
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ,
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ**

УДК 551.49

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПОЛНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ
ВОД ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

© 2012 г. И. С. Зекцер*, Е. Ю. Потапова**, А. В. Четверикова*, Р. С. Штенгелов**

*Институт водных проблем РАН

119333 Москва, ул. Губкина, 3

E-mail: yew-tree@mail.ru

**Московский Государственный Университет им. Ломоносова

119991 Москва ГСП-1, Ленинские горы

Поступила в редакцию 09.06.2011 г.

Проанализировано современное состояние проблемы искусственного восполнения подземных вод в России и за рубежом. Рассмотрены факторы, определяющие районирование по условиям искусственного восполнения подземных вод. Проведено районирование юга Европейской части России по условиям искусственного восполнения подземных вод, на основании которого составлены карты перспективности искусственного восполнения подземных вод на юге Европейской территории России.

Ключевые слова: искусственное восполнение, районирование, потребность в искусственном восполнении, емкость водоносного горизонта, возможный источник восполнения подземных вод.

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ
ИСКУССТВЕННОГО ВОСПОЛНЕНИЯ
ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

В последнее время при повышении эффективности использования подземных вод в различных областях хозяйства применяются методы искусственного восполнения (магасинирования) подземных вод.

Значительный опыт таких работ накоплен в европейских странах, прежде всего в Германии и Голландии. В России и на территории бывшего СССР искусственное восполнение подземных вод практически не используется. Можно привести лишь единичные примеры по территории бывшего СССР, где восполнение запасов подземных вод осуществлялось за счет магасинирования атмосферных осадков и речного стока. Это водозаборы Балтезерс (Латвия), города Клайпеда (Литва) и Туапсе.

Ниже приводится краткая характеристика зарубежного опыта искусственного восполнения запасов подземных вод.

Следует отметить, что искусственное восполнение принципиально возможно двумя путями:

– разовое кратковременное (условно-единовременное) создание дополнительных запасов воды на некоторой площади распространения водоносного горизонта; при этом время расходования сформированного объема воды значительно превышает время его создания;

– постоянная подача некоторого искусственного расхода воды непосредственно в эксплуатируемый водоносный горизонт с помощью инфильтрационных устройств, таких как поглощающие и нагнетательные скважины или специально созданные поверхностные водоемы капитального типа (инфильтрационные бассейны); в ряде случаев возможно использование естественных понижений рельефа для заполнения их водой в целях магасинирования поверхностного стока.

Впервые методы искусственного пополнения запасов подземных вод были применены в Центральной Азии, где с помощью простых устройств задерживали дождевую воду в руслах временных водотоков. В начале XIX в. появились первые капитальные сооружения для пополнения запасов подземных вод (специальная инфильтрационная галерея на приречном водозаборе в долине р. Клайд для водоснабжения г. Глазго (Шотландия); затопление участка поймы в долине р. Гаронны вблизи приречного водозабора для водоснабжения г. Тулузы (Франция)).

Увеличение водопотребления в XX в. вызвало противоречие между ограниченностью естественного водоресурсного потенциала и необходимостью создания высокопроизводительных водозаборов, особенно для густонаселенных территорий западноевропейских государств (Германия, Нидерланды, Швеция и др.). Именно здесь широкое распространение получила технология пополнения запасов подземных вод через специально сооружаемые открытые инфильтрационные

бассейны, наполняемые “свежей” водой из крупных рек (Майн, Рейн, Эльба, Рур и др.) и озер.

В районе Фурбергского поля (земля Нижняя Саксония, Германия) производительность подземных водозаборов из флювиогляциальных песков (для водоснабжения г. Ганновера) с 1910 к 1960-м гг. возросла почти на порядок – до 160 тыс. м³/сут. Связанное с этим понижение уровней грунтовых вод привело к нарушению водного режима корнеобитаемого слоя и почв, проседанию поверхности торфяных болот, трансформации и деградации естественных лесных и луговых фитоценозов. В 1960–1980 гг. были предприняты системные эколого-гидрогеологические научные исследования с использованием моделирования, по результатам которых суммарный водоотбор был сокращен до 11–115 тыс. м³/сут и разработан проект (реализованный в 1990 г.) искусственного пополнения запасов эксплуатируемых водоносных горизонтов поверхностными водами р. Ортце в количестве ~70 тыс. м³/сут через 14 инфильтрационных скважин [3].

Примерно в то же время близкие проблемы возникли и на территории Гессенских плавней в долине р. Рейн (земля Гессен, Германия). Здесь в зоне влияния крупных подземных водозаборов, обеспечивающих водоснабжение Франкфурта-на-Майне, Дармштадта и других городов, с суммарной производительностью до 450 тыс. м³/сут наблюдались просадки земной поверхности с многочисленными повреждениями зданий. В 1990-х гг. для предотвращения подобных явлений и дальнейшего понижения уровней была разработана и осуществлена программа искусственного пополнения запасов подземных вод из р. Рейн в количестве >100 тыс. м³/сут.

Масштабные работы по поддержанию уровней подземных вод предпринимаются в Нижнерейнском бурогольном бассейне (земля Северный Рейн – Вестфалия, Германия), где общий водоотбор за счет шахтного и карьерного водоотлива и хозяйственно-питьевых потребностей превышал 1 млрд м³/год. Системы искусственного пополнения действуют на водозаборах, расположенных вдоль Рейна.

В большом объеме искусственное пополнение запасов подземных вод производится в Нидерландах [4]. По данным на 1990 г., общий отбор подземных вод по стране составлял 575 тыс. м³/сут, а на искусственное восполнение запасов подземных вод через открытые инфильтрационные устройства и скважины направляется 500 тыс. м³/сут, причем 90% этого количества подается с расстояния более 50 км. Площадь зеркала открытых инфильтрационных резервуаров превышает 3 км².

В Новой Зеландии существует схема, сооруженная для искусственного питания подземных

вод в водоносном горизонте, подстилающем равнины Геретаунга, зал. Хорхес. Она предусматривает отвод речной воды в инфильтрационные пруды непосредственно в том месте, где речной сток естественно питает водоносный горизонт через гравийные русла.

В провинции Лимбург (Южная Голландия), наиболее подверженной иссушению, принят специальный план водопользования. В числе мероприятий, предотвращающих дальнейшее развитие иссушения, решено уменьшить общий районный водоотбор с 270 тыс. до 220 тыс. м³/сут и взамен рассредоточенной системы мелких водозаборов построить в пойме р. Маас мощный “концентрированный” водозабор с искусственным пополнением запасов подземных вод и соответствующей перепланировкой разводящей сети по всей провинции.

В Китае сооружаются подземные водохранилища поверхностных вод. В результате сброса воды из водохранилища Миюнь в канал р. Чаобай в конце сезона дождей в 1994 г. и последующей инфильтрации в водоносный горизонт запасы подземных вод быстро восстановились [5].

На территории западных штатов США (Калифорния, Техас, Нью-Мексико, Айдахо, Аризона, Юта, Невада и др.) интенсивный отбор подземных вод для сельскохозяйственного орошения обусловил прогрессирующее истощение их запасов со значительным снижением уровней, а в ряде районов (например, в штате Техас) – с весьма ощутимым проседанием земной поверхности. Для предотвращения подобных явлений и частичной компенсации используемых запасов подземных вод, кроме упорядочения и регулирования водоотбора, стало широко применяться искусственное пополнение: в больших масштабах выполнено строительство разветвленных систем инфильтрационных траншей, бурение поглощающих скважин, устройство каскадов небольших водохранилищ; проводится регулярное затопление паводковыми водами значительных площадей террас в долинах малых рек и др.

В полуаридных районах Индии, сложенных скальными породами, эффективным для увеличения величины восполнения является сооружение перколяционных коллекторов. Перколяционный коллектор представляет собой перекрытый земляной насыпью (дамбой) водовод. Накапливаемая во время дождливого сезона сточная вода постепенно просачивается в сухой период в водоносный горизонт, пополняя в нем запасы подземных вод. Типичный перколяционный коллектор имеет насыпь высотой 10 м и водосборную площадь примерно от 20 до 50 км². На подверженных засухе территориях создание перколяционных коллекторов является мерой, предпринимаемой правительственными органами, по борьбе с засу-

хой, – в засушливый год в течение 3–4 мес. около 200 тыс. людей обеспечиваются работой [5].

В целом в зарубежных работах следует подчеркнуть системный характер подхода к проблеме восполнения запасов подземных вод с постановкой научных исследований различной направленности, организацией обширной сети режимных наблюдений и планомерным выполнением комплексных водохозяйственных мероприятий на значительных площадях. Нужно отметить, что бремя финансирования таких затратных работ частично возлагается на водопользователей.

В большинстве случаев возможность искусственного восполнения подземных вод определяется наличием источника пополнения и качеством воды, гидрогеологическими и климатическими условиями, особенностями строительства и эксплуатации инфильтрационных сооружений [10].

Важность изучения гидрогеологических условий определяется тем, что целевой водоносный горизонт является емкостью для искусственных запасов, соответственно от его фильтрационно-емкостных свойств напрямую зависит эффективность искусственного восполнения.

При искусственном восполнении возможно изменение качества подземных вод. Ухудшение качества происходит за счет использования неочищенных поверхностных вод, а улучшение – за счет различных физико-химических процессов, возникающих при смешении поверхностных и подземных вод различного состава, а также при взаимодействии инфильтрующейся воды с водовмещающими породами.

Для определения возможности искусственного восполнения необходимо учитывать условия распространения и залегания водоносных горизонтов, фильтрационно-емкостные свойства водовмещающих пород (коэффициенты фильтрации, водопроницаемости, водоотдачи, уровне- и пьезопроводности), а также химический состав подземных вод, их бактериологические и радиологические показатели.

Наиболее благоприятные для искусственного восполнения – водоносные горизонты аллювиальных отложений речных долин [9], реже – конусы выноса и водоносные горизонты дочетвертичных терригенных и карбонатных пород.

Для оценки эксплуатационных запасов должны быть охарактеризованы условия распространения и залегания водоносных горизонтов, фильтрационно-емкостные свойства водовмещающих пород (коэффициенты фильтрации, водопроницаемости, водоотдачи, уровне- и пьезопроводности), а также химический состав подземных вод, их бактериологические и радиологические показатели.

Мощность и фильтрационные свойства зоны аэрации определяют условия искусственного вос-

полнения. В [13] указывается, что для искусственного восполнения лучше всего пригодны территории с мощностью зоны аэрации 3–5 м (максимально 10 м).

Принято считать, что искусственное восполнение эффективно, если у водовмещающих отложений коэффициент фильтрации не менее 20 м/сут, мощность не менее 10 м, водопроницаемость не менее 100 м²/сут [9].

С точки зрения предотвращения загрязнения и возможности улучшения качества воды при искусственном восполнении благоприятными являются водоносные горизонты, сложенные рыхлыми отложениями с высокими сорбционными свойствами.

В долинах рек инфильтрационные бассейны рекомендуется располагать либо на пойме, либо на первой надпойменной террасе.

Искусственное восполнение запасов подземных вод безнапорных водоносных горизонтов, представленных трещиноватыми породами, малоперспективно, так как в процессе восполнения возможно загрязнение подземных вод [11].

Искусственное восполнение запасов подземных вод напорных водоносных горизонтов путем закачки воды нагнетательными скважинами также имеет определенную специфику, связанную с необходимостью изучения приемистости скважин и возможной кольматации фильтровых колонн.

РАЙОНИРОВАНИЕ ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ПО УСЛОВИЯМ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПОЛНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

На юге Европейской части России (ЕЧР), согласно [2], выделяется ряд артезианских бассейнов, в том числе: Азово-Кубанский, Восточно-Предкавказский (Терско-Кумский), Приволжско-Хоперский, Донецко-Донской, Каспийский, Донецкий и гидрогеологическая складчатая область Большого Кавказа. Все эти гидрогеологические структуры существенно различаются между собой гидродинамическими особенностями, условиями питания, транзита и разгрузки. В соответствии с новейшими представлениями [10, 11] Ставропольское сводовое поднятие, разделяющее Азово-Кубанскую впадину и Восточно-Предкавказский прогиб, выделяется как самостоятельная гидрогеологическая структура – Ставропольский сводовый бассейн, который как положительная гидрогеологическая структура в границах воднобалансового района Егорлыка и Каллауса отличается маловодным ресурсным потенциалом, повышенной минерализацией подземных вод зоны свободного водообмена.

Таксономические единицы для гидрогеологического районирования территории юга России

для целей искусственного восполнения подземных вод выбираются на основе детального анализа многочисленных природных факторов, в том числе геоморфологических, гидрологических, геолого-гидрогеологических и других [14].

Для районирования юга ЕЧР был использован следующий набор информации:

- сведения о текущей и перспективной потребности в воде на территории исследований (по данным мониторинга подземных вод на территории Южного федерального округа и работам по обеспеченности населения эксплуатационными запасами и прогнозными ресурсами);

- детальные данные о гидрогеологических условиях, включающие сведения о строении гидрогеологического разреза, глубинах залегания подземных вод, характере напора на верхней границе, фильтрационных свойствах водовмещающих пород, режиме и качестве подземных вод, защищенности водоносных горизонтов и комплексов, строении и составе зоны аэрации;

- сведения о гидрологических исследованиях.

Существуют три фактора, по которым можно выделить различные типы районов: потребность в искусственном восполнении эксплуатационных запасов подземных вод; емкость водоносного горизонта, определяющаяся их мощностью и фильтрационными свойствами; наличие возможного источника восполнения подземных вод (обычно поверхностные воды) определенного качества, пригодного для искусственного восполнения. На первом месте, безусловно, стоит потребность в искусственном восполнении эксплуатационных запасов подземных вод. В дальнейшем для краткости будут употребляться слова “потребность”, “емкость” и “источник”. Их сочетание определяет восемь возможных типов районов.

Территории, перспективные для систем искусственного восполнения, должны иметь и источник, и емкость. Соответственно, в других случаях даже при возникновении потребности (в том числе и сезонной), которая не удовлетворяется эксплуатационными запасами, возможность применения искусственного восполнения отсутствует, так как нет его источника либо емкости.

Таким образом, весь спектр районов может быть сведен всего к трем типам, обоснованным и правомерным с практической точки зрения:

- районы, перспективные для искусственного восполнения при наличии актуальной потребности в нем;

- районы, перспективные для искусственного восполнения при отсутствии современной потребности, но в них присутствуют все возможности, в том числе емкость и источник восполнения;

- районы, не перспективные для искусственного восполнения, в которых безотносительно

потребности отсутствует возможность проведения мероприятий по искусственному восполнению (либо отсутствие источника восполнения, либо недостаточность емкости водоносного горизонта для применения восполнения подземных вод в нужном количестве).

По вышеуказанным критериям построена схематическая карта районирования юга России по возможности искусственного восполнения (рис. 1).

Наличие емкости для создания систем искусственного восполнения – в некоторой степени изменчивый параметр. Его динамичность (возникновение) может быть связана с образованием обширных депрессионных воронок вследствие работы водозаборных сооружений. Например, обширные воронки депрессии, связанные с интенсивным крупным водоотбором, имеют место в Краснодарском крае [15]. Показатели, определяющие наличие емкости, пригодной для искусственного восполнения, следующие: мощность водоносного горизонта и зоны аэрации; состав водовмещающих пород водоносного горизонта, характеризующийся величиной недостатка насыщения (водоотдачи); величина водопроводимости. Учитывая, что величина недостатка насыщения для водоносных горизонтов, сложенных песчано-глинистыми породами, изменяется в небольших пределах и фактические данные, особенно регионального характера, практически отсутствуют, выполнено районирование территории по показателю емкости водоносного горизонта только на основании сведений по мощности водоносного горизонта и зоны аэрации, состава водовмещающих пород и в отдельных случаях – величины водопроводимости (рис. 2).

Ниже охарактеризованы основные гидрогеологические структуры юга ЕЧР по условиям и возможности искусственного восполнения подземных вод.

Восточно-Предкавказский (Терско-Кумский) артезианский бассейн охватывает территорию Ставропольского края.

Для эксплуатационного водоотбора в пределах Восточно-Предкавказского артезианского бассейна используются воды аллювиальных, аллювиально-флювиогляциальных и современных отложений, широко развитых на территории Западного Предкавказья.

В пределах Ставропольской возвышенности эксплуатационный водоотбор осуществляется из водоносного горизонта сарматского яруса неогена, водовмещающими породами которого служат мелкозернистые пески и песчаники.

В юго-восточной части Восточно-Предкавказского артезианского бассейна складываются наиболее благоприятные условия для формирования эксплуатационных запасов и ресурсов. Для Ставропольского поднятия характерны минимальные

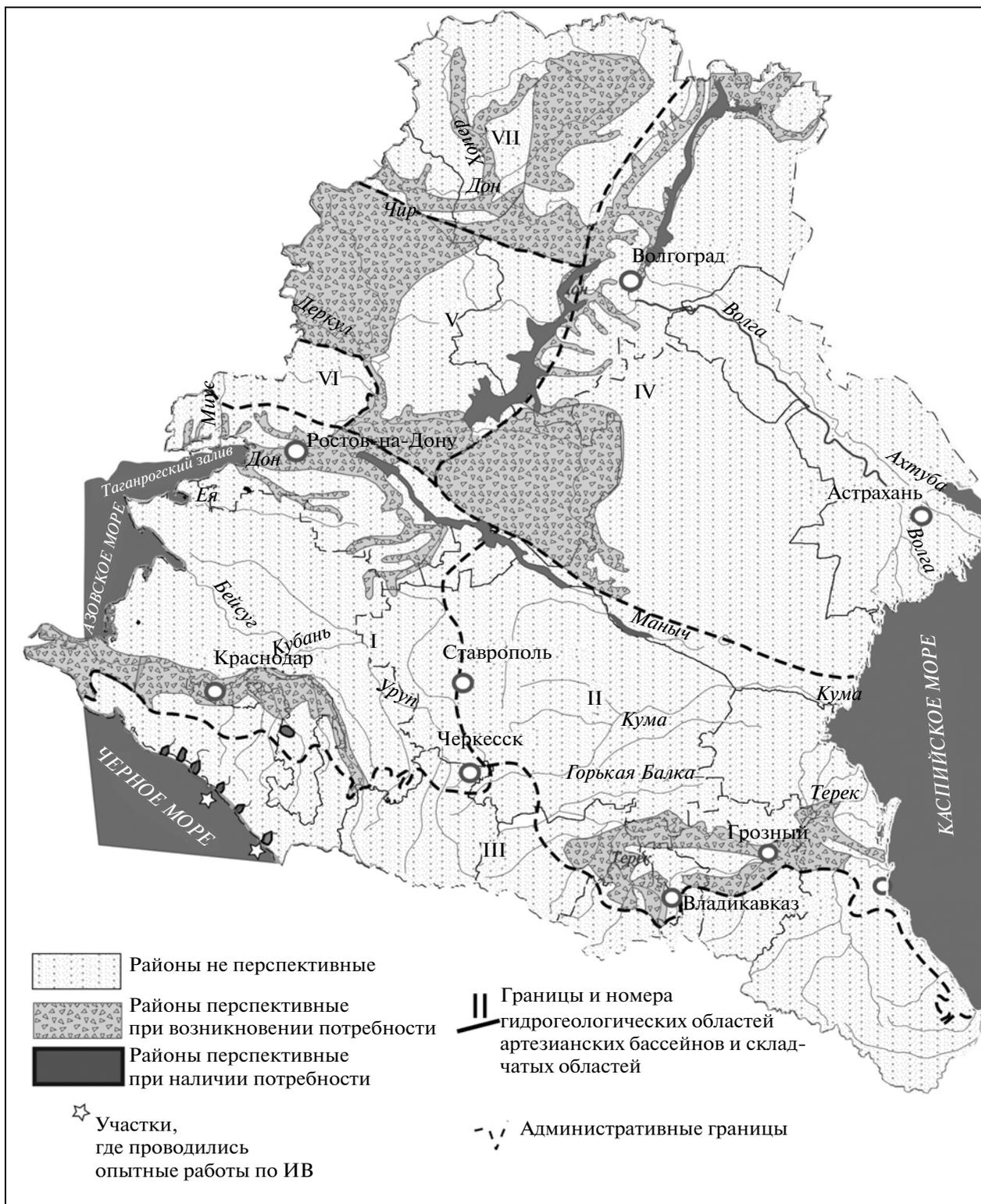


Рис. 1. Районирование территории юга ЕЧР по возможности искусственного восполнения.

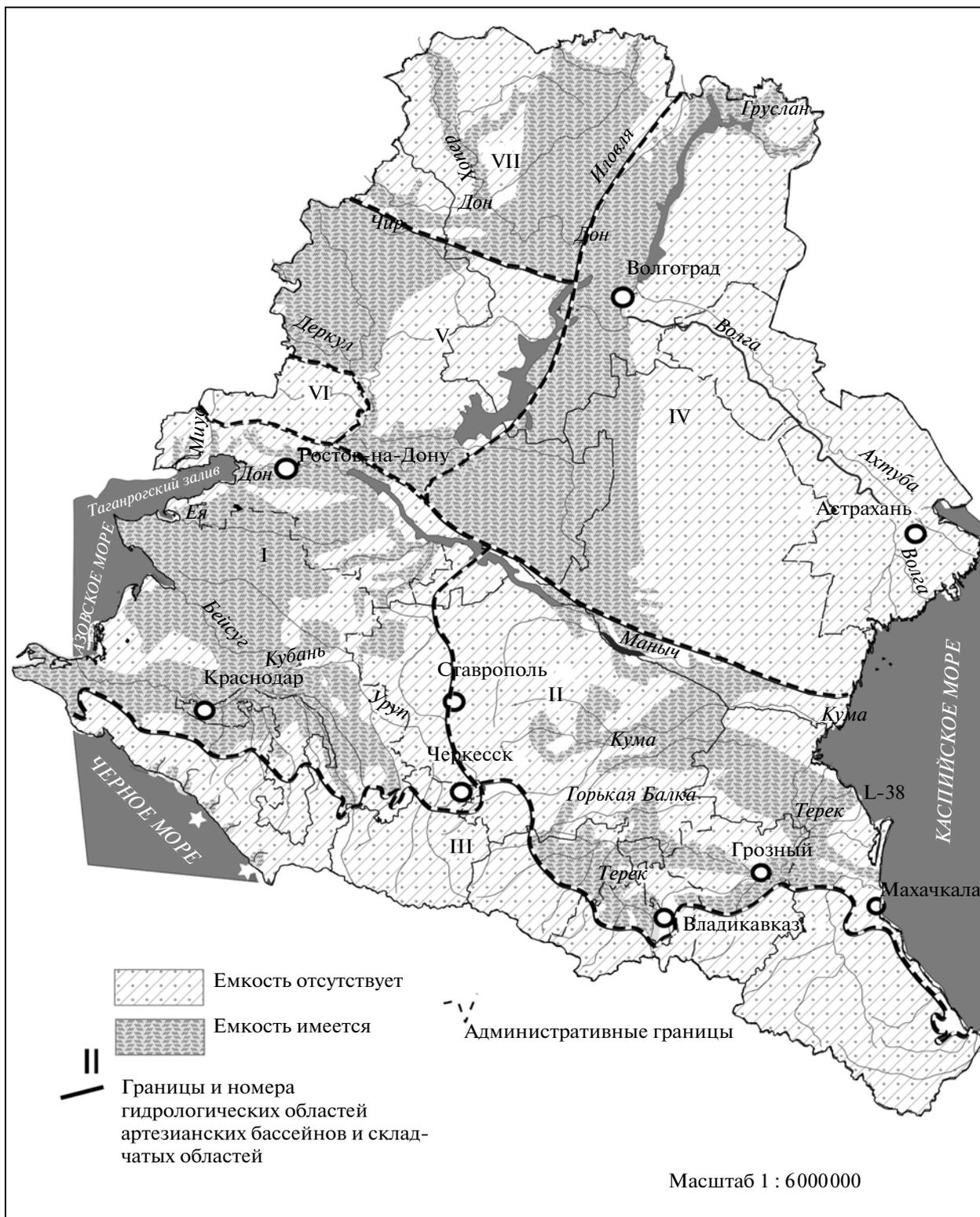


Рис. 2. Районирование территории юга ЕЧР по наличию вмещающей емкости для искусственного восполнения.

значения модуля подземного стока (не более 0.1 л/с км²). Все реки имеют постоянный сток, но водность их очень неравномерна в годовом и многолетнем разрезе.

В пределах Восточно-Предкавказского артезианского бассейна большинство рек, воды которых могли бы служить источником искусственного восполнения, относятся к бассейну Каспийского моря (речные системы Терека, Сулака, Малки, Ардона др.). Речная система р. Кумы охватывает всю центральную часть артезианского бассейна.

Наиболее крупные водозаборы, эксплуатирующие подземные воды, расположены в городах Нальчик и Владикавказ. Суммарная производительность водозаборов Нальчика превышает 50 тыс. м³/сут.

В пределах северной части Восточно-Предкавказского артезианского бассейна (Адыгейские степи) емкостью условно могут служить напорные водоносные горизонты сарматских, апшеронских, акчагыльских, неогеновых и морских четвертичных отложений. При этом отмечается, что на 50% территории полностью отсутствует емкость для искусственного восполнения.

Практически по всей территории развития аллювиальных и аллювиально-морских равнин, расположенных в пределах Терско-Кумского междуречья, отсутствуют емкости для искусственного восполнения и его источник. Потребность в искусственном восполнении, как правило, также отсутствует.

На территории синклинальных межгорных депрессий между Терским и Сунженским хребтами в пределах Восточного Предкавказья отсутствует потребность в искусственном восполнении, а также его источник.

На территории артезианского бассейна повсеместно получили развитие четвертичные отложения валунно-гравийно-галечного состава, которые могут служить хорошей емкостью для искусственного восполнения. Однако практически на всей площади района потребность в искусственном восполнении отсутствует. Источниками восполнения могут быть реки Асал, Акшат. Реки Сунжа, Золка, Нальчик сильно загрязнены промышленными стоками и в качестве источника искусственного восполнения в настоящее время служить не могут.

Гидрогеологическая складчатая область Большого Кавказа расположена на юге рассматриваемой территории. Горные области состоят из хребтов и межгорных депрессий, вытянутых с северо-востока на юго-запад.

В целом более 70% области – горные районы, поэтому их нецелесообразно рассматривать с точки зрения необходимости искусственного вос-

полнения подземных вод в связи с малой населенностью и наличием чистых поверхностных вод и большого количества родников, которые вполне удовлетворяют потребность в хозяйственно-питьевых водах. Исключение составляет Черноморское побережье, на котором расположен ряд больших городов (Сочи и Туапсе), а также крупные поселки.

Города Черноморского побережья обеспечивают свою потребность в пресной питьевой воде за счет эксплуатации аллювиальных водоносных горизонтов крупных долин таких рек, как Презуапсе, Мзымта, Псоу, Сочи и более мелких [1].

Месторождения подземных вод, приуроченные к аллювиальным отложениям рек Черноморского побережья, представляют собой узкие конусообразные долины шириной от 80–100 м до 1 км. Водовмещающие породы – песчано-гравийно-галечные отложения мощностью от 2–3 до 7–8 м с высокими фильтрационными свойствами, позволяющими оборудовать и эксплуатировать водозаборные скважины с дебитами 3–5 тыс. м³/сут и более. Водоснабжение этих городов основано на водозаборах инфильтрационного типа, где эксплуатационные запасы определяются, главным образом, возможностью притока речных вод.

При общей благоприятной гидродинамической обстановке возникают ситуации, когда водозаборные скважины не обеспечивают сезонную потребность и возникает необходимость искусственного восполнения.

Реки на территории Черноморского побережья имеют прямолинейные русла, ширину от 1–2 до 3–4 м и, что особенно важно, неравномерный годовой режим стока. Особо нужно отметить высокую мутность рек в период паводка, что ограничивает их использование в качестве источника искусственного восполнения.

По условиям искусственного восполнения на юге ЕЧР в пределах гидрогеологической складчатой области Кавказа выделены два района:

– переуглубленные долины Черноморского побережья, для которых в принципе имеются в наличии все три фактора – “сезонная” потребность, наличие рек в качестве источника искусственного восполнения и емкости в аллювиальных отложениях переуглубленных речных долин; к ним относятся вершинная и центральная части Гамри-Озеньского и Самурского конусов-выноса в Дагестане;

– горные районы Кавказских минеральных вод, в которых может быть выделен один участок, в пределах которого имеется источник восполнения, но отсутствует емкость для искусственного восполнения.

Каспийский артезианский бассейн приурочен к Каспийской впадине. Западная и частично се-

ро-западная части районируемой территории попадает в пределы Каспийского артезианского бассейна. Большая часть площади артезианского бассейна – равнина, имеющая уклон к Каспийскому морю.

Территория Каспийского артезианского бассейна обеспечена ресурсами пресных и слабосоленоватых подземных вод неравномерно [2]. На большей части его территории пресные и слабосоленоватые подземные воды развиты спорадически и в небольшом количестве.

В более благоприятных гидрогеологических условиях с точки зрения формирования значительных ресурсов подземных вод находится восточная часть бассейна – Актюбинские долины, а также долина Волги. Острый дефицит водных ресурсов отмечается в Ленинском и Среднеахтубинском районе Волгоградской обл. [16].

Перспективным с точки зрения организации систем искусственного восполнения является водоносный горизонт четвертичных аллювиальных отложений. Помимо данного горизонта, существенное значение имеет водоносный горизонт, развитый в отложениях верхнего мела. Установлено [16], что из верхнемеловых отложений допустимо осуществлять водоотбор с дебитами до 500 л/с. В перспективе такой водоотбор вызовет значительные понижения уровня подземных вод (>150 м), и образовавшиеся таким образом емкости смогут служить для целей искусственного восполнения.

На территории Каспийского артезианского бассейна на юге ЕЧР по морфогенетическому принципу выделено три района:

- аллювиальных равнин и речных террас долин Волги (Волго-Ахтубинская пойма) и Сала;
- развития озерно-аллювиальных, озерных и морских солончаковых впадин;
- эрозионно-пластовых ярусных возвышенных равнин.

В районе речных террас долин Волги и Сала особое место с точки зрения перспектив искусственного восполнения имеют непосредственно долины этих рек, где при отсутствии современной потребности имеются его потенциальный источник и емкость – аллювиальные отложения пойм.

В районе развития озерно-аллювиальных, озерных и морских солончаковых впадин создание систем искусственного восполнения не актуально. Отметим, что в пределах Калмыкии принципиально возможно создавать искусственные линзы пресных подземных вод, источником восполнения для которых могут служить талые и дождевые воды.

В районе эрозионно-пластовых ярусных возвышенных равнин выделено два подрайона:

– Ергенинский (простирающийся от г. Элисты до г. Волгограда), где существует потребность, но отсутствуют источник восполнения и емкость для него;

– Сырты, к юго-востоку от г. Волгограда, где практически отсутствует источник восполнения.

Восточная часть **Днепровско-Донецкого артезианского бассейна** охватывает территорию Ростовской и Волгоградской областей. В геоморфологическом отношении территория относится к Среднерусской возвышенности.

В целом территория обеспечена поверхностными и подземными водами. Известно [2], что потенциальные ресурсы подземных вод Днепровско-Донецкого артезианского бассейна велики. Подземные воды широко используются для водоснабжения населенных пунктов.

Эксплуатируемые водоносные горизонты в пределах Донецко-Донского артезианского бассейна – аллювиальный, палеогеновый и верхнемеловой.

Для целей искусственного восполнения меловые отложения пригодны в меньшей степени, чем аллювиальные, в связи со значительными глубинами их залегания.

Основным источником искусственного восполнения в пределах Днепровско-Донецкого артезианского бассейна могут служить воды речной сети, которая развита достаточно хорошо. Поверхностные воды характеризуются минерализацией до 1 г/л.

Современная потребность в искусственном восполнении подземных вод в восточной части артезианского бассейна отсутствует, а ограниченная емкость для восполнения позволяет отнести эту территорию к малоперспективной для целей искусственного восполнения.

Западная часть Днепровско-Донецкого артезианского бассейна, напротив, может рассматриваться как перспективная, здесь имеются источники восполнения – поверхностные воды р. Калитвы и ее притоков, а в качестве емкости могут рассматриваться водоносные комплексы карбонатных отложений мелового возраста.

На исследуемой территории получила ограниченное развитие восточная часть **Донецкой складчатой области**, охватывающая западные районы Ростовской обл.

Территория области в целом отнесена к недостаточно обеспеченным подземными и поверхностными водами хорошего качества [8]. Большое количество воды извлекается при шахтном водоотливе. Однако шахтные воды не могут рассматриваться в качестве источника восполнения запасов в силу того, что не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к качеству питьевых вод, и характеризуются высокой кислотностью. К со-

жалению, в настоящее время эти воды без предварительной очистки сбрасываются в речную и овражно-балочную сеть, что приводит к интенсивному загрязнению как поверхностных, так и подземных вод.

Основные водоносные горизонты Донецкого бассейна приурочены к каменноугольным и верхнемеловым отложениям, для которых характерно переслаивание песчаников, аргиллитов и алевролитов, известняков и углей.

Основным источником восполнения запасов могут служить речные воды, но, по данным мониторинга [8], в пределах территории Донецкого артезианского бассейна в Ростовской обл. речная сеть загрязнена вследствие сброса шахтных и сточных вод промышленных предприятий. Мутность рек превышает предельно допустимые нормы, вода зачастую имеет повышенное содержание нефтепродуктов, нитратов. Таким образом, для использования речных вод в качестве источника искусственного восполнения имеются существенные ограничения.

В результате анализа всего комплекса факторов: потребность—источник—емкость можно сказать, что данный район испытывает потребность в искусственном восполнении, но емкость для него и источник, как правило, отсутствуют. Поэтому территория может рассматриваться как неперспективная для целей искусственного восполнения.

Приволжско-Хоперский артезианский бассейн выделяется на севере и северо-западе районированной территории. Он охватывает часть территории Волгоградской обл.

В пределах границ территории Приволжско-Хоперского артезианского бассейна критических проблем с водой хозяйственно-питьевого назначения, по данным мониторинга [15], в настоящее время не имеется. Крупных водозаборов, на которых целесообразно проводить искусственное восполнение, на территории нет.

При наличии Волгоградского водохранилища и довольно густой речной сети (реки Дон, Медведица и др.) в целом территорию Приволжско-Хоперского артезианского бассейна следует считать удовлетворительно обеспеченной водными ресурсами [6].

В долинах рек, как правило, в небольших объемах эксплуатируются аллювиальные водоносные горизонты, которые могут быть перспективны как емкости для целей восполнения запасов. На некоторых площадях аллювиальный водоносный комплекс совмещен с неогеновым и эксплуатируется совместно с ним. Водовмещающими породами являются песчано-гравийные отложения с прослоями супесей, суглинков и глин.

На территории Приволжско-Хоперского артезианского бассейна развиты водоносные ком-

плексы палеогенового возраста, представленные песками, песчаниками, опоками и мергелями. В качестве емкости для искусственного восполнения данные водоносные комплексы могут использоваться ограниченно — лишь в том случае, когда они имеют тесную гидравлическую связь с аллювиальным водоносным горизонтом.

В пределах Приволжско-Хоперского артезианского бассейна повсеместно развит водоносный комплекс каменноугольных отложений, который перспективен для эксплуатации на междуречье Сура—Хопер. Водоносный комплекс представлен известняками, реже песчаниками. В настоящее время этот водоносный комплекс практически не используется для целей водоснабжения.

В качестве источников восполнения могут служить воды рек бассейна Дона и Хопра, Медведицы и ее притоков. Воды рек — пресные, минерализация их не превышает 1 г/л. Мутность рек зачастую изменяется от 4 до 40 мг/л, а в р. Медведице — в паводок достигает 500—600 мг/л. Использование речных вод при создании систем искусственного восполнения требует особых исследований, так как, помимо повышенной мутности, имелись случаи загрязнения рек нефтепродуктами, фенолами и др. [15].

На территории долин рек Медведица, Хопер, Дон также выделен подрайон в аллювиально-аккумулятивных неоген-четвертичных отложениях речных долин, в котором при отсутствии потребности имеется емкость для искусственного восполнения — аллювиальные водоносные горизонты и его источник. Отметим, что в рамках данного исследования возможный источник искусственного восполнения может рассматриваться как условный, так как достоверные данные о качестве поверхностных вод отсутствуют, но существуют сведения о случаях загрязнения речных вод.

На остальной территории потребности в искусственном восполнении нет, его источника также нет, емкостью могут служить водоносные горизонты меловых и каменноугольных отложений.

Азово-Кубанский артезианский бассейн охватывает территорию юго-западной части Ростовской обл., Краснодарского и Ставропольского краев.

В геоморфологическом отношении — это Азово-Кубанская низменность, плоская аккумулятивная равнина, на которой преобладают водораздельные пространства с абсолютными отметками до 150—200 м.

Для водоснабжения городов и поселков территории Азово-Кубанского артезианского бассейна используются воды четвертичных и неогеновых отложений. Отметим, что ресурсы подземных вод в пределах этого бассейна распределены крайне неравномерно. Зачастую потребность крупных городов Ростовской обл. (Ростов-на-Дону, Шахты, Новочеркасск, Таганрог), особенно в северо-

западной части бассейна, удовлетворяется за счет поверхностных вод.

На территории Азово-Кубанского артезианского бассейна имеется ряд крупных водозаборов (водоотбор >30 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$) в городах Таганрог, Краснодар, Майкоп. Троицкий водозабор отбирает >40 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$. Крупный водоотбор на территории вызывает рост депрессионных воронок.

В перспективе потребность в питьевых подземных водах могут испытывать города Крымск, Тимашевск, Усть-Лабинск, Апшеронск, Армавир, Кропоткин, Анапа, Приморско-Ахтарск и др.

В качестве емкости для искусственного восполнения были выбраны водоносные горизонты, соответствующие следующим параметрам: мощность водовмещающих пород не менее 5 м, коэффициент фильтрации водовмещающих пород не менее $10\text{--}20$ м/сут, водопроницаемость не менее 100 $\text{м}^2/\text{сут}$, мощность зоны аэрации не менее 3 м. Исходя из данных параметров была составлена схематическая карта районирования территории Азово-Кубанского артезианского бассейна по наличию вмещающей емкости для искусственного восполнения (рис. 3).

Ниже кратко рассмотрены водоносные горизонты, которые частично могут быть использованы в качестве емкости для искусственного восполнения при наличии потребности в нем. При анализе водоносных горизонтов использовались материалы [12].

Водовмещающие породы водоносного горизонта современных аллювиальных отложений в верхнем течении р. Кубани и ее притоков представлены грубым валунно-галечным материалом с преобладанием крупных валунов (коэффициент фильтрации $100\text{--}250$ м/сут), глубина залегания водоносного горизонта в некоторых местах достигает 3 м, мощность водоносного горизонта составляет до 9 м.

В среднем течении р. Кубани от г. Черкесска до ст. Григорополисская водовмещающие породы — в основном галечники с гравийно-песчано-глинистым заполнителем. Их коэффициент фильтрации изменяется от 25 до 56 м/сут. Мощность водоносного горизонта составляет от 4 до 10 м, глубина залегания водоносного горизонта — до 3.4 м.

Верхнечетвертичные отложения в районе г. Кропоткина представлены галечниками с песчаным заполнителем и мелкозернистыми песками, мощность которых составляет ~ 30 м. Однако водоупорные слои не имеют сплошного распространения, поэтому горизонт гидравлически связан с водами более древних террас. Ниже г. Краснодара в горизонте залегает несколько водоносных слоев, разделенных водоупорными глинами. Глубина залегания варьирует от 2 до 3 м на площади

поверхностного распространения террас и до 40 м — в прибрежной зоне.

На участке выше с. Петроградного, а также между селениями Привольным и Летник верхнечетвертичные аллювиальные отложения долины р. Егорлык представлены хорошо промытыми песками и супесями мощностью 2.5–13 м. Коэффициент фильтрации их, по данным опытных откачек, равен 13.3–14.9 м/сут.

На левобережье р. Кубани от г. Армавира до р. Абин широкой полосой протягивается средне-четвертичная терраса, представленная гравийно-галечными и песчано-галечными образованиями. Ее мощность составляет от 5 до 70 м, а глубина залегания водоносного горизонта — до 20 м.

В пределах Закубанской аллювиальной наклонной равнины и на правобережье р. Кубани широко развит водоносный горизонт нижнечетвертичных аллювиальных отложений. В основном он представлен валунно-галечными и песчано-галечными отложениями, перекрывающимися суглинками различного генезиса. Коэффициент фильтрации четвертичных отложений составляет 5–18 м/сут, коэффициент водопроницаемости — $245\text{--}780$ $\text{м}^2/\text{сут}$. Глубина залегания грунтовых вод составляет от 1 до 44 м, причем она увеличивается в северо-западном направлении.

В районе г. Ейска водовмещающие породы — пески, реже — галечники. Приуроченные к ним воды залегают на глубине 24–63 м, их мощность достигает 40 м.

В юго-западной части Азово-Кубанского артезианского бассейна, к западу от меридиана г. Краснодара распространен водоносный горизонт песчано-галечных отложений. На большей площади его распространения водовмещающие породы — мелко- и среднезернистые пески, в южной части бассейна — местами и галечники. Значения водопроницаемости водоносных слоев достигает 240 $\text{м}^2/\text{сут}$, мощность — 30 м. Глубина залегания рассматриваемых слоев — от 67 до 259 м. Они часто гидравлически связаны с водами вышележащих древнечетвертичных аллювиальных отложений вследствие однородности литологического состава.

Отложения киммерийского яруса распространены почти на всей площади Азово-Кубанского артезианского бассейна. Их мощность составляет до 600 м в его западной части и до 200 м на Тамани. На Ейском п-ове киммерийский ярус представлен толщей мелко- и среднезернистых песков с линзами песчаных глин. Коэффициент фильтрации данных песков составляет до 15 м/сут, коэффициент водопроницаемости — 758 $\text{м}^2/\text{сут}$.

Отложения верхнего сармата представлены песками, песчаниками, известняками-ракушечниками мощностью от 27 м в юго-восточной ча-

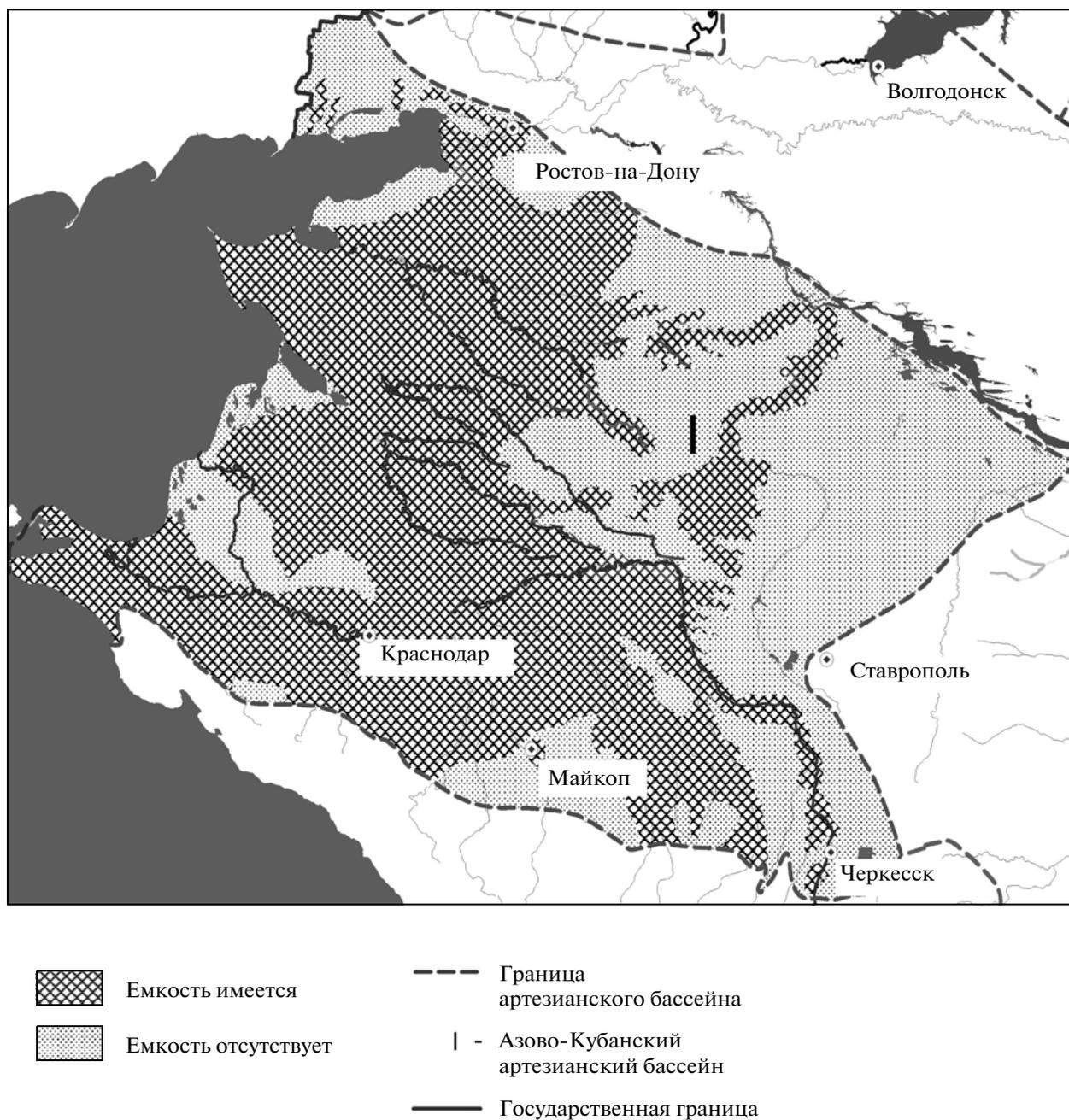


Рис. 3. Районирование территории Азово-Кубанского артезианского бассейна по наличию вмещающей емкости для искусственного восполнения.

сти территории в долине р. Кубани. В пределах Адыгейского выступа в районе г. Майкопа отложения среднего сармата представлены глинистыми песками, в основании которых прослеживается толща песков мощностью 10–25 м.

Таким образом, по наличию емкости для искусственного восполнения подземных вод наиболее подходящие водоносные горизонты – верхнечет-

вертичных отложений; верхне- и среднетвертичных отложений (в долине р. Кубани); в меньшей степени – киммерийский (на Миусском п-ове эти горизонты гидравлически связаны с водоносным горизонтом морских четвертичных отложений).

Источниками искусственного восполнения в пределах Азово-Кубанского артезианского бас-

Таблица 1. Районирование территории Азово-Кубанского артезианского бассейна по условиям искусственного восполнения

Районы	Потребность в искусственном восполнении	Возможный источник восполнения подземных вод	Емкость водоносного горизонта
Комплекс речных террас рек Дон, Западный Маныч, Кубань			
Долины рек Дон, Западный Маныч, Кагальник, Егорлык, Кубань	нет	есть	есть
Долина р. Средний Егорлык	есть	нет	нет
Междуречье рек Лабы и Урупа	нет	нет	нет
Нижнее течение р. Кубани	нет	есть	есть
Морская равнина на Миусском п-ове			
	нет	нет	есть
Плиоцен-четвертичные равнины и плато – междуречья рек Дон, Западный Маныч, Кагальник, Кубань			
Окрестности г. Майкопа	есть	есть	есть
Северное побережье Таганрогского зал. и долина нижнего течения р. Кубани	нет	есть	есть
Водораздельные пространства рек Дон, Западный Маныч, Кагальник, Кубань	нет	нет	нет
Южная часть Ростовской обл. и участок в междуречье рек Кубань и Ея	нет	нет	нет
Междуречье рек Западный Маныч, Сал, Кагальник на возвышенных участках долины р. Кубани	нет	нет	нет

сейна могут служить поверхностные воды Дона, Кубани и др. Все реки бассейна Кубани имеют постоянный сток. Особо нужно отметить, что существует неуклонный рост загрязнения рек промышленными стоками, что снижает их возможное использование в качестве источника искусственного восполнения.

На территории Азово-Кубанского артезианского бассейна по морфогенетическому признаку выделено три района:

- комплекс речных террас Дона, Западного Маныча, Кубани;
- морская равнина на Миусском п-ове;
- плиоцен-четвертичные равнины и плато – междуречья Дона, Западного Маныча, Кагальника, Егорлыка, Еи, Кубани.

По условиям искусственного восполнения в пределах речных террас Дона, Западного Маныча, Кубани выделен ряд подрайонов:

- в долинах Дона, Западного Маныча, Кагальника, Егорлыка, Кубани; потребность искусственного восполнения отсутствует, но источник есть, емкостью для искусственного восполнения

могут служить водоносные горизонты аллювиальных и аллювиально-флювиогляциальных отложений;

- в долине р. Средний Егорлык, где потребность в искусственном восполнении есть, но нет источника (воды реки соленые);

– междуречье рек Лаба и Уруп, где потребности в искусственном восполнении в настоящее время нет, но в случае ее возникновения речные воды не могут использоваться в качестве источника искусственного восполнения ввиду их сильной загрязненности;

- нижнее течение р. Кубани – потребности в искусственном восполнении нет, есть источник и емкость.

В пределах морской равнины на Миусском п-ове потребности в искусственном восполнении нет, но в случае необходимости емкостью может служить водоносный горизонт морских четвертичных отложений.

В пределах междуречий Дона, Западного Маныча, Кагальника, Егорлыка, Еи, Кубани также выделяется ряд подрайонов (табл. 1):

Таблица 2. Районирование Азово-Кубанского артезианского бассейна по перспективности искусственного восполнения

Районы неперспективные
Междуречье рек Лаба и Уруп
Водораздельные пространства рек Дон, Западный Маныч, Кагальник, Кубань
Южная часть Ростовской обл.
Междуречье рек Кубань и Ея
Междуречье рек Западный Маныч, Кагальник, Сал и возвышенные участки долины р. Кубани
Морская равнина на Миусском п-ове
Долина р. Средний Егорлык
Районы перспективные при возникновении необходимости
Долины рек Дон, Западный Маныч, Кагальник, Егорлык, Кубань
Северное побережье Таганрогского зал.
Безусловно перспективный район
Окрестности г. Майкопа

– окрестности г. Майкопа; емкость – водоносный горизонт верхнего и среднего сармата – в пределах воронки депрессии, созданной водоотбором; источник – воды р. Белой; потребность искусственного восполнения есть;

– северное побережье Таганрогского зал. и долина нижнего течения р. Кубани; потребности искусственного восполнения нет, емкость и источник есть;

– водораздельные пространства – потребности искусственного восполнения нет, источника нет;

– южная часть Ростовской обл. и участок в междуречье Кубани и Ея; потребности искусственного восполнения нет, источника нет;

– междуречье Западного Маныча, Сала, Кагальника на возвышенных участках долины

р. Кубани; потребности в искусственном восполнении нет, емкости нет, источника нет.

Анализ выделенных подрайонов по наличию-отсутствию того или иного фактора позволил по сочетанию трех факторов (потребность в искусственном восполнении, наличие источника и емкости) выделить в пределах Азово-Кубанского бассейна только один район, в котором искусственное восполнение действительно актуально, – г. Майкоп, где существует необходимость и возможность искусственного восполнения (наличие источника и емкости).

В случае возникновения потребности (рост водоотбора) актуальными для искусственного восполнения (существуют источник и емкость) можно считать долины Дона, Западного Маныча, Кагальника, Егорлыка, Кубани, а также Северное побережье Таганрогского зал. (табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

При искусственном восполнении происходит интенсификация производительности водозабора без существенного переустройства сложившейся системы эксплуатации. В связи с этим целесообразно применять данный метод повышения производительности водоотбора при существующей переэксплуатации водозаборов. Важно отметить, что при искусственном восполнении возможно улучшение качества подземных вод.

Значительный опыт работ по искусственному восполнению накоплен за рубежом, прежде всего – в Германии и Голландии. В России и в бывших республиках СССР искусственное восполнение подземных вод практически не используется.

На основании выполненных исследований составлена схематическая карта районирования территории по перспективности искусственного восполнения запасов подземных вод.

В Восточно-Предкавказском (Терско-Кумском) артезианском бассейне перспективные для искусственного восполнения при возникновении необходимости выделяются подрайоны в нижнем течении рек Сулак, Терек, Проток, а также подрайон Притеречной и Сунженской равнин.

В пределах **Гидрогеологической складчатой области Большого Кавказа** в переуглубленных долинах Черноморского побережья имеются в наличии все три фактора – “сезонная” потребность, наличие рек в качестве источника искусственного восполнения и емкости в аллювиальных отложениях. В горных районах возможность искусственного восполнения практически отсутствует, за исключением вершинной и центральной частей Гамри-Озеньского и Самурского конусов выноса в Дагестане.

В пределах территории **Каспийского артезианского бассейна** перспективным для искусственного восполнения является только район долин рек Волги, Сала и мелких рек, впадающих в Цимлянское море с востока. Вопрос об искусственном восполнении в перспективе возникнет при решении проблем водоснабжения г. Элисты.

Практически на половине площади **Днепровско-Донецкого артезианского бассейна** нет емкостей для искусственного восполнения. Восточная часть бассейна может быть отнесена к неперспективным районам. Западная часть может рассматриваться как перспективная.

Вся территория **Донецкого артезианского бассейна** может рассматриваться как неперспективная для целей искусственного восполнения.

В **Приволжско-Хоперском артезианском бассейне** по долинам рек Медведица, Хопер, Дон выделен подрайон в аллювиально-аккумулятивных неоген-четвертичных отложениях речных долин, в котором имеется емкость для искусственного восполнения и его источник.

На территории **Азово-Кубанского артезианского бассейна** острой потребности в искусственном восполнении, за исключением г. Майкопа, нет. В случае возникновения потребности актуальными для искусственного восполнения можно считать долины Дона, Западного Маныча, Кагальника, Егорлыка, Кубани, а также Северное побережье Таганрогского зал.

Можно ожидать особую эффективность искусственного восполнения для увеличения производительности береговых инфильтрационных водозаборов (на территории 80% именно таких водозаборов).

Для искусственного восполнения могут быть использованы месторождения в конусах выноса в Южном Дагестане [7].

В настоящее время острая потребность в сезонном искусственном восполнении существует на черноморском побережье на водозаборах городов Сочи, Туапсе, а также г. Майкопа. В ближайшей перспективе потребность искусственного восполнения может возникнуть на водозаборах городов Орджоникидзе, Элиста. Альтернативой поиску и разведке новых месторождений в южном Дагестане может быть магазинирование подземных вод в конусах выноса.

В связи с необходимостью повышения производительности на отдельных водозаборах территории юга ЕЧР требуется дальнейшее детальное уточнение реальных потребностей в искусственном восполнении.

Окончательное решение об искусственном восполнении запасов подземных вод на действующих или проектных водозаборах юга ЕЧР должно приниматься только на основе сравнительной

технико-экономической оценки вариантов водоснабжения.

ВЫВОДЫ

На основании имеющихся данных и результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Искусственное восполнение — один из важных способов предотвращения истощения эксплуатационных запасов подземных вод водозаборов и отдельных участков месторождений подземных вод.

Необходимость в искусственном восполнении подземных вод определяется на основе анализа режима работы существующих водозаборных сооружений, включая, прежде всего, прогрессирующее снижение динамического уровня подземных вод, развитие депрессионных воронок и опасность возникновения негативных экологических последствий (проседание земной поверхности, интрузии морских или сильноминерализованных подземных вод в эксплуатируемый водоносных горизонт, угнетение и гибель растительности и др.).

Возможность искусственного восполнения подземных вод конкретных водозаборов или участков месторождений подземных вод определяется сочетанием трех основных факторов: наличием потребности в искусственном восполнении (необходимость предотвращения истощения эксплуатационных запасов водозаборов или увеличение отбора подземных вод для покрытия существующей или перспективной потребности в подземной воде); наличием источника восполнения, его близостью и качеством воды в водоисточнике; наличием необходимой емкости в водоносном горизонте или зоне аэрации для “приема” необходимого дополнительного количества воды.

Целесообразность применения искусственного восполнения подземных вод определяется, прежде всего, на основании технико-экономического анализа стоимости сооружения систем искусственного восполнения подземных вод и стоимости сооружения других источников водоснабжения (водохранилищ, прудов, каналов и др.) с учетом систем водоподготовки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боревский Б.В., Ершов Г.Е.* Оценка эксплуатационных запасов подземных вод при неравномерном водоотборе в речных долинах в условиях сброски и восполнения их емкостных запасов // Разведка и охрана недр. 2005. №11 С. 25–30.
2. Ресурсы подземных вод СССР и перспективы использования. М.: Недра, 1977. 279 с.
3. *Жоров А.А.* Подземные воды и окружающая среда М.: Геоцентр-Москва, 1995. 136 с.

4. *Жоров А.А.* Подземные воды и окружающая среда М.: Геоцентр-Москва, 1995. 138 с.
5. *Зекцер И.С.* Подземные воды Мира: ресурсы, использование, прогнозы. М.: Наука, 2007. 438 с.
6. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Волгоградской области за 2009 год. Вып. № 12. Волгоград, 2010.
7. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Республики Дагестан за 2009 год. Вып. № 13. Махачкала, 2010.
8. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Ростовской области за 2009 год. Вып. № 14. Ростов-на-Дону, 2010.
9. *Плотников Н.А.* Проектирование систем искусственного восполнения подземных вод для водоснабжения. М.: Стройиздат, 1983. 230 с.
10. *Плотников Н.А., Алексеев В.С.* Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. М.: Стройиздат, 1990. 256 с.
11. *Плотников Н.И., Плотников Н.А., Сычев К.И.* Гидрогеологические основы искусственного восполнения запасов подземных вод. М.: Недра, 1978. 301 с.
12. *Славянова Л.В., Лумельский И.Л.* Гидрогеология Северного Кавказа. М., 1970. 415 с.
13. *Сычев К.И., Чернов А.С., Плотников Н.А., Волосевич Ю.И.* Методические рекомендации по применению систем искусственного пополнения запасов подземных вод в различных природных условиях территории СССР. М.: ВСЕГИНГЕО, 1985. 90 с.
14. *Хордикайнен М.А.* О принципах и методике районирования территории СССР по условиям создания искусственных запасов подземных вод // Гидрогеологическое обоснование искусственного пополнения запасов подземных вод. М.: ВСЕГИНГЕО, 1973. 135–148 с.
15. <http://south-gm.jino.ru>
16. <http://www.rusouth.info>