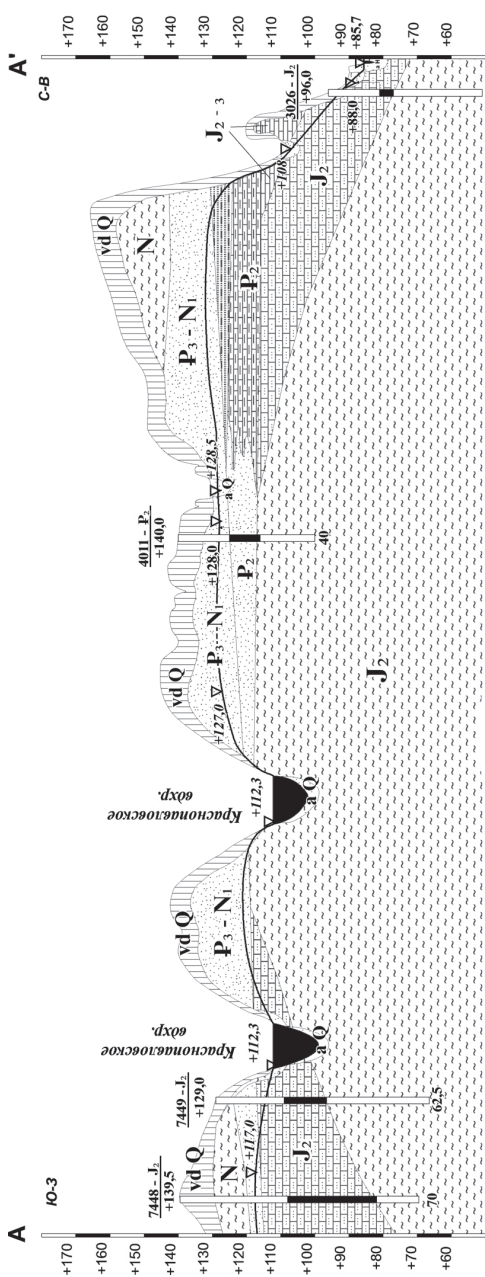
Рис. 2. Инженерно-геологический разрез по линии Б – Б'



**Условные обозначения:**

	- глины неогеновые водоупорные		- известняки средне-верхнеюрские частично обводнённые
	- пески олигоцен-миоценовые частично обводнённые		- песчаники среднеюрские водоносные
	- алевролиты глинистые эоценовые относительно водоупорные		- глины среднеюрские водоупорные
	- мергели эоценовые водоупорные		

**Рис. 3. Литологическая карта дочетвертичных отложений района Краснопавловского водохранилища**



**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:**

- |  |  |  |   |
|--|--|--|---|
|  | - супглинки четвертичные                         |  | - алевролиты глинистые эоценовые относительно водоупорные |
|  | - пески четвертичные водоносные                  |  | - мергели эоценовые водоупорные                           |
|  | - глины неогеновые водоупорные                   |  | - известняки средне-верхнерские частично обводнённые      |
|  | - пески олигоцен-миоценовые частично обводнённые |  | - песчаники среднерусские водоносные                      |
|  | - пески эоценовые обводнённые                    |  | - глины среднерусские водоупорные                         |

▽ — уровень грунтовых вод

**Рис. 4. Инженерно-геологический разрез по линии А – А'**

танию первых пробных лучевых водозаборов. В тоже время имеет смысл ориентировочно оценить водопритоки в предлагаемые лучевые водозаборы.

Рассмотрим случай горизонтального водозабора. На рис. 5 приведена принципиальная схема устройства водозабора под акваторией Печенежского водохранилища. Мощность намывного слоя песчаного грунта над водосборными дренами необходимо принимать не менее 5 м, так как начиная с такой мощности песчаного слоя обеспечивается существенная бактериальная защита [3].

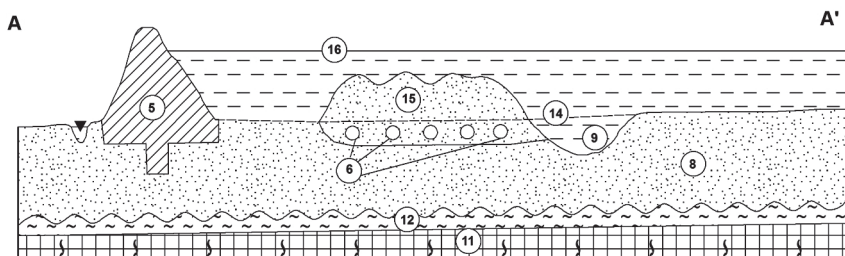
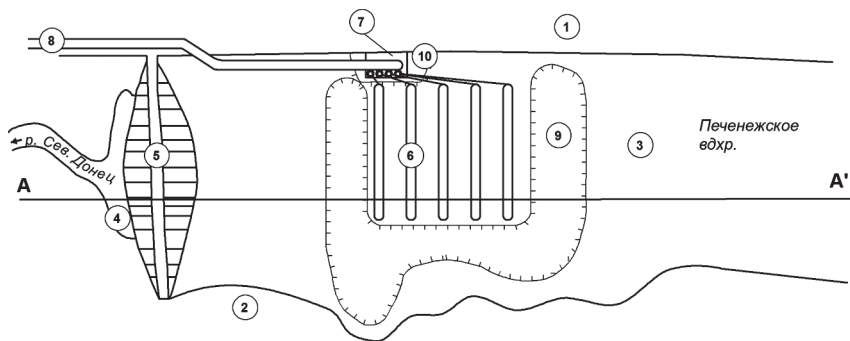
Предполагается, что коэффициент фильтрации намывного слоя при разделении фракций песчаных частиц, опускающихся в водной среде, может при данном субстрате (кварцевые мелкозернистые слабоглинистые пески) обеспечить коэффициент фильтрации не менее 6 м/сут. Принимаем, что отбор воды через равномерно распределенные по площади дрена обеспечивает среднее понижение давления в дрене по отношению давлению на поверхности фильтрующего слоя на 0,5 м. Тогда расчетный водоотбор  $Q$  с такого водозабора (только за счет притока сверху – из поверхностных вод) можно определить по формуле Дюпюи:

$$Q = K \cdot I \cdot F, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент фильтрации намывного песчаного слоя, м/сут.;  $I$  – градиент напора, равный отношению разницы напоров на поверхности фильтрующего слоя и в дрене к мощности фильтрующего слоя, которые в данном случае приняты равными 0,5 и 5 м соответственно;  $F$  – площадь фильтрации, при расчете единичного значения расхода принято 1 м<sup>2</sup>. Подставляя значения величин в формулу (1), получаем:

$$Q = K \cdot I \cdot F = 6 \cdot (0,5/5) \cdot 1 = 0,6 \text{ (м}^3\text{/сут.)}$$

Для получения требуемого дебита 400 тыс. м<sup>3</sup>/сут. площадь, занимаемая систематическим горизонтальным водозабором, составит  $400\,000/0,6 = 670\,000 \text{ м}^2$ , или 0,67 км<sup>2</sup>, что при общей площади акватории Печенежского вдхр. 86,2 км<sup>2</sup> составляет не более 1/100 его части, т. е. существенно не изменит его емкостные и экологические условия. Необходимо отметить, что в вышеприведенной оценке дебита



- ① – коренной правый берег р. Сев. Донец
- ② – боровая терраса р. Сев. Донец
- ③ – Печенежское вдхр. в пределах поймы и частично боровой террасы р. Сев. Донец
- ④ – р. Северский Донец
- ⑤ – плотина Печенежского вдхр.
- ⑥ – лучи горизонтальных водозаборов
- ⑦ – камера с задвижками
- ⑧ – магистральный водопровод к кочетокскому водозабору
- ⑨ – выемка песчаного грунта
- ⑩ – намытый полуостров для устройства камеры с задвижками
- ⑪ – мергельно-меловые трещиноватые водоносные отложения
- ⑫ – «кольматационный слой» в кровле мергельно-меловых отложений, относительно водоупорный
- ⑬ – аллювиальные четвертичные пески
- ⑭ – первоначальный уровень дна водохранилища
- ⑮ – намытый песчаный фильтр горизонтальных водозаборов
- ⑯ – уровень воды в водохранилище

**Рис. 5. Принципиальное устройство горизонтального забора подземных вод с восполнением из Печенежского водохранилища**



не учитывался приток снизу – из подземных вод, поэтому нами получено максимальное значение площади горизонтального водозабора.

Дебит одного лучевого водозабора классической конструкции (рис. 6) для условий изолированного в кровле и в подошве пласта при неустановившемся движении (что в данном случае представляет инженерный запас) может быть определен по формуле Г. А. Разумова [2]:

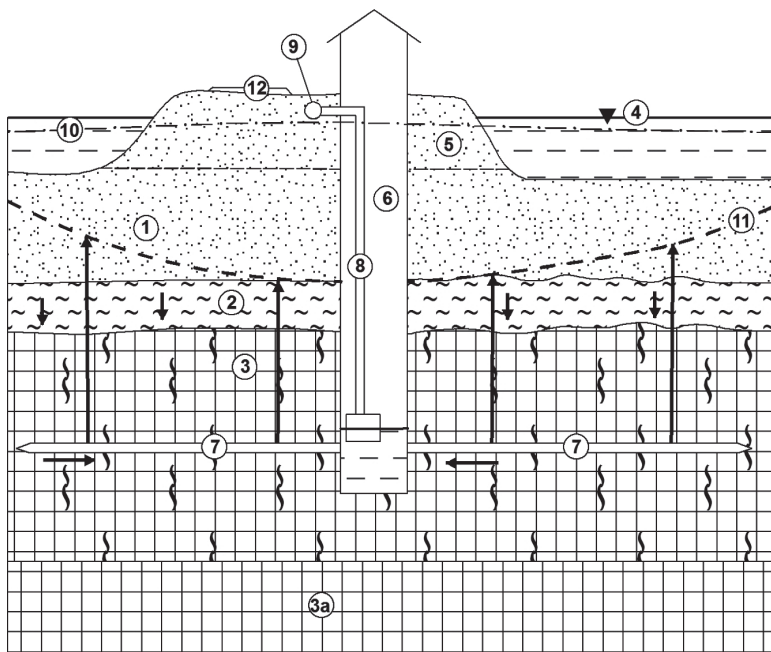
$$Q = \frac{2\pi k (h_e^2 - h_0^2) N}{\left( \ln \frac{at}{m^2} - \frac{15,6}{\sqrt[5]{l + 3D}} \right) n + \frac{3D + 3,6}{\bar{l}}} \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации водоносного горизонта средний, принимаемый по опыту работ (экспертная оценка авторов) равным 5 м/сут.;  $h_e$  – уровень воды в водоносном горизонте естественный, принимаемый равным уровню воды в водохранилище с абс. отм. 100 м;  $h_0$  – уровень воды динамический, принимаемый исходя из условий водозабора на 10 м ниже естественного, т. е. имеющий абс. отм. 90 м;  $N$  – число лучей (горизонтальных скважин);  $a$  – коэффициент пьезопроводности водоносного горизонта мергельно-меловых отложений, принимаемый по опыту работ (экспертная оценка авторов) равным  $10^5$  м<sup>2</sup>/сут.;  $t$  – время работы водозабора, принимаемое равным  $10^4$  сут.;  $m$  – мощность водоносного горизонта, экспертно принимаемая равной 55 м;  $l$  – длина горизонтальных скважин, принятая в нашем случае равной 30 м;  $\bar{l}$  – относительная длина горизонтальной скважины, равная  $\frac{1}{m}$ ;  $\bar{D}$  – относительный диаметр водосборного колодца, равный  $\frac{D}{2m}$ ;  $D$  – его диаметр, равный 4 м;  $N = 360^\circ/\alpha$  ( $\alpha$  – угол между лучами, град.).

Подставляя указанные величины в формулу (2), получаем:

$$Q = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5 (100^2 - 90^2) \cdot 6}{\left( \ln \frac{10^5 \cdot 10^4}{55^2} - \frac{15,6}{\sqrt[5]{\frac{30}{55} + 3 \cdot \frac{4}{2 \cdot 55}}} \right) \cdot 6 + \frac{3 \cdot 4 + 3,6}{55}} = 120\,450 \text{ (м}^3\text{/сут.)}$$

Таким образом, оборудование четырех таких лучевых водозаборов, размещенных на искусственных полуостровах в пределах ак-



- ① – аллювиальные четвертичные пески водоносные
- ② – «кольматационный слой» относительно водоупорный
- ③ – мергельно-меловые отложения трещиноватые водоносные
- ③а – мергельно-меловые отложения плотные водоупорные
- ④ – уровень воды в водохранилище
- ⑤ – намывной остров
- ⑥ – шахта
- ⑦ – водозаборные лучи (горизонтальные скважины)
- ⑧ – водоподъемные трубы и насос
- ⑨ – трубопровод, собирающий воду из нескольких лучевых водозаборов
- ⑩ – статический уровень воды в мергельно-меловом горизонте
- ⑪ – динамический уровень воды в мергельно-меловом горизонте
- ⑫ – дорога с твердым покрытием

**Рис. 6. Принципиальная схема лучевого водозабора подземных вод с восполнением запасов из поверхностных вод Печенежского вдхр.**

ватории Печенежского водохранилища, позволит покрыть всю перспективную потребность коммунальной сферы Харькова.

Необходимо отметить, что на практике приведенный выше расчетный дебит одного лучевого водозабора будет ограничиваться гидравлическим сопротивлением в лучах (ограничение пропускной способности горизонтальных скважин), поэтому конструкция лучей-скважин должна это учитывать. С другой стороны, выполненный расчет следует считать весьма приблизительным ввиду большого количества исходных параметров.

Материалы гидрогеологических изысканий помогут повысить достоверность расчетного дебита горизонтального и лучевых водозаборов, что наряду с другими параметрами (стоимость водозаборных сооружений, намывания песчаного фильтра, занимаемая площадь и др.) ляжет в основу сравнения вариантов водозаборов для водоснабжения г. Харькова на стадии ТЭО. При этом необходимо учесть разницу в качественных показателях воды, получаемой с разных глубин; прежде всего это бактериальные показатели, содержание железа, марганца, аммония, сероводорода, рН, окисляемость, цветность, запах, температура. Эти показатели также можно изучить при опытных откачках скважин в процессе изысканий в пределах акватории Печенежского водохранилища.

## **Выводы**

1. Мировой опыт показывает, что объем водопотребления в полуторамиллионном Харькове может быть постепенно уменьшен на 50 % от нынешнего, который составляет 643 тыс. м<sup>3</sup>/сут., путем оснащения приборами учета, переводом технического водоснабжения на подземные воды неглубоких водоносных горизонтов и повышения цены на воду.

2. С целью рационального использования ценных вод с высокими питьевыми качествами необходимо отделить питьевое водоснабжение от непитьевого, в частности, от хозяйственно-бытового. По существующим водопроводным сетям предлагается подавать кондиционную по органолептическим показателям и здоровую в бактериологическом отношении воду, а собственно питьевое водоснабжение в объеме 2...4 л/чел.\*сут. можно обеспечивать децентра-

лизованным путем из существующих и обустроенных подземных источников.

3. За счет подземных источников нельзя покрыть потребность в хозяйственной воде такого крупного города, как Харьков. Из двух ныне используемых источников поверхностной воды – р. Днепр и р. Северский Донец – последний имеет преимущества с точки зрения удаленности и затрат на перекачку воды, по вероятности загрязнения воды в результате техногенных аварий на территории водосборных бассейнов. Недостатками донцовской воды являются повышенная мутность, сезонное цветение и колебание температуры.

4. Решить вопрос повышения органолептических и бактериологических свойств воды предлагается путем оборудования лучевых водозаборов. Гидрогеологические условия в пределах акватории Печенежского водохранилища позволяют обустроить систематический горизонтальный водозабор под слоем намывного речного песка и отбирать 400 тыс. м<sup>3</sup>/сут. органолептически кондиционной и бактериологически здоровой воды с площади менее 1/100 части его акватории. Предварительно рассчитанные дебиты лучевых водозаборов показывают, что теоретическая эффективность таких сооружений в гидрогеологических условиях акватории Печенежского водохранилища велика, однако для подтверждения этого требуется полевое определение исходных для расчета гидрогеологических данных.

1. Коммунальная гигиена / К. И. Акулов, К. А. Буштуева, Е. И. Гончарук и др. / Под ред. К. И. Акулова и К. А. Буштуевой. – М.: Медицина, 1986. – 606 с.
2. Плотников Н. И. Гидрогеологические основы искусственного восполнения запасов подземных вод / Н. И. Плотников, Н. А. Плотников, К. И. Сычев. – М.: Недра, 1978. – 311 с.
3. Порядин А. Ф. Устройство и эксплуатация инфильтрационных водозаборов / А. Ф. Порядин. – М.: Стройиздат, 1977.
4. Разумов Г. А. Проектирование и строительство горизонтальных водозаборов и дренажей / Г. А. Разумов. – М.: Стройиздат, 1988.
5. Серикова Е. Н. Коммунальное хозяйство городов / Е. Н. Серикова, В. В. Яковлев. – Х.: ХГАГХ, 2011. – С. 344-348.
6. Шевцов Ф. А. Водоснабжение больших городов зарубежных стран / Ф. А. Шевцов, Г. А. Орлов. – М.: Стройиздат, 1987. – 347 с.

7. Яковлев В. В. О реликтовых пресных водах / В. В. Яковлев // Вестник Харьковск. нац. ун-та : Сер. Геология, география, экология, 2003. – № 610. – С. 12-15.
8. Яковлев В. В. Подземные воды боровых террас как источник питьевого водоснабжения / В. В. Яковлев // Вісник Харківського нац. ун-ту : Сер. Геологія – географія – екологія, 2008. – № 824. – Вип. 29. – С. 43-48.

**Яковлев В. В., Ліщина В. Д., Бабаєв М. В., Васенко О. Г. ДЖЕРЕЛА ВОДОПОСТАЧАННЯ ХАРКОВА І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМЕНЕВИХ ВОДОЗАБОРІВ**

*З метою забезпечення якості питної води для населення Харкова, зниження витрат на транспортування господарсько-побутової води в місто і її кондиціювання запропоновано низку інноваційних заходів. Розглянуті умови облаштування променевих водозаборів у межах акваторії Печенізького водосховища з перспективою повного забезпечення Харкова органолептично кондиційною і бактеріально здоровою водою.*

**Ключові слова:** променевий водозабір, питна вода, господарсько-побутове водопостачання, Печенізьке водосховище.

**Yakovlev V. V., Leshchina V. D., Babaev M. V., Vasenko A. G. THE SOURCE OF WATER OF KHARKOV AND PERSPECTIVES OF THE RADIAL WATER INTAKE**

*A number of innovative measures is offered to ensure the quality of drinking water and reduce the cost of transportation of household water to the city and its air-conditioning for the population of Kharkov. The conditions of the radial arrangement of water intakes within the water area Pechenigy reservoir with the prospect of full supply of Kharkov organoleptically conditioned and bacterially healthy water are considered there.*

**Key words:** radial intake, drinking water, household water supply, Pecheniz'ke reservoir.