

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИИ
ГИДРО-
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИИ
ПОД ВЛИЯНИЕМ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

556

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИЙ
ПОД ВЛИЯНИЕМ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

2468



МОСКВА «НЕДРА» 1978



Оценка изменений гидрогеологических условий под влиянием производственной деятельности. Под ред. В. М. Фомина. М., «Недра», 1978. 264 с. (Все-союз. научн.-исслед. ин-т гидрогеологии и инженерной геологии).

Книга посвящена разработке методических положений прогноза изменения гидрогеологических условий под влиянием производственной деятельности с освещением основных результатов исследований в этой области.

Излагаются вопросы изучения естественного режима подземных вод, рассмотрено влияние отбора подземных вод для водоснабжения на изменение гидрогеологических условий территории СССР. Приводится методика оценки влияния водохранилищ на ресурсы и запасы подземных вод и на ее основе рассмотрено количественное влияние каскада Волжских и Днепровских водохранилищ на режим, ресурсы и запасы подземных вод; дается методика оценки влияния орошения на режим и баланс подземных вод с примерами расчета по орошаемым участкам. Рассмотрены вопросы загрязнения подземных вод и их охраны, подземное захоронение промстоков и основные положения и перспективы создания искусственных запасов подземных вод.

Книга рассчитана на гидрогеологов, гидрологов, горняков, гидротехников, мелиораторов, а также на научных работников и преподавателей соответствующих специальностей.

Табл. 30, ил. 42, список лит.— 96 назв.

Редактор

В. М. ФОМИН

Заместители редактора

В. Д. БАБУШКИН, И. В. ГАРМОНОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема охраны природы и рационального использования природных ресурсов имеет огромное экономическое и социальное значение. Особую остроту этот вопрос приобрел за последнее десятилетие. Недостаточное внимание к охране природы и рациональному использованию природных ресурсов может нанести большой ущерб окружающей среде.

Рациональное использование природных богатств нашло полное отражение в политике и решениях ЦК КПСС, Президиума Верховного Совета СССР и Совета Министров СССР, а также в решениях XXIV и XXV съездов КПСС.

Многие страны мира, даже богатые водой, ощущают сейчас острый недостаток ее в промышленных и сельскохозяйственных районах. Обеспечение чистой пресной водой и охрана вод от загрязнения считается одной из наиболее острых проблем современности.

Гидротехническое строительство, разработка полезных ископаемых, мелиорация земель и другие инженерные мероприятия оказывают существенное влияние на гидрогеологические условия окружающей среды.

Для сознательного воздействия на происходящие в природе процессы в связи с производственной деятельностью необходимо познать их направленность, уметь их научно предвидеть, т. е. прогнозировать, с тем чтобы можно было разработать необходимые технические мероприятия для борьбы с вредными последствиями производственной деятельности человека.

Поэтому в настоящей монографии значительная роль отведена разработке методических рекомендаций и прогнозу влияния эксплуатации водозаборов и водохранилищ, мелиорации земель и горнорудных разработок на изменение гидрогеологических условий окружающих территорий.

В ней рассмотрены также вопросы влияния производственной деятельности на загрязнение подземных вод, их охраны и восполнения.

Большое значение при гидрогеологических исследованиях имеет прогноз нарушенного режима подземных вод, особенно при мелио-

рации земель, проектировании водохранилищ и ряда других инженерных сооружений. При исследовании по каскаду волжских водохранилищ, рассмотренных в работе, было проведено сопоставление данных прогноза режима подземных вод, выполненного при проектировании водохранилищ, с фактическими данными при заполнении водохранилищ. Имеющиеся расхождения в основном связаны с неправильно принятыми при прогнозировании режима подземных вод величинами гидрогеологических параметров. Поэтому дальнейшей задачей в этом направлении является совершенствование методики прогноза нарушенного режима подземных вод.

Наиболее перспективным методом прогноза нарушенного режима подземных вод в районе строительства гидротехнических сооружений, приводящих в большинстве случаев к широким региональным изменениям гидрогеологических условий, является метод математического моделирования, который позволяет выполнить прогнозы режима подземных вод с более полным учетом гидрогеологических условий территории.

Составление и подготовка к изданию работы выполнены Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) при участии Горьковской, Куйбышевской, Саратовской и Северо-Уральской гидрогеологических партий Министерства геологии РСФСР и Павлоградской геологоразведочной экспедиции Министерства геологии УССР.

ГЛАВА I

ЕСТЕСТВЕННЫЙ РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ПРОБЛЕМА ОХРАНЫ ПРИРОДЫ

Изучение режима подземных вод, проводившееся до недавнего времени только для более полной характеристики гидрогеологических условий, превратилось в одну из важнейших отраслей гидрогеологии.

В последнее время широко используются результаты наблюдений за естественным режимом подземных вод для решения различных задач количественной оценки гидрогеологических процессов, происходящих как в естественных, так и в нарушенных условиях. Среди таких задач в первую очередь можно отметить:

— оценку тенденций в режиме подземных вод и определение экстремальных положений уровня в многолетнем разрезе;

— использование прогноза режима подземных вод для установления экстремальных положений уровня внутри годовичного цикла колебаний;

— использование наблюдений за естественным режимом подземных вод при моделировании и, в частности, для решения так называемых обратных задач;

— определение и уточнение гидрогеологических параметров и в некоторых случаях граничных условий, используемых при различных аналитических расчетах и моделировании;

— изучение влияния режима подземных вод на инженерно-геологическое состояние территории.

Инженерно-хозяйственная деятельность человека во многом изменяет естественные гидрогеологические условия (снижаются или повышаются уровни, изменяются минерализация и температура, а также условия питания подземных вод и др.).

Вследствие крупных нарушений естественных условий, значительно превышающих по своему воздействию естественные изменения, наблюдаемые в водоносном горизонте (например, значительное снижение уровня подземных вод), иногда отмечается пренебрежительное отношение к изучению режима подземных вод в естественных условиях, якобы не имеющего какого-либо существенного значения.

Однако внимательное и длительное изучение режима подземных вод показывает ошибочность такого представления. Знание естественного режима подземных вод необходимо при любой величине нарушения естественной обстановки для количественной оценки изменения гидрогеологического процесса и для прогноза дальнейшего его развития.

Без знания закономерностей естественного режима подзем-

ных вод не представляется возможным оценить силу воздействия искусственных факторов и размеры нарушения естественного режима.

Именно нарушение естественных природных условий и вызывает необходимость более тщательного изучения закономерностей естественного режима подземных вод наряду с обязательным изучением нарушенного режима. По характеру воздействия выделяются искусственные факторы [58]:

1) осушающие водоносные горизонты (водозаборы, горный водоотлив, сельскохозяйственный и строительный дренаж, асфальтовые покрытия и городская застройка и др.);

2) обводняющие водоносные горизонты (подтопление и подпор водохранилищ, сельскохозяйственное орошение и поля фильтрации бытовых вод, сброс и захоронение промстоков, законтурное заводнение нефтяных месторождений и др.).

Следует заметить, что по времени воздействия среди отмеченных искусственных факторов можно различать факторы действующие: 1) длительное время (водозаборы, горный водоотлив, асфальтировка и застройка территории и др.); 2) периодически — сезонно (сельскохозяйственное орошение) и 3) эпизодически (сброс промстоков или строительный водоотлив и др.). В результате инженерно-хозяйственной деятельности можно различать три степени нарушения естественного режима подземных вод.

1. Слабо нарушенный режим подземных вод характеризуется сохранением ранее существовавших сроков наступления характерных положений уровня внутри года, неизменностью тенденций в многолетнем режиме и незначительным изменением годичных амплитуд колебаний уровня, температуры и химического состава подземных вод. К районам со слабо нарушенным режимом грунтовых вод относят, например, массивы, на которых ежегодно производится вспашка земель без применения оросительных мелиоративных мероприятий. В большинстве случаев слабо нарушенный режим подземных вод практически не отличим от естественного режима.

2. Нарушенный режим подземных вод характеризуется изменением сроков наступления характерных положений уровня внутри года, наблюдающихся в естественных условиях, но обязательным прослеживанием их, существенным изменением годичных амплитуд колебаний уровня температуры и химического состава подземных вод. На рис. 1 и рис. 2 приводятся примеры нарушенного режима подземных вод.

На рис. 1 представлены многолетние колебания расходов р. Ахангаран, атмосферных осадков, температуры воздуха, уровней грунтовых вод и расходов водозаборов в средней части долины этой реки.

На рис. 1 можно отчетливо проследить прямую зависимость колебаний уровня грунтовых вод от колебаний расхода р. Ахангаран, независимо от роста водоотбора. При этом в скв. 1р-э, где наблюдается естественный режим, амплитуды колебаний уровня

грунтовых вод оказались меньше, чем в скв. 501н и скв. 535н, по которым наблюдается нарушенный в результате эксплуатации режим грунтовых вод.

На рис. 2 представлены графики многолетних колебаний уровня грунтовых вод в совершенно других условиях. В скв. 68 наблюдается естественный режим грунтовых вод в г. Москве, в скв. 189 нарушенный режим, образовавшийся при изменении условий питания в результате асфальтировки и городской застройки, а в скв. 309 также нарушенный режим в результате работы дрены.

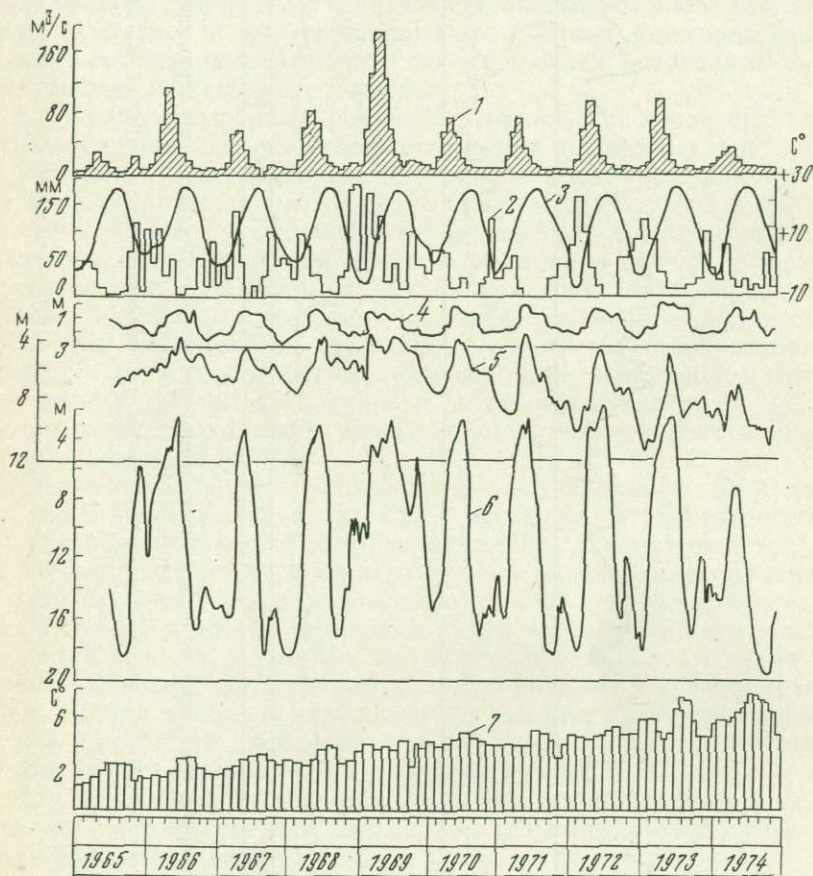


Рис. 1. Многолетние графики колебания расходов р. Ахангаран, осадков и температуры воздуха, уровней грунтовых вод и расходов водозаборов в средней части долины р. Ахангаран (по данным В. М. Дубинского, Алмалыкская ГГЭ Ташк. ГУ).

1 — расходы р. Ахангаран по посту Турк; 2 — осадки по метеостанции «Ангрен» (мм); 3 — температура воздуха по метеостанции «Ангрен»; 4, 5, 6 — уровни грунтовых вод по наблюдательным скважинам в районе Алмалыкского водозаборного комплекса (4 — скважина 1р-3 на Карахтайском водозаборе находится в естественном режиме. Водозабор работает с 1971 г.; 5 — скважина 535н на Сартамгалинском водозаборе находится в нарушенном режиме. Водозабор работает с 1953 г.; 6 — скважина 501н на Ташском водозаборе находится в нарушенном режиме. Водозабор работает с 1963 г.); 7 — амплитуды колебания температуры

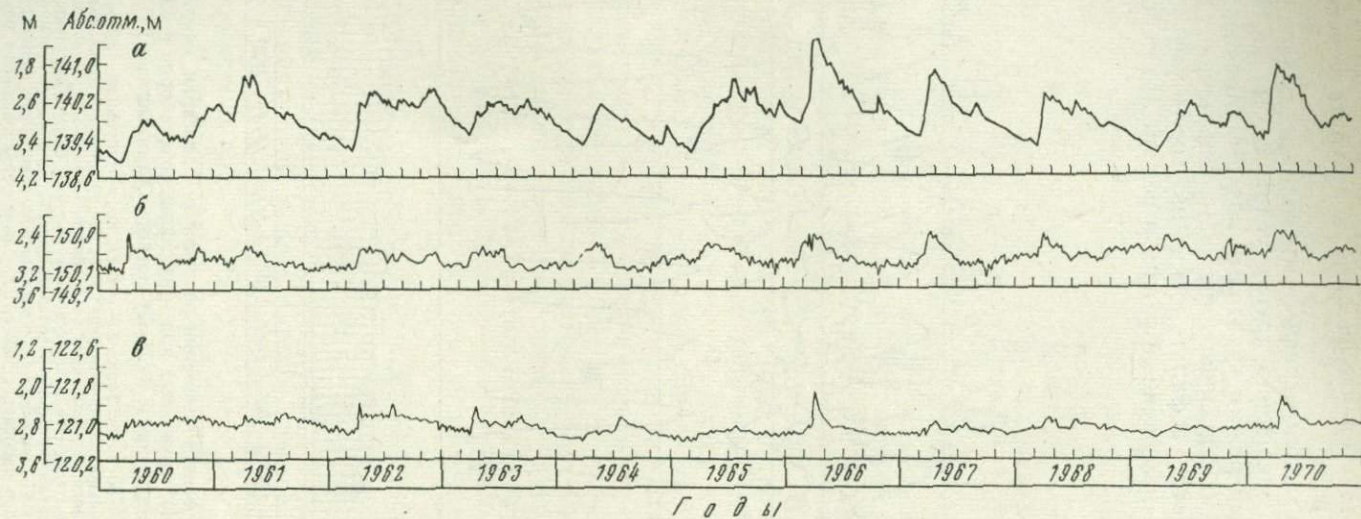


Рис. 2. Многолетние графики колебания уровня аллювиального водоносного горизонта на территории г. Москвы (по данным В. И. Просенкова).

а — естественный режим, скв. 68 (336); *б* — влияние городской застройки и асфальтировки, скв. 189 (108/54); *в* — влияние местного дренажа, скв. 309 (927)

На рис. 2, так же как и на рис. 1, можно отчетливо проследить значение естественных факторов в формировании режима грунтовых вод в нарушенных условиях. Искусственные факторы вносят существенные изменения, но в то же время они только накладываются на сложившиеся естественные колебания уровня грунтовых вод. В нарушенных условиях изменяются амплитуды колебаний уровней, несколько сдвигаются сроки наступания характерных уровней. Однако общий характер режима грунтовых вод сохраняется.

Приводимые рисунки убедительно доказывают, что для установления размеров искусственного воздействия факторов, нарушающих естественный режим, в любых случаях необходимо знать естественный режим подземных вод.

3. Сильно нарушенный режим подземных вод характеризуется полным нарушением естественного режима подземных вод, когда искусственный фактор определяет режим подземных вод на той или иной территории, т. е. когда уровни подземных вод в образовавшейся депрессии снижаются на десятки или сотни метров и во много раз превышают естественные колебания уровня и других элементов режима подземных вод, когда происходит перераспределение областей, источников и размеров питания водоносных горизонтов. Такой сильно нарушенный режим может образоваться в районах горного водоотлива. Однако даже и в районах сильно нарушенного режима в периоды интенсивного питания наблюдаются резкие повышения уровня и значительный рост водопритоков в горные выработки.

Анализ накопившихся материалов по изучению режима подземных вод в различных районах СССР позволил установить различные закономерности его формирования. Под закономерностью какого-либо процесса или явления понимают определенную объективно необходимую связь и взаимозависимость, в которой протекает строго точная и последовательная смена явлений. Знание закономерностей режима подземных вод открывает возможности для выяснения вопросов формирования подземных вод на современном этапе, выбора наиболее надежного метода прогноза и экстраполяции по территории информации, полученной в одном репрезентативном наблюдательном пункте или их группе.

Для выявления закономерностей режима подземных вод используют метод генетического сравнительно-гидрогеологического анализа, который включает:

- 1) установление корреляционных связей между характерными точками хронологического графика сезонного и многолетнего режимов подземных вод;
- 2) установление закономерностей изменения характера режима подземных вод и в особенности грунтовых вод при переходе из одной природной зоны или области в другую;
- 3) изучение закономерностей режима подземных вод в одной точке и прослеживание этих закономерностей по площади района;
- 4) выявление характера воздействия на режим подземных вод

отдельных природных факторов, установление и оценка изменения этого воздействия в региональном плане.

Сравнительно-гидрогеологический анализ предусматривает применение математической статистики для оценки тесноты связей, выявленных в процессе анализа зависимостей и обработки материалов сезонных и многолетних наблюдений.

Целесообразно рассматривать отдельно закономерности, обусловленные влиянием режимобразующих факторов, в пределах крупных регионов и на локально ограниченных территориях.

Первая группа объединяет закономерности, являющиеся следствием воздействия в основном космогенных, климатических и в ряде случаев даже отдельных метеорологических факторов. Эти закономерности в совокупности определяют характерные черты режима подземных вод, свойственные крупным регионам, и создают зональность режима грунтовых вод.

Во вторую группу входят закономерности, обусловленные влиянием местных локальных факторов и в первую очередь литологического состава зоны аэрации и водовмещающих пород, дренированности территории и как следствие этого — глубины залегания грунтовых вод, гидрогеологического режима рек и водоемов и, наконец, большей части факторов, изменяющих режим под воздействием деятельности человека (искусственно создаваемые режимобразующие факторы).

При рассмотрении воздействия различных факторов установлено, что следует рассматривать отдельно закономерности сезонных колебаний элементов режима подземных вод и многолетних колебаний.

Не останавливаясь на характеристике отдельных закономерностей режима подземных вод (они подробно описаны в специальной литературе [56, 58, 59]), укажем, что знание их и учет их воздействия в той или иной природной обстановке является необходимым условием составления прогноза режима подземных вод, измененного в результате хозяйственной деятельности человека. Отметим также, что количественно оцененные взаимосвязи режима подземных вод с различными режимобразующими факторами установлены только в последние десятилетия. Поэтому различные корреляционные взаимосвязи сейчас устанавливаются только с наиболее динамичными режимобразующими факторами, в основном климатическими (атмосферные осадки, испарение, температура и др.) и факторами искусственного нарушения естественного режима (водоотбор, горный водоотлив и др.). В то же время известно, что режим подземных вод определяется и другими факторами, оказывающими более медленное воздействие в многолетние и вековые (исторические), а также в длительные геологические отрезки времени. Воздействие этих факторов, их взаимосвязь с режимом подземных вод, сверхдолгосрочный прогноз режима, учитывающий воздействие этих факторов, остаются еще мало изученными. В первую очередь это относится к сложнейшему процессу взаимодействия воды с окружающей средой, изменяющейся во времени и в пространстве. Сейчас с уверенностью можно сказать, что

формирование подземных вод оказывает определенное и в ряде случаев весьма существенное воздействие на течение ряда геологических процессов. Не имея сверхдлительных наблюдений за режимом подземных вод в естественных условиях, обратимся к некоторым результатам изучения режима подземных вод в нарушенных природных условиях — в районах интенсивной эксплуатации напорных водоносных горизонтов, сложенных молодыми по возрасту рыхло-обломочными отложениями. Большие снижения уровня вызывают своеобразные, сравнительно быстро протекающие инженерно-геологические явления [32].

При значительном снижении пьезометрического уровня в таких гидрогеологических условиях в отдельных районах СССР, Японии, США, Италии и других стран наблюдалось оседание земной поверхности, достигающее в отдельных случаях нескольких метров и приводившее иногда к катастрофам. Оседание земной поверхности, наблюдающееся на сравнительно небольших площадях развития крупных депрессионных воронок, объясняется уплотнением пород при снижении напоров.

На основе этих наблюдений можно предполагать, что снижение абсолютных отметок поверхности земли может также происходить и в длительные геологические отрезки времени за счет снижения базиса дренирования, которое вызывает осушение территории или снижение напора подземных вод на площади целых бассейнов.

Можно привести еще ряд примеров аналогичных взаимосвязей подземных вод с природой, происходящих в длительное геологическое время, в частности выщелачивание пород, дегидратацию пород и т. п. Наблюдения за такими процессами с помощью современной аппаратуры и приборов еще не имеют массового характера. Однако со временем можно будет составлять не только ультрасверхдолгосрочные прогнозы, но и палеогнозы и тем самым устанавливать закономерности формирования прошлого и предсказывать различные явления в естественных и нарушенных условиях относительно далекого будущего.

Значение изучения и прогноза режима подземных вод будет в дальнейшем неизменно повышаться. Основными источниками гидрогеологической информации в будущем окажутся гидрогеологические скважины, по которым будут проводиться наблюдения за различными элементами режима подземных вод. Информация о неизменяющихся во времени параметрах (коэффициенты фильтрации, геометрические формы водоносных горизонтов и др.) будет накоплена в достаточном количестве. Всесторонняя же информация о происходящих процессах формирования подземных вод в пространстве и во времени будет получаться в результате наблюдений за режимом подземных вод. При этом чем больше длительность наблюдений по таким источникам информации, тем большую ценность они будут иметь для составления различных прогнозов.

В заключение следует отметить, что в настоящее время в любом районе СССР можно встретить одновременное воздействие

на подземные воды ряда народнохозяйственных мероприятий (водозаборы, горные водоотливы, мелиорация земель, сброс промышленных стоков и др.). В таких условиях не представляется возможным правильно составить прогноз развития каждого из воздействий на водоносные горизонты без взаимосвязанного и унифицированного изучения режима подземных вод. При этом должны обязательно находиться районы или участки, где подземные воды характеризуются неизменными естественными или слабо нарушенными условиями. Для планомерных исследований в каждом обособленном гидрогеологическом районе должен быть составлен единый научно-обоснованный план размещения сети наблюдательных пунктов и унифицирована методика исследований, сбора, хранения, обработки и анализа информации. Только при таких условиях можно подойти к составлению достоверных прогнозов как базы для управления режимом подземных вод в пределах отдельных районов или бассейнов, к определению рациональных пределов эксплуатации водоносных горизонтов, к решению вопросов охраны подземных вод от истощения и загрязнения.

В настоящее время в СССР установлены теоретические основы, разработаны методы прогноза режима подземных вод и организационные формы для выпуска регулярных гидрогеологических прогнозов. При этом необходимо предсказывать уровень подземных вод практически на любой отрезок времени внутри календарного года и при прогнозировании на многолетнюю перспективу. Основное внимание при разработке теории прогнозов было обращено именно на поиски методов предсказаний, которые позволяли бы с достаточной степенью точности и заблаговременностью (не менее двух месяцев) предвычислять характерные (в годовом цикле колебаний) уровни подземных вод. Для территории СССР, значительная часть которой характеризуется промерзанием зоны аэрации в зимний период, факторная модель прогноза дает хорошие результаты для предсказания весенних максимальных уровней.

Как и гидрологические явления, колебания уровня подземных (в основном грунтовых) вод происходят под влиянием комплекса метеорологических факторов, которые в сумме и определяют будущие изменения режима подземных вод. Многофакторность формирования весеннего максимального уровня приводит к тому, что практически удается предсказывать не точное, но наиболее вероятное значение ожидаемых уровней подземных вод и предположительный интервал отклонений от этих значений. Для прогноза минимальных уровней удается найти такие прогностические связи, которые используются в качестве предиктора значен- ние предшествующего уровня, основанное на существовании достаточно устойчивых для многих районов страны летних и особенно зимних спадов.

Таким образом, в настоящее время необходимо только комплексное изучение режима подземных вод как в естественных, так и в нарушенных условиях и использование их для наиболее точных прогнозов режима подземных вод.

ГЛАВА II

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОЗАБОРОВ НА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ СОВЕТСКОГО СОЮЗА

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ВОДООТБОРА НА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СССР

В настоящее время подземные воды широко используются для водоснабжения городского и сельского населения нашей страны. Водоснабжение сельского населения в основном базируется на подземных водах, в большинстве городов (около 80%) потребность в хозяйственно-питьевой воде также удовлетворяется главным образом за счет подземных вод. Крупным потребителем подземных вод является орошаемое земледелие, несмотря на то что подземные воды используются всего на 2% орошаемых земель.

На территории Советского Союза по данным на 1/1 1973 г. эксплуатировалось более 1700 групповых водозаборов, а общее количество действующих буровых скважин и шахтных колодцев измеряется несколькими сотнями тысяч.

Всего по Советскому Союзу отбирается около 700—750 м³/с подземных вод, из них немного более 300 м³/с для городского водоснабжения; 200 м³/с — для сельского и около 200 м³/с — для орошения. По отношению к общим эксплуатационным ресурсам пресных и солоноватых подземных вод Советского Союза отбор подземных вод для водоснабжения и орошения невелик и не превышает 10%.

Большинство действующих скважин и шахтных колодцев работают как одиночные водозаборы для водоснабжения сельского населения. Они вскрывают в основном первые от поверхности водоносные горизонты на глубине не более 10—20 м, работают, как правило, не круглые сутки, и расход их измеряется всего несколькими десятками кубических метров в сутки. В связи со столь незначительными расходами, рассредоточенностью по площади и периодической работой эксплуатация одиночных водозаборов практически не влияет на гидрогеологические условия. Поэтому ниже нами будут рассматриваться в основном групповые водозаборы, используемые для городского водоснабжения и орошения.

Работа групповых водозаборов обычно сопровождается изменением баланса подземных вод в районе влияния водозаборов, которое выражается в формировании воронок депрессий в эксплуатируемом и смежных водоносных горизонтах, изменении

направления движения потока, превращении областей разгрузки в области питания; изменяется качество подземных вод по площади и в разрезе. Влияние эксплуатации водозаборов на окружающую среду выражается в изменении величины поверхностного стока, состава и строения русловых отложений, осушении озер и болот, исчезновении родников, оседании земной поверхности, гибели растительности. Проявление тех или иных изменений окружающей среды и масштабы этих изменений при эксплуатации водозаборов определяются доминирующими источниками формирования эксплуатационных запасов. Поэтому при анализе влияния эксплуатации водозаборов на окружающую среду в зависимости от преобладающих источников формирования эксплуатационных запасов действующие водозаборы подразделяются на пять групп.

В первой группе водозаборов основным источником формирования эксплуатационных запасов являются упругие запасы; во второй — привлекаемые ресурсы, главным образом усиление питания эксплуатационного водоносного горизонта путем перетекания из вышележащих горизонтов; в третьей группе основным источником питания водозаборов является постоянная фильтрация поверхностных вод из рек или озер; в четвертой — такая фильтрация происходит периодически, обычно в паводок, в остальное время происходит сработка естественных запасов; в пятой группе водозаборов эксплуатационные запасы в основном формируются за счет естественных ресурсов основного горизонта. Принятое разделение действующих водозаборов является очень условным и носит в основном служебный характер. Характеристика выделенных групп водозаборов, распределение их по территории СССР и наблюдаемые изменения природных условий при эксплуатации приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, на территории Советского Союза наиболее распространены водозаборы третьей группы, расположенные около крупных рек, на втором месте находятся водозаборы второй группы, эксплуатирующие неглубокозалегающие водоносные горизонты. Остальные группы водозаборов имеют относительно небольшое площадное распространение.

Наиболее значительные масштабы влияния водозаборов на гидрогеологические условия наблюдаются при работе водозаборов первой группы, вскрывающих глубокозалегающие горизонты, при этом формируются воронки депрессии радиусом до 60—100 км и глубиной до 60—80 м.

На месторождениях, эксплуатирующихся водозаборами второй группы, обычно выделяется несколько этажно расположенных гидравлически взаимосвязанных водоносных горизонтов. Эксплуатация одного или нескольких горизонтов приводит к изменению баланса подземных вод всей системы: изменяется направление движения подземных вод через слабопроницаемые слои, процессы перетекания становятся более интенсивными, наблюдается поглощение поверхностного стока. При работе водозаборов в рассматриваемых условиях масштабы изменения баланса подземных вод

эксплуатируемого горизонта намного меньше, чем в глубоко залегающих и изолированных водоносных горизонтах. Осушения эксплуатируемого горизонта здесь, как правило, не происходит, а понижение пьезометрической поверхности распространяется в основном на площадь в сотни и тысячи квадратных километров и не превышает 20—30 м в наиболее глубокой части депрессии. Поглощение речного стока наиболее интенсивно происходит при эксплуатации водозаборов третьей и четвертой групп. Инфильтрационные водозаборы, расположенные около постоянно действующих крупных рек, представляют собой линейные ряды скважин, отстоящие от реки на расстоянии от 50—100 до 500 м, протяженностью от нескольких сот метров до нескольких километров. Воронка депрессии, развивающаяся вокруг инфильтрационных водозаборов, вытянута вдоль реки, в сторону от реки влияние водозаборов прослеживается незначительно, обычно на 2—3 и до 10—15 км при затрудненной связи подземных и поверхностных вод. Снижения уровней подземных вод на рассматриваемых водозаборах невелики, от нескольких метров до 10—20 м. Стабилизация воронок депрессии наступает сравнительно быстро — в первые месяцы эксплуатации водозаборов. Изменения качества подземных вод при эксплуатации инфильтрационных водозаборов могут происходить в двух направлениях: опреснение, обезжелезивание подземных вод или загрязнение при наличии вредных компонентов в речных водах.

Водозаборы пятой группы подразделяют на водозаборы в месторождениях ограниченных структур, не связанные с поверхностными водами, и в конусах выноса. Так как эти два типа месторождений характеризуются различными геолого-гидрогеологическими условиями и соответственно различными масштабами влияния эксплуатации водозаборов на окружающую среду, каждый из этих типов месторождений рассматривается отдельно.

При работе водозаборов, эксплуатирующих месторождения ограниченных по площади структур и массивов трещинных и трещинно-карстовых пород, не связанные с поверхностными водотоками, происходит осушение водовмещающих пород и вышележащих отложений. Развитие воронок депрессии ограничено распространением водовмещающих пород, которые окружены слабопроницаемыми отложениями. Формирование воронки депрессии определяется соотношением расхода водозабора и естественных ресурсов, если расход водозабора превышает естественные ресурсы — режим работы водозабора неустановившийся. При обеспеченном питании время формирования воронок депрессий измеряется несколькими месяцами (обычно до одного года). При эксплуатации водозаборов рассматриваемого типа происходят наиболее значительные изменения на поверхности.

Конусы выноса обычно характеризуются весьма мощными потоками подземных вод, имеющими расход в несколько, а нередко и в несколько десятков кубических метров в секунду. В таких

Характеристика действующих водозаборов и их влияния

Группы водозаборов, характеризующиеся различными источниками формирования эксплуатационных запасов. Краткая характеристика гидрогеологических условий	Источники формирования эксплуатационных запасов				Типы месторождений	Дебиты водозаборов, м ³ /с	Радиусы воронок депрессий, км
	Естественные запасы		Естественные ресурсы	Привлекаемые ресурсы			
	гравитационные	упругие				от—до	
I. Водозаборы эксплуатируют глубоководные водоносные горизонты, перекрытые водоупорными породами мощностью в несколько десятков метров (основной источник формирования — упругие запасы)	—	В основном	—	—	Артезианские бассейны платформенного типа	0,2—1 0,3—0,4	30—100 50—60
	—	—	Частично	В основном	Артезианские бассейны платформенного типа, межморенные флювиогляциальные отложения	0,05—1,5 0,1—0,5	5—70 10—20

на гидрогеологические условия на территории СССР

Таблица 1

Величина понижений, м	Режим эксплуатации	Наблюдаемые изменения природных условий при эксплуатации водозаборов	Районы интенсивной эксплуатации водозаборов	Примеры наиболее типичных водозаборов
30—110 50—60	Неустановившийся	Изменение баланса эксплуатируемого горизонта, снижение пьезометрической поверхности на площади, достигающей 10 тыс. км ² и более, стягивание границы пресных и соленых подземных вод, оседание дневной поверхности	Ленинградская, Московская, Брянская и Курская области, Краснодарский край (РСФСР), Минская область (БССР), Литва, Украина (Среднерусский, Балтийско-Польский, Днепровско-Донецкий, Азово-Кубанский артезианские бассейны) Иртышский, Магышлак-Устьюртский артезианские бассейны	Ленинградский, Харьковский, Брянский
10—70 20—30	Установившийся или близкий к установившемуся	Изменение баланса эксплуатируемого горизонта незначительно, снижение пьезометрической поверхности или осушение пласта на площади в сотни квадратных километров, наблюдаются изменения в смежных водоносных горизонтах, возможно осушение болот, озер, облесения и др. изменения на поверхности	Центральные и центрально-черноземные области европейской части РСФСР, Прибалтика, большая часть Украины, Белоруссия, Молдавия, Краснодарский край (Средне-Русский, Балтийско-Польский, Днепровско-Донецкий, Причерноморский, Азово-Кубанский артезианский бассейн), Узбекская и Казахская ССР (Актюбинская, Кустанайская, Уральская, Кызыл-Ординская области)	Московский, Рижский, Киевский, Мелитопольский, Карадалинский

2468



Группы водозаборов, характеризующиеся различными источниками формирования эксплуатационных запасов. Краткая характеристика гидрогеологических условий	Источники формирования эксплуатационных запасов				Типы месторождений	Дебиты водозаборов, м ³ /с	Радиусы воронок депрессий, км
	Естественные запасы		Естественные ресурсы	Привлекаемые ресурсы			
	Гравитационные	Упругие				от—до	
			наиболее часто встре				
III. Водозаборы расположены около постоянно действующих рек, расход которых значительно превышает дебит водозаборов	—	—	Частично	В основном	Месторождения речных долин, артезианских бассейнов платформенного типа, ограниченных по площади структур, связанных с поверхностными водами рек и водоемов, межморенных флювиогляциальных отложений	0,05—1 0,1—0,7	0,5—20 2—10
IV. Водозаборы расположены около рек, питание из реки происходит периодически, в основном во время паводков	Во время отсутствия питания из рек	—	Частично	В основном	То же	0,1—2 0,3—0,6	2—10 3—5

Величина понижений, м	Режим эксплуатации	Наблюдаемые изменения природных условий при эксплуатации водозаборов	Районы интенсивной эксплуатации водозаборов	Примеры наиболее типичных водозаборов
1—20 5—10	Установившийся	Влияние на изменение баланса основного и смежных горизонтов очень незначительно, ущерба речному стоку практически нет, возможно опреснение, обезжелезивание подземных вод или их загрязнение	Встречаются практически на всей территории СССР. Широко эксплуатируются в Предуралье, ряде центральных областей европейской части СССР, Поволжье, Северном Кавказе, Прибалтике, Украине и Молдавии, в Хабаровском, Приморском и Красноярском краях, Томской области, на Сахалине, в Центральной и Западной части Казахстана, Таджикской и Узбекской ССР	Кибрайский (Ташкент), Кафирниганский (Душанбе), Башкирские водозаборы (г. Уфа, Октябрьский, Стерлитамак), Орджоникидзе, Сочи, Тбилиси, Бендеры
10—40 10—20	Неустановившийся	Характерно периодическое осушение водоносного горизонта, которое может сопровождаться исчезновением озер, родников, осушением болот, уменьшением испарения. В период межени возможно уменьшение или полное исчезновение речного стока, наблюдается заиливание русловых отложений. Химический состав подземных вод становится близок составу поверхностных	Ворошиловградская, Донецкая, Харьковская, Ростовская, Белгородская области, Казахстан	Северо-Донецкие, долина р. Шерубай-Нуры (Карагандинская область) Ай-досский водозабор (Джезказган)

Группы водозаборов, характеризующиеся различными источниками формирования эксплуатационных запасов. Краткая характеристика гидрогеологических условий	Источники формирования эксплуатационных запасов				Типы месторождений	Дебиты водозаборов, м ³ /с	Радиусы воронок депрессий, км
	Естественные запасы		Естественные ресурсы	Приделаемые ресурсы			
	гравитационные	упругие				от—до	
						наиболее часто встре	
Va. Водозаборы на месторождениях, ограниченных по площади структур и массивов трещинных и трещинно-карстовых, несвязанных с поверхностными водами	Частично	—	В основном	Частично	Месторождения ограниченных по площади структур и массивов трещинных и трещинно-карстовых пород	0,05—0,5 0,1—0,2	1—10 2—5
Vб. Водозаборы в нижних частях конусов выноса	—	—	То же	—	Конусы выноса	0,1—3 0,5—1	1—1,0 2—5

Величина понижений, м	Режим эксплуатации	Наблюдаемые изменения природных условий при эксплуатации водозаборов	Районы интенсивной эксплуатации водозаборов	Примеры наиболее типичных водозаборов
10—50 15—30	Установившийся или не установившийся	Происходит осушение водовмещающих пород, имеющих ограниченное площадное распространение, уменьшается испарение подземных вод, высыхают болота, исчезают родники, уменьшается или прекращается сток в ручьях, наблюдается гибель влаголюбивой растительности	Центральный и Северный Казахстан, Урал, Украинский бассейн трещинных вод, Западная Украина	Жанайский (Казахстан), Кайдаульский (район Экибастуза), Львовские водозаборы
5—50 10—30	То же	Уменьшается расход потока и соответственно уменьшается или прекращается естественная разгрузка подземных вод. Это приводит к высыханию болот, уменьшению расхода или полному исчезновению родников, сокращению эвапотранспирации в зоне выклинивания	Республики Средней Азии, Южный Казахстан, Закавказье	Города Фрунзе, Алма-Ата, Бакинские водозаборы

условиях подавляющее большинство водозаборов подземных вод производительностью в 1—3 м³/с работают при установившемся режиме и вызывают очень незначительные изменения в окружающей среде.

На территории Советского Союза действующие водозаборы распределены неравномерно, большинство их сосредоточено в промышленно развитых и интенсивно орошаемых районах европейской части СССР, Казахстана и Средней Азии. В связи с колоссальной площадью территории Советского Союза описание влияния работы водозаборов на гидрогеологические условия целесообразно проводить по трем регионам: 1) европейская часть СССР, Урал и Закавказье; 2) Казахстан и Средняя Азия; 3) Сибирь и Дальний Восток. В границах каждого из этих регионов описание ведется по выделенным группам водозаборов.

ЕВРОПЕЙСКАЯ ЧАСТЬ СССР, УРАЛ И ЗАКАВКАЗЬЕ

Рассматриваемая территория характеризуется большим разнообразием гидрогеологических условий. Здесь эксплуатируются многочисленные водоносные горизонты от четвертичного до докембрийского возраста. В этом регионе расположено около 70% водозаборов, действующих на территории Советского Союза. Большая часть этих водозаборов относится ко второй и третьей группам и приурочена к артезианским бассейнам и речным долинам (Волги, Оки, Камы, Урала, Днепра, Дона, Днестра, Западной Двины, Немана, Терека и др.).

Водозаборы первой группы эксплуатируются для водоснабжения городов, расположенных на территории артезианских бассейнов; водозаборы четвертой группы сосредоточены в основном в долине р. Северский Донец; водозаборы, эксплуатирующие месторождения ограниченных структур, имеют большое практическое значение для водоснабжения населения на Урале, Украинском кристаллическом массиве и в районах распространения мергельно-меловой толщи верхнего мела (Западная и Северная Украина). Месторождения конусов выноса имеют ограниченное распространение в Закавказье.

Наиболее значительное влияние на окружающую среду оказывают водозаборы первой, четвертой и пятой (а) групп.

Районы, где изменение окружающей среды в результате эксплуатации водозаборов проявляется наиболее интенсивно и на значительной площади, расположены в Московской области, в долине р. Северский Донец и вокруг городов Ленинград, Киев, Харьков, Полтава, Брянск, Курск, Орел, Клайпеда, Краснодар, Саранск, Мелитополь, на остальных водозаборах влияние эксплуатации локализовано в основном на площади, измеряемой несколькими десятками квадратных километров.

В пределах европейской части Советского Союза водозаборы, вскрывающие глубокозалегающие водоносные горизонты, эксплуатируются всего в нескольких районах для водоснабжения городов

Ленинграда, Москвы, Брянска, Курска, Краснодара, Харькова, Минска, Клайпеды, Шауляя. В районах эксплуатации водоносные горизонты залегают на значительных глубинах — от 100 м (г. Брянск) до 700 м (гг. Харьков, Краснодар). Большинство водозаборов эксплуатируется несколько десятков лет с расходом 0,3—0,5 м³/с. Наиболее значительные воронки депрессии сформировались в районе Ленинграда, Москвы, Харькова, Брянска, где понижение пьезометрической поверхности прослеживается на площади 20—30 тыс. км², а понижения достигают 90—110 м. Изменения минерализации подземных вод в водозаборных и наблюдательных скважинах не зафиксировано. В качестве примера рассматриваемого типа может быть приведен Ленинградский водозабор, подробно рассмотренный водозабор описан в четвертом выпуске сводного тома «Гидрогеология СССР».

Водозаборы, эксплуатирующие подземные воды горизонтов, залегающих неглубоко от поверхности, связанные с вышележащими грунтовыми водами, имеют широкое распространение на территории европейской части СССР.

Районы интенсивной эксплуатации неглубокозалегающих водоносных горизонтов расположены в Центральных и Центрально-черноземных областях и Краснодарском крае РСФСР, в Прибалтике, Белоруссии, на Украине.

Расходы отдельных водозаборов изменяются в широких пределах — от нескольких десятков литров в секунду до 0,5—1 м³/с и более, образующиеся воронки депрессии в основном невелики по площади, радиусы влияния колеблются от 5 до 15 км, а понижения не превышают 20—30 м.

К рассматриваемому типу относится несколько водозаборов, вскрывающих глубокозалегающие водоносные горизонты. Это водозаборы городов Киева, Саранска, Мелитополя, Полтавы, где основные водоносные горизонты залегают на глубине 100—500 м и перекрываются регионально выдержанной толщей слабопроницаемых пород мощностью до 100 м более. Вначале эксплуатационные запасы формировались в основном за счет сработки упругих запасов эксплуатируемого горизонта, в результате развились огромные воронки депрессии радиусом до 50—60 км и глубиной до 50—70 м. Однако в процессе эксплуатации все большую роль начинает играть постепенное поступление воды из вышележащих слабопроницаемых пород. Например, как показали расчеты, сделанные М. П. Полкановым по водозаборах Саранска, сработанные упругие запасы составляют всего около 5% от общего количества отобранной воды, а 95% обеспечивается поступлением воды из мезозойской слабопроницаемой толщи. Таким образом, приведенные примеры показывают, что даже при эксплуатации изолированных глубокозалегающих водоносных горизонтов в сферу влияния водозаборов вовлекается не только основной горизонт, но и вся водоносная система. В качестве примера эксплуатации системы гидравлически связанных водоносных горизонтов, расположенных до глубины 300 м, в артезианском бассейне платфор-

менного типа, может быть рассмотрен водозабор г. Киева в юго-западной части Днепровско-Донецкого артезианского бассейна в долине р. Днепра (по данным Б. В. Боревского, Д. Р. Литвака, И. И. Крашина и др.). Здесь в разрезе выделяется четыре водоносных горизонта: четвертичный (аллювиальный), эоценовый, сеноман-келловейский и байосский. Эти водоносные горизонты разделяются тремя слабопроницаемыми толщами: киевскими глинами и мергелями мощностью 20 и 30 м, мергельно-меловыми отложениями мощностью 20—25 м и алевролито-глинистыми юрскими отложениями мощностью до 100 м. В пределах поймы р. Днепра киевские мергели размыты и на эоценовых образованиях залегают водоносные аллювиальные отложения, мергельно-меловая толща выклинивается на южной окраине города и здесь на сеноман-келловейских отложениях залегают водоносные эоценовые образования. Глинистые юрские отложения имеют региональное распространение.

С конца прошлого века в городе эксплуатируются два водоносных горизонта — сеноман-келловейский и байосский. Суммарный водоотбор постепенно увеличивается и в настоящее время из обоих горизонтов отбирается несколько кубических метров в секунду, причем производительность водозабора из сеноман-келловейского горизонта в два раза превышает расход из байосского. За последние несколько лет суммарный водоотбор практически не меняется. В результате интенсивной эксплуатации наблюдаются значительные изменения во всей водоносной системе. В байосском водоносном горизонте, залегающем на глубине 250—300 м, образовалась региональная воронка депрессии, радиус которой достигает 60 км, а максимальное понижение 65—70 м. Однако, как показали исследования, проведенные на аналоговой модели УСМ-1 трестом «Киевгеология» и ВСЕГИНГЕО, около 70% суммарного водоотбора из байосского водоносного горизонта поступает за счет перетекания через алевролито-глинистую толщу бат-келловейских отложений и только 30% за счет упругих запасов самого водоносного горизонта. Наличие перетекания подтверждается проведенными термометрическими исследованиями, анализами засоленности глин по данным водных вытяжек, данными о минерализации водных растворов.

В сеноман-келловейском водоносном горизонте водозаборные скважины расположены на правом и левом берегах Днепра. В результате их эксплуатации образовались две воронки депрессии с водоразделом в долине реки. Правобережная воронка (отбирается около 80% воды) имеет асимметричную форму, к востоку воронка ограничена р. Днепр, рост ее в основном произошел в западном направлении, где радиус влияния равен 11—12 км. Максимальное понижение достигает 65—70 м. Питание подземных вод происходит в настоящее время в основном со стороны поймы р. Днепра, а также путем вертикальной фильтрации через мергельно-меловую толщу. В результате в эоценовом водоносном горизонте образовалась воронка депрессии, совпадающая по площади с участками наиболее интенсивного понижения уровня в сеноман-

келловейском водоносном комплексе, радиус воронки депрессии достигает 6 км.

На левом берегу р. Днепра воронка депрессии имеет симметричную форму и небольшие размеры, радиус 3—4 км, максимальное понижение 50 м. Питание водоносного горизонта происходит в основном путем перетекания через мергельно-меловую толщу. Основной областью питания в условиях эксплуатации является р. Днепр, где существует прямая связь сеноман-келловейского и вышележащих горизонтов, а через последние и с поверхностными водами.

Снижения уровня в эоценовом и аллювиальном водоносных горизонтах на левобережном водозаборе не наблюдается, уровни в сеноман-келловейском горизонте в настоящее время стабилизировались.

Таким образом, как видно на приведенном примере, в результате интенсивного эксплуатации системы горизонтов произошло перераспределение напоров, р. Днепр из области разгрузки превратилась в область питания. Интенсифицировались процессы перетекания, что привело к увеличению проницаемости слабopроницаемых пород. В результате эксплуатации нарушено естественное температурное поле. Как показало моделирование рассматриваемого водозабора, со временем поступление воды из вышележащих отложений будет увеличиваться и через 50 лет достигнет почти 97% от водоотбора. Однако заметного ущерба речному стоку водоотбор не оказывает, так как расход реки несоизмеримо больше водоотбора. Кроме того, эксплуатация водозабора оказывает влияние не на меженный, а на среднегодовой сток, так как эксплуатируемые горизонты отделены от реки двумя водоносными толщами.

Значительная часть действующих водозаборов на территории европейской части СССР расположена около крупных рек, воды которых являются основным источником формирования эксплуатационных запасов.

Инфильтрационные водозаборы играют большую роль в водоснабжении городов Поволжского экономического района (Куйбышевской, Ульяновской областей, Башкирской и Татарской АССР), Урала (Оренбургской области), Калининградской и Воронежской обл., на Северном Кавказе (Кабардино-Балкарская, Северо-Осетинская АССР), Черноморском побережье Кавказа, в Закавказье (Грузинская ССР), на Украине (предкарпатские и закарпатские районы, долина р. Днепра, Дона, Дуная), в Прибалтике (Латвийской и Литовской ССР), Молдавии.

В долинах рек, как правило, эксплуатируется аллювиальный водоносный горизонт, однако в ряде районов водозаборные скважины пройдены в коренных породах, вскрываемых реками или отделенных от них водоносными аллювиальными отложениями (долина р. Днестра в Молдавии, устье Днепра, Южного Буга, долина Волги в районе г. Куйбышева и г. Новокуйбышевска и т. п.).

Расходы действующих водозаборов изменяются в широких

пределах — от нескольких десятков литров в секунду до одного и более кубических метров в секунду, преобладают дебиты 0,1—0,5 м³/с. Протяженность отдельных водозаборов также колеблется в широких пределах — от нескольких сотен метров до нескольких километров. Влияние водозаборов в сторону от реки обычно не превышает 1—2 км и увеличивается до 10 км и более на водозаборах, где эксплуатируемый горизонт не вскрывается рекой. Понижение уровней обычно невелико и не превышает 5—10 м.

В качестве типичных примеров инфильтрационных водозаборов могут быть приведены водозаборы Башкирии (города Уфа, Октябрьский, Стерлитамак и др.), расположенные около рек Белая, Уфа, Ик и др. (данные М. С. Верзакова).

Водовмещающие породы представлены песчано-гравийно-галечниковыми отложениями мощностью до 10—20 м. Водоносный горизонт безнапорный, характеризуется хорошей гидравлической связью с рекой. На действующих водозаборах пробурено от 10 до 50 скважин на расстоянии 50—200 м от реки, расстояние между скважинами 30—200 м. Расходы отдельных водозаборов изменяются в основном от 100 до 200 л/с, несколько водозаборов имеют расход 0,7—1,8 м³/с. Влияние работы водозаборов распространяется на очень незначительные площади, воронки депрессии прослеживаются только на одном берегу на расстоянии не более 1 км от реки. Понижения на водозаборах не превышают 2—6 м. Заметного влияния на речной сток работа водозаборов не оказывает, так как их суммарный расход составляет всего несколько процентов от меженного стока. Качество отбираемой воды в процессе эксплуатации приближается к поверхностным водам.

Водозаборы четвертой группы, характеризующиеся периодическим питанием из рек, имеют незначительное площадное распространение на территории европейской части СССР, однако они имеют очень важное значение для водоснабжения промышленных районов Урала, Донбасса. Сюда могут быть отнесены водозаборы, расположенные в долине р. Северский Донец, и водозаборы, эксплуатирующие подземные воды ограниченных структур Урала, имеющих связь с поверхностными водами, а также некоторые водозаборы Черноморского побережья Кавказа. В результате эксплуатации водозаборов рассматриваемой группы происходят значительные изменения природных условий на территории, попадающей в зону влияния водозаборов.

Водозаборы, эксплуатирующие подземные воды ограниченных по площади структур (Va), имеют очень незначительное распространение на территории европейской части СССР. Они встречаются в пределах Украинского бассейна трещинных вод, на Урале, в Западной Украине и на левобережье Северского Донца.

Влияние эксплуатации этих водозаборов на окружающую среду рассмотрено на примере водозаборов, эксплуатирующихся для водоснабжения г. Львова в работе Г. Г. Лютого и Б. В. Боревского.

При эксплуатации водозаборов этой группы происходят заметные изменения в природных условиях, однако они распространяются на очень незначительную площадь.

Водозаборы группы Vб (конусы выноса) имеют очень ограниченное распространение на рассматриваемой территории (предгорные и межгорные бассейны Кавказа), поэтому отдельно они не описываются.

СРЕДНЯЯ АЗИЯ И КАЗАХСТАН

Территория Средней Азии и Казахстана характеризуется большим разнообразием гидрогеологических условий, что обуславливает разнообразие типов эксплуатируемых здесь месторождений подземных вод. В артезианских бассейнах платформенного типа распространены слоистые толщи, в которых водоносные пески, известняки, песчаники разделяются относительными водоупорами. Эксплуатационные запасы подземных вод, обеспечивающие работу водозаборов, сравнительно редко формируются за счет упругих запасов (Иртышский артезианский бассейн, наиболее погруженные части Сырдарьинского артезианского бассейна), чаще за счет перетекания и сработки упругих запасов (большая часть территории остальных артезианских бассейнов). В горных областях и их обрамлении (Тянь-Шань, Памиро-Алай, Копетдаг, Джунгарский Алатау, Алтай) резко доминирующая роль в формировании эксплуатационных запасов принадлежит аллювиально-пролювиальным гравийно-галечниковым отложениям межгорных впадин, долин рек, конусов выноса и предгорных шлейфов, в которых каптаж подземных вод обеспечивается инфильтрацией поверхностных вод или же перехватом мощных подземных потоков вблизи зон их разгрузки. Заметную роль играют водозаборы в ограниченных по площади геологических структурах, сложенных закарстованными и трещиноватыми породами. Этот тип становится основным наряду с инфильтрационными водозаборами, заложенными в аллювии долин рек, в пенепленизированных складчатых областях, в частности в Центрально-Казахстанской, а также в Копет-Даге. До настоящего времени эксплуатация подземных вод в целом на территории Средней Азии и Казахстана не отразила сколько-нибудь существенно на природной обстановке и окружающей среде. Наиболее заметное влияние на экологические условия оказывают водозаборы подгруппы Va, в меньшей мере Vб, т. е. такие, где фильтрационные условия водоносных горизонтов обеспечивают концентрированный отбор значительных количеств воды, сравнимых с общими водными ресурсами данного участка, или превышающих их.

Рассмотрим различные типы месторождений подземных вод и эксплуатирующие их водозаборы в Казахстане и Средней Азии.

1. Водозаборы, эксплуатирующие подземные воды глубоких горизонтов артезианских бассейнов платформенного типа. На

рассматриваемой территории таких водозаборов мало (групповых всего 3), здесь можно назвать групповые водозаборы и одиночные скважины глубиной до 800—1000 м в Иртышском артезианском бассейне, Куюлусский водозабор в Мангышлак-Устюртском бассейне, отдельные скважины и небольшие водозаборы в Сырдарьинском бассейне. Все эти каптажи эксплуатируют водоносный горизонт верхнего (реже верхнего и нижнего) мела и представляют собой площадные системы скважин. В настоящее время на некоторых водозаборах в Иртышском бассейне понижения достигают 20—25 м (Успенский водозабор эксплуатируется с 1968 г. с расходом 240 л/с). Сработка уровня на Куюлусском водозаборе с отбором более 300 л/с только за 1972 г. составила около 10 м. Но поскольку первоначальные напоры достигают сотен метров, осушение самих водоносных горизонтов в ближайшей перспективе маловероятно. Воронки депрессии (по понижению 1 м), достигающие сотен квадратных километров, сколько-нибудь заметного влияния на окружающую среду не оказывают.

2. Водозаборы в неглубокозалегающих напорных водоносных горизонтах. В Средней Азии и Казахстане этот тип водозаборов распространен значительно шире, чем первый, их насчитывается 31. Такие водозаборы находятся в северной части Тургайского бассейна, в Центрально-Кызылкумской складчатой области (водозаборы в Тубелекском, Мынбулакском и Каракатинском малых артезианских бассейнах), в Актюбинском Приуралье и Примугоджарье (Донгустауский и Примугоджарский малые артезианские бассейны), в Северо-Аральском бассейне (р-н Челкара), севернее Алма-Аты (Карадалинский водозабор) и в других местах. Обычно они представляют собой линейные или площадные системы скважин. Эксплуатируемый горизонт представлен песками, песчаниками, известняками, реже аргиллитами и алевролитами верхнего, реже нижнего мела, палеогена, неогена. Расходы водозаборов редко превышают 100 л/с и отрицательного влияния на окружающую среду они не оказывают. К наиболее крупным водозаборам этого типа следует отнести Мынбулакский, Каракатинский, Карадалинский, каптирующий аллювиально-пролювиальные отложения неогена, пески и песчаники верхнего мела. Области депрессии в таких условиях достигают в поперечнике 20—30 км, а понижения — первых десятков метров. Понижения уровня, равные нескольким метрам, реже до 10—12 м, наблюдаются в перекрывающих горизонтах (р-ны Сузака, Кандагача и др.). До настоящего времени фактов заметного ущерба природе, ухудшения гидрогеологических условий на водозаборах рассматриваемого типа не наблюдается.

В качестве примера нерационального использования подземных вод и отрицательного влияния работы водозабора на окружающую среду приведем Карадалинский водозабор, расположенный на северном склоне хребта Кетмень. Водозабор состоит из 78 скважин, представляющих собой площадную систему, эксплуатируется с 1971 г. с расходом на самоизливе 2,7—2,9 м³/с. Отсутствие техни-

ческого проекта водозабора, бессистемное, зачастую произвольное размещение эксплуатационных скважин при нерациональном использовании воды в невегетационный период приводит к истощению запасов подземных вод и заболачиванию территории. Снижение дебита самоизливающихся скважин за период эксплуатации 30—70%.

3. Водозаборы в речных долинах с постоянным стоком рек, превышающим отбор подземных вод. Этот тип водозаборов — один из наиболее распространенных в Средней Азии и Казахстане. На 1/1 1973 г. насчитывалось 135 групповых водозаборов этого типа. Для аридной зоны разделение водозаборов на III и IV группы (водозаборы в речных долинах с периодическим стоком в реке) чрезвычайно условно, поскольку в зависимости от водности года (скажем, 10% и 90% обеспеченности) объем или расход стока меняется в несколько раз, и инфильтрационный водозабор, в многоводный или нормальный год обеспеченный питанием и относимый к III группе, в маловодный год питанием обеспечен не будет и окажется в IV группе. Поэтому в качестве критерия сравнения условно принята многолетняя норма стока. Если она больше расхода водозабора, он относится к III группе, в противном случае — к IV. К рассматриваемой группе относятся такие водозаборы, как Кибрайский в Ташкенте (отбор 350 тыс. м³/сут) в долине р. Чирчик, группа Алмалыкских водозаборов (Ташский, Ташско-Сартамалинский, Сартамалинский, Карахтайский и др.) в долине р. Ахангаран (430 тыс. м³/сут), Кафиринганский в Душанбе (170 тыс. м³/сут) и др. Как правило, понижения уровня в таких условиях не превышают 5—10 м, а водозаборы работают в стационарном режиме, хотя имеются примеры (Атамановский водозабор в долине р. Ульбы в Усть-Каменогорске), когда понижения в скважинах (расход 70 тыс. м³/сут) достигают 16—20 м. В силу специфики гидрогеологического режима стока и тесной связи поверхностных и подземных вод аллювия на многих участках естественные колебания уровня подземных вод значительно превышают его сработку в результате эксплуатации. Так, на Ташском водозаборе колебания уровня подземных вод в зависимости от стока р. Ахангаран составляют 15—16 м по сравнению с 7—8 м понижения, обусловленными работой водозабора. В основном сток рек значительно превосходит расход водозабора, воронки депрессии имеют небольшую величину, протягиваются вдоль рек, и работа водозаборов негативного влияния на окружающую среду не оказывает. Лишь в тех случаях, когда расход реки становится близок расходу водозабора на локальных участках, в долинах рек могут наблюдаться временные нежелательные последствия — усыхание трав, пересыхание стариц, проток и т. д. Когда реки несут загрязненную воду, эксплуатация инфильтрационных водозаборов приводит к ухудшению качества отбираемой воды. Такие факты наблюдались в долинах рек Ульбы, нижнем бьефе Нуры, на некоторых отрезках Чу и т. д. Известную опасность представляет увеличение в речной воде соединений азота вследствие интенсификации

применения азотных минеральных удобрений, а также общее увеличение минерализации речных вод в южной части рассматриваемой территории вследствие сброса в реки дренажных вод массивов орошения. Говоря о водозаборах III группы, необходимо упомянуть о водозаборах, эксплуатирующих приканальные линзы пресных вод. Наиболее широко такие водозаборы распространены в Бухарском оазисе и в Хорезме. Максимальные расходы водозаборов, представляющих линейные ряды скважин, 200—400 л/с (Ургенч, Шахруд в Бухаре и другие). В целом водозаборы III группы (даже самые мощные) отрицательного воздействия на природную среду практически не оказывают.

4. Водозаборы в речных долинах с периодическим стоком рек. Этот тип водозаборов также распространен довольно широко, в частности в Казахстане — Центральном, Северном, Западном, частично в Южном. Здесь насчитывается 17 водозаборов. Эксплуатируются подземные воды аллювия, реже водоносных горизонтов, приуроченных к более древним водовмещающим породам. Однако в любом случае эксплуатационный горизонт получает периодическое питание из реки во время паводков или непосредственно, или через питающий (чаще всего аллювиальный) водоносный горизонт. Производительность водозаборов этого типа достигает иногда значительных размеров, как, например, система водозаборов в долине Шерубай-Нуры под Карагандой (аллювиальные отложения, производительность 175 тыс. м³/сут) или же Айдосский водозабор (известняки фамена — турне в долине р. Караквигир, в окрестностях Джекказгана, производительность 80 тыс. м³/сут). Схема водозаборов в таких условиях обычно — линейный ряд вдоль реки (Айдосский водозабор) или линейные ряды, ориентированные по-разному (водозаборы в долине Шерубай-Нуры), или площадные системы скважин (водозаборы «верхнего бьефа» в долине Нуры под Темиртау). Основным отличием водозаборов рассматриваемого типа является своеобразие режима их работы. Большую часть года водозабор срабатывает емкостные запасы, в засушливые периоды сработка емкостных запасов может наблюдаться полностью или частично, после чего в паводок они восстанавливаются (полностью или частично). Такой режим работы водозаборов обуславливает значительные понижения уровня к началу периода восполнения — до 15—20 м в аллювиальных горизонтах и до 30—40 м в скальных породах, что в свою очередь приводит к определенным воздействиям (нередко отрицательным) на окружающую природную среду. Именно эта группа водозаборов вместе с подгруппой Vб (в конусах выноса) оказывает наибольшее влияние на окружающую среду. Рассмотрим это подробнее на примерах водозаборов в юго-западной части Центрально-Казахстанской гидрогеологической складчатой области [74]. В окрестностях г. Джекказгана, в юго-западной части Центрально-Казахстанского мелкосопочника для водоснабжения промышленности и населения в водоносных породах карбонатной формации турне—фамена разведаны и утверждены в ГКЗ эксплуатационные запасы пресных подземных

вод в количестве $4,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Климат района аридный, годовая норма осадков в зависимости от гипсометрического положения местности колеблется от 130 до 250—280 мм.

Разведанные запасы подземных вод приурочены к брахиантиклинальным структурам, сложенным известняками, доломитами, мергелями. Иногда породы карбонатной формации мощностью 600—1100 м обрамляют ядро антиклиналей, сложенных более древними образованиями. По минерализации трещинно-карстовые воды пресные, реже слабосоленоватые ($0,7\text{—}1,1 \text{ г/л}$), состав их, как правило, сульфатный, кальциевый. Важнейшей характеристикой гидрогеологических условий разведанных месторождений подземных вод является их связь с поверхностным, в основном паводковым (после прохождения паводка реки пересыхают) стоком. Разведанные месторождения — Западно-Эскулинское (в долине р. Джезды), Айдосское, Кожамситское, частично Уйтасское (все в долине р. Каракенгир) — расположены в долинах рек.

В середине 70-х годов на Айдосской, Жанайской, Уйтасской, Эскулинской и Шотыбасской водоносных структурах действующими водозаборами отбиралось около $2,5 \text{ м}^3/\text{с}$ подземных вод. Эксплуатация водозаборов приводит к значительному понижению уровней подземных вод, что оказывает прямое влияние на географическую среду. Это влияние проявляется главным образом через взаимодействие поверхностных и подземных вод. Оно минимально на структурах, водоносные горизонты которых гидравлически не связаны с водами рек. Воздействие эксплуатации подземных вод на природную среду в наибольшей степени проявляется на водозаборах, пересекаемых речными долинами (Айдосский, Эскулинский водозаборы).

Понижение уровней подземных вод в результате эксплуатации водозаборов в речных долинах приводит к отмиранию влаголюбивой растительности и некоторому сокращению сенокосных угодий. Так, на Айдосском водозаборе, состоящем из 11 эксплуатационных скважин глубиной 120—150 м, отстоящих одна от другой в долине р. Каракенгир и его левого притока Карагансай на расстоянии 800—1300 м, с дебитом от 40 до 200 л/с, за 1967 и 1968 гг. уровни подземных вод понизились на 12—16 м, что вызвало гибель тугайных зарослей на участке долины длиной около 6 км. Однако хозяйственный ущерб весьма невелик по сравнению с ценностью подземных вод, которые обеспечили водоснабжение Джекказганского промышленного комплекса в засушливый период.

Кроме того, за счет сокращения непродуктивной транспирации фреатофитов на Айдосском водозаборе удалось «экономить» ежегодно около 6 млн. м^3 воды, что в условиях аридной зоны представляет большую ценность.

Эксплуатация водозаборов в долинах рек наносит и определенный ущерб речному стоку. Как показали исследования КазНИГМИ, Джекказганской геологоразведочной экспедиции [74],

а также проводившееся во ВСЕГИНГЕО аналоговое моделирование работы Айдосского водозабора, потери поверхностного стока на водозаборе составляют 9—15 млн. м³ в год, или 6,5—10,7% от нормы стока, поступающего в водохранилище. В маловодные годы (75% обеспеченности) поглощение поверхностного стока достигает 28—45% его объема, а в многоводные (25% обеспеченности) 4,7—7,6%. Кроме того, под влиянием работы водозаборов усиливается фильтрация поверхностных вод по мелкой гидрографической сети.

Проблему ущерба речному стоку в результате действия водозаборов необходимо решать на основе комплексного использования водных ресурсов. В отдельные многоводные годы после наполнения водохранилищ часть поверхностного стока сбрасывается в пустынные малообжитые районы, где воды испаряются. Например, в 1971—1973 гг. холостой сброс через плотину Кенгирского водохранилища составил 560 млн. м³. Как указывают А. Н. Егоров и другие, стоимость воды в Джезказган-Атасуйском районе Центрального Казахстана в будущем будет равна 22—26 коп. за 1 м³. При цене 22 коп. за 1 м³ стоимость воды, сброшенной через плотину Кенгирского водохранилища, только в 1971—1973 гг. составляла более 120 млн. руб. Общее же количество воды, бесполезно ушедшей в пустыню после сброса через плотину водохранилища с момента его заполнения в 1954 г., составило 1440 млн. м³, что при цене 22 коп. за 1 м³ дает почти 320 млн. руб., или за 20 лет эксплуатации водохранилища потери в среднем составляют 16 млн. руб. в год. Если бы имелись соответствующие подземные емкости, удалось бы частично избежать этих потерь водных ресурсов. Поэтому эксплуатация водозаборов в речных долинах, способствуя трансформации поверхностного стока в подземный, в целом увеличивает эксплуатационные ресурсы вод рассматриваемой территории. Таким образом, водозаборы подземных вод в долинах рек с периодическим стоком в аридной зоне являются важнейшими, часто единственными источниками централизованного водоснабжения. Косвенным показателем этого является то, что в пределах рассматриваемой территории разведаны и утверждены в ГКЗ и ТКЗ запасы по 53 месторождениям рассматриваемого типа, из которых эксплуатируется 17.

5. Водозаборы в ограниченных по площади структурах, сложенных трещиноватыми и закарстованными породами. Этот тип месторождений широко распространен в пенепленизированных древних складчатых областях — Центрально-Казахстанской, Уральской (Мугоджары), Копетдаг-Большебалханской, несколько меньше в горных сооружениях Тань-Шаня, Джунгарского Алатау и Алтая. Всего в Средней Азии и Казахстане к этому типу относятся 32 эксплуатируемых месторождения (всего разведаны и утверждены запасы по 66 месторождениям). Эксплуатационные запасы подземных вод и расходы водозаборов обычно невелики — от 5—10 до 20—30 тыс. м³/сут, редко больше (Уртакагыльское месторождение в районе Джезказгана — 36 тыс. м³/сут, Багирское

в Копет-Даге в известняках неокома — 147 тыс. м³/сут.). Эксплуатационный отбор подземных вод обеспечивается главным образом двумя источниками: сработкой емкостных запасов подземных вод и привлечением естественных ресурсов, формирующихся в пределах месторождений и обычно разгружающихся на контакте водонесных и слабопроницаемых пород. При длительной эксплуатации водозаборов и понижениях уровня в пределах месторождений, в частности, на контактах с относительно слабопроницаемыми породами, достигающими 15—20 м, заметную роль в обеспечении эксплуатационного отбора начинает играть перетекание из окружающих пород. При эксплуатации водозаборов подгруппы Va воронки депрессии распространяются обычно только в пределах водовмещающих пород, здесь понижения достигают 30 (Жанайский водозабор) — 50 м (Кайдаульский водозабор в районе Экибастуза), образуя как бы «колодцы» с площадью в несколько десятков квадратных километров. На водозаборах подземных вод в известняках неокома в Копет-Даге понижения уровня за период эксплуатации с 1958—1960 гг. составили от 15 (Багирский водозабор) до 20 м (Готуратинский водозабор). Понижения уровня в окружающих породах (Жанайский водозабор) невелики (несколько метров). Тем не менее привлечение естественных ресурсов к водозаборам и прекращение разгрузки может иногда приводить к пересыханию растительности, исчезновению родников и т. д. В целом же эксплуатация водозаборов в структурах, не связанных с реками практически не влияет на состояние природной среды. Так, на Жанайской структуре, несмотря на то что к 1976 г. уровни трещинно-карстовых вод были ниже статических на 30 м, изменений на земной поверхности почти не произошло: образовались небольшие солонцы на южной оконечности структуры и перестали функционировать три родника, имевшие до начала эксплуатации водозабора расход 0,05—0,1 л/с.

К подгруппе Vб относятся водозаборы, приуроченные к межгорным впадинам, конусам выноса и предгорным шлейфам, обрамляющим горные сооружения Средней Азии и Южного Казахстана, сложенным мощными толщами хорошо проницаемых аллювиально-пролювиальных гравийно-галечниковых и валунных отложений, характеризующихся обычно весьма мощными потоками подземных вод [69] с расходом в несколько, а нередко и несколько десятков кубических метров в секунду. Так, естественные ресурсы подземных вод Алаарчинского конуса выноса в районе г. Фрунзе оцениваются в 8—9 м³/с, Сохского конуса выноса в Ферганской котловине, по данным В. А. Гейнца, — 27 м³/с, предгорного шлейфа в районе г. Алма-Аты (конуса выноса Большой и Малой Алмаатинок, Талгара, Каскелена и других речек), по данным В. Ф. Шлыгиной, — около 30 м³/с. Расход потока подземных вод возле г. Ферганы, утвержденный ГКЗ по категориям А+В+С₁, равен 55 м³/с. К рассматриваемой подгруппе в пределах Средней Азии и Казахстана принадлежит 136 водозаборов, как правило, наиболее крупных. Это основной тип эксплуатируемых водозаборов как

для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения, так и для орошения. Следует отметить, что поскольку часто конуса выноса сливаются (северный склон Киргизского хребта, Копет-Дага, Заилийского Алатау и др.), водоносные горизонты образуют полосообразные коллекторы шириной несколько и длиной сотни километров. Главными источниками формирования эксплуатационных запасов (отбора подземных вод) на водозаборах подгруппы Vб являются поглощение поверхностного стока речек, стекающих с гор, привлечение естественных ресурсов подземных вод, разгружающихся в зоне выклинивания, питание водоносных горизонтов инфильтрующимися оросительными водами. Водозаборы представляют собой линейные ряды скважин, обычно вкрест речных русел (параллельно горам), или площадные системы.

В таких условиях подавляющее большинство водозаборов подземных вод, даже крупных — с производительностью 200 тыс. м³/сут (2—2,5 м³/сек) и более при сохранении естественного питания и формирования ресурсов подземных вод в целом работает в установившемся режиме, а уровни подземных вод в многолетнем разрезе понижаются (нередко скачками) пропорционально увеличению отбора подземных вод. При этом влияние работы водозаборов на географическую среду незначительно и может привести к прекращению разгрузки и высыханию болот (Ортоолышская впадина в Киргизии) или к некоторому, как правило, далеко не полному сокращению выклинивания в виде карасу, родников, сокращения эвапотранспирации в зоне выклинивания и т. д. Отметим, что при недостаточном интенсивном питании, при значительных водоотборах из водоносных горизонтов аллювиально-пролювиальных отложений конусов выноса и предгорного шлейфа наблюдалась сработка естественных запасов на северном склоне Копет-Дага. Здесь водозаборы работали в неустановившемся режиме, а темп снижения уровня достигал 3,5 м в год (Ашхабадский, Секисябзский и другие водозаборы). Происходило подтягивание соленых вод не только с боков, но и снизу, в результате чего минерализация подземных вод, отбираемых, например, Ашхабадским водозабором в конце 60-х годов, достигала 2,5 г/л. Положение резко изменилось после строительства Каракумского канала им. В. И. Ленина. Фильтрация из канала, наряду с некоторым сокращением величины отбора, привела к подъему уровней в 1970—1972 гг. на 5—15 м (Безмеин-Гиждуванский, Ашхабадский, Кельте-Чинарский водозаборы).

Резюмируя изложенное, подчеркнем, что в рассматриваемых гидрогеологических условиях естественным путем формируются столь крупные запасы подземных вод, что действующие водозаборы для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения сколько-нибудь заметного и тем более негативного влияния на окружающую среду не оказывают.

Условия работы водозаборов подземных вод в описываемой гидрогеологической обстановке часто резко изменяются (ухудшаются) под влиянием хозяйственной деятельности человека.

В качестве примера рассмотрим Головной водозабор (основной источник коммунального водоснабжения г. Фрунзе), расположенный в упоминавшейся Ортоолышской впадине. Она имеет площадь около 130 км², с юга, юго-запада и юго-востока ограничена горными сооружениями Киргизского хребта, с севера непроницаемыми «прилавками», сложенными конгломератами неогена. Впадина выполнена гравийно-галечниковыми отложениями мощностью до 260 м, в которых за счет инфильтрации поверхностных вод рек и ручьев, стекающих с Киргизского хребта, а также атмосферных осадков в естественных условиях формировался мощный поток грунтовых вод, разгрузившийся в болоте Чар и поверхностным путем уходящий по руслу р. Алаарчи. В районе болота Чар был построен водозабор для водоснабжения г. Фрунзе, работавший в установленном режиме, несмотря на рост водоотбора до 2 м³/с. Водозабор представляет площадную систему из тридцати скважин. В 1968—1969 гг. основная часть стока р. Алаарчи была изъята из русла и направлена по бетонному водоводу в канал Туш. С этого момента водозабор, расход которого в середине 70-х годов составлял 2,2—2,3 м³/с, начал работать в неустановившемся режиме, причем уровень снижался со скоростью приблизительно 1 м в год. В 1966 г. до постройки бетонного канала на основании разведочных работ были оценены и утверждены в ГКЗ эксплуатационные запасы пресных вод Ортоолышской впадины в 335 тыс. м³/сут (3,9 м³/с) по категориям В+С₁. Согласно данным оперативной переоценки запасов подземных вод впадины в 1975 г., эксплуатационные запасы подземных вод составляют уже только 260—280 тыс. м³/сут, или 3—3,2 м³/с.

Аналогичная ситуация складывается, например, в г. Алма-Ата, где бетонирование русла р. Малая Алмаатинка, застройка домами и асфальтирование территорий, ранее занятых садами и огородами, интенсивно поливавшимся, привели к тому, что водозаборы г. Алма-Ата (суммарный отбор около 5 м³/с) начали работать в неустановившемся режиме. Так (сравниваются среднегодовые уровни), с 1973 по 1974 г. по узлу водозаборных скважин 21—22 (расход 54 тыс. м³/сут) уровни понизились на 2—3 м, по узлу 1—7 (расход 93 тыс. м³/сут) — 2,8 м, а по узлу 22—27 (расход 36,6 тыс. м³/сут) — на 2,3 м. На снижение уровней влияет и уменьшение стока рек Большой и Малой Алмаатинок, разбираемого на орошение. Общее снижение уровня подземных вод на большей части Алмаатинского конуса выноса за 1965—1974 гг. составило 14,5—20 м.

Приведенные примеры показывают, что в этой подгруппе основные негативные последствия вызываются не работой крупных водозаборов подземных вод, а иногда неразумной хозяйственной деятельностью человека, а также нерациональным использованием подземных вод.

В Казахстане и Средней Азии эксплуатируется 7 водозаборов, вскрывающих подземные воды золотых песков, а также линз пресных вод, «плавающих» на соленых. Из-за малочисленности

водозаборов они не выделены в отдельную группу. Три водозабора эксплуатируют подземные воды линз пресных вод, содержащихся в песках четвертичного и неогенового возраста, и четыре — подземные воды четвертичных эоловых песков. Водозаборы эти имеют небольшие расходы (от нескольких до 50 л/с — водозабор Саускан), за исключением Ясханского (300—350 л/с), но для полуострова Мангышлак (подземные воды эоловых песков) и равнинной части Туркмении (линзы пресных вод) они имеют чрезвычайно важное значение. Эксплуатационные запасы подземных вод формируются здесь за счет естественных ресурсов (инфильтрация атмосферных осадков) и сработки емкостных запасов (водоносный горизонт эоловых песков), а в линзах пресных вод — почти исключительно за счет сработки емкостных запасов. Не исключено, что некоторую роль в формировании эксплуатационных запасов месторождений этих типов играют процессы конденсации. Эксплуатация подземных вод ведется площадными системами скважин, причем линзы пресных вод эксплуатируются спаренными скважинами, одновременно каптирующими пресные и соленые воды [5]. Вследствие малого водоотбора, пустынности, необжитости территорий, на которых расположены водозаборы, их эксплуатация практически не оказывает влияния на окружающую среду, за исключением пересыхания (иногда) влаголюбивой растительности (чиевников) по кромке песков.

СИБИРЬ И ДАЛЬНИЙ ВОСТОК

На огромной территории Сибири и Дальнего Востока действует примерно столько же водозаборов и с таким же суммарным расходом, сколько в одной Московской области; городское водоснабжение здесь базируется преимущественно на поверхностных водах (табл. 2). Водозаборы сосредоточены в основном на юге. Примерно половина водозаборов, действующих на территории Сибири и Дальнего Востока, имеет расходы менее 100 л/с, около 40% водозаборов эксплуатируется с расходами от 100 до 300 л/с и только на 10% водозаборов отбирается от 0,3 до 0,7 м³/с. Самый крупный водозабор с расходом 4,6 м³/с эксплуатируется для водоснабжения г. Красноярск. Наиболее крупными потребителями подземных вод, где действуют от 3 до 10 водозаборов с суммарным водоотбором от 0,5 до 1 м³/с, являются города Барнаул, Бийск, Новокузнецк, Томск, Красноярск, Чита, Улан-Уде, Комсомольск-на-Амуре и Хабаровск.

Большинство водозаборов расположено в долинах крупных рек и вскрывают подземные воды четвертичных, а в отдельных случаях коренных отложений. Источником формирования эксплуатационных запасов на этих водозаборах являются поверхностные воды, однако заметного ущерба речному стоку эти водозаборы не наносят. Понижения уровня на инфильтрационных водозаборах, как правило, не превышают нескольких метров, а влияние их

локализовано на очень ограниченной площади. Наиболее крупный Красноярский водозабор расположен на острове на р. Енисей. На инфильтрационных водозаборах в процессе эксплуатации в ряде случаев наблюдается изменение качества подземных вод, так, например, на водозаборах г. Хабаровска происходит обезжелезивание подземных вод.

В Западной Сибири значительная часть действующих водозаборов эксплуатирует месторождения артезианских бассейнов платформенного типа. Как правило, вскрываются неглубокозалегающие водоносные горизонты, гидравлически связанные с грунтовыми водами. Понижения на этих водозаборах обычно не превышают 15—20 м, данных о развитии воронок депрессии не имеется.

На территории Красноярского края (пос. Талнах) и Магаданской области (пос. Билибино) действуют два водозабора, расположенных в зоне многолетней мерзлоты. Водозаборы находятся в долинах рек и эксплуатируют подземные воды валунно-галечниковых четвертичных отложений и песчаных отложений триаса. Расход первого водозабора достигает 450, второго — всего 20 л/с. Влияние эксплуатации этих водозаборов на окружающую среду проявляется в уменьшении и полном исчезновении наледного стока в зимний период, частичном осушении водоносной толщи, размораживании грунтов в бортах долины на глубину, очевидно, порядка нескольких метров.

Таким образом, из краткого обзора действующих водозаборов видно, что на территории Сибири и Дальнего Востока эксплуатация подземных вод практически не оказывает влияния на окружающую среду.

Рассмотрев действующие водозаборы подземных вод на территории Советского Союза, можно сделать некоторые выводы.

1. В Советском Союзе для городского водоснабжения и орошения эксплуатируется около 1760 групповых водозаборов. Распределение этих водозаборов по экономическим районам и союзным республикам приведено в табл. 2. Большинство действующих водозаборов находится в европейской части СССР, в Казахстане и Средней Азии. Наибольший водоотбор наблюдается в Московской области, в долине р. Северского Донца, в отдельных крупных городах (Киев, Харьков, Воронеж, Тула, Красноярск, Алма-Ата, Фрунзе, Тбилиси и др.), а также в некоторых межгорных артезианских бассейнах Средней Азии, Южного Казахстана и Закавказья (Ферганская, Араратская области и др.), где подземные воды используются в основном для орошения.

2. Эксплуатация водозаборов не отразилась сколько-нибудь существенно на гидрогеологических условиях большей части территории СССР. Исключение составляют отдельные районы наиболее интенсивной эксплуатации подземных вод, расположенные главным образом в европейской части СССР. В основном влияние эксплуатации водозаборов сказывается на незначительной площади (в радиусе от 1—2 до 10—15 км).

Распределение действующих групповых водозаборов по республиканским и экономическим районам Советского Союза

Республики	Экономические районы	Гидрогеологические районы	Эксплуатируемые водоносные горизонты Преобладающие	Число действующих групповых водозаборов на 1/1 1973 г.	Преобладающие группы водозаборов (см. табл. 1)	Наиболее крупные потребители (города) подземных вод или групповые водозаборы
РСФСР	Северо-Западный	Средне-Русский артезианский бассейн, Балтийский бассейн трещинных вод, Тимано-Уральская гидрогеологическая складчатая область	$Q, P, K, R, C, D,$ O, E, PR Q, D, O, PR	40	I, II, III	Ленинград, Воркута
	Центральный	Средне-Русский артезианский бассейн	Q, K, T, P, C, D C, D	240 (130 в Московской области, 30 — в Тульской)	I, II, III	Брянск, Калинин, Калуга, Орел, Рязань, Смоленск, Тула, Москва и города Московской области
	Центрально-Черноземный	Средне-Русский, Днепровско-Донецкий артезианские бассейны	Q, N, K, J, D K, D	47	I, II, III	Белгород, Воронеж, Липецк, Тамбов, Курск
	Северо-Кавказский	Кавказская гидрогеологическая складчатая область	Q, N, K Q, N	90	I, II, III	Краснодар, Сочи, Туапсе, Нальчик
	Волго-Вятский	Восточно-Русский и Средне-Русский артезианские бассейны	Q, T, P, C, D Q, P, C	23	II, III	Дзержинск, Саранск
	Поволжский	Восточно-Русский артезианский бассейн	Q, N, T, P, C Q, P	80	III	Куйбышев, Тольятти, Сызрань, Уфа, Стерлитамак, Октябрьский, Казань
	Уральский	Восточно-Русский артезианский бассейн, Уральская гидрогеологическая складчатая область	Q, P, K, P, D, PZ Q, P, PZ	60	III, Va	Оренбург, Березники, Магнитогорск
	Западно-Сибирский	Западно-Сибирская платформенная артезианская область, Саяно-Алтайско-Енисейская гидрогеологическая складчатая область	Q, N, P, K, J, PZ Q, N, P, K	61	II, III	Барнаул, Бийск, Кемерово, Новокузнецк, Ленинск-Кузнецкий, Томск, Тюмень
	Восточно-Сибирский	Восточно-Сибирская артезианская область, Саяно-Алтайско-Енисейская гидрогеологическая складчатая область и Восточно-Сибирская гидрогеологическая складчатая область	Q, K, J, C, D, E Q, K	34	III	Красноярск, Талнах, Чита

Республики	Экономические районы	Гидрогеологические районы	Эксплуатируемые водоносные горизонты Преобладающие	Число действующих групповых водозаборов на 1/1 1973 г.	Преобладающие группы водозаборов (см. табл. 1)	Наиболее крупные потребители (города) подземных вод или групповые водозаборы
Украина	Дальневосточный	Восточно-Сибирская артезианская область, Восточно-Сибирская, Зейско-Бурейнская, Сихотэ-Алиньская, Верхояно-Чукотская, Камчатско-Корякская и Сахалинская гидрогеологические складчатые области	Q, N, P, K, J, ϵ Q	43	III	Комсомольск-на-Амуре, Хабаровск
	Всего по РСФСР			718		
	Северо-Восточный	Днепровско-Донецкий артезианский бассейн, Донецкий бассейн трещинных вод	Q, N, P, K, J, C Q, N, P, K	106	I, II, III, IV	Киев, Харьков, Полтава, Сумы, Шостка, Чернигов, Ворошиловград, Северо-Донецкие водозаборы
	Центральный	Украинский бассейн трещинных вод, Причерноморский артезианский бассейн	$Q, P, P\epsilon$ $P, P\epsilon$	49	II, III, Va	Павлоград, Днепропетровск, Александрия, Бердичев, Черкассы, Мелитополь
Казахстан	Южный	Причерноморский артезианский бассейн, Крымская гидрогеологическая складчатая область	Q, N, K, J N	185 (90 в Крымской области, 83 — в Херсонской)	II, III	Севастополь, Керчь, Ялта, Джанкой, Николаев, Измаил, Херсон
	Западный	Балтийско-Польский артезианский бассейн, Карпатская гидрогеологическая складчатая область	Q, N, K, D, S, PR Q, K, PR	41	II, III, Va	Львов, Ровно, Тернополь, Хмельницкий, Черновцы, Ивано-Франковск, Дрогобыч, Мукачево
	Всего по Украине			381		
	Южно-Казахстанский	Системы складчато-глыбовых зон и межгорных артезианских бассейнов Тянь-Шаня и Джунгарского Алатау, Сырдарьинский и Чу-Сарысуйский артезианские бассейны	apQ, aQ, N_2, K, PZ apQ, aQ, K_2, PZ	51	II, III, IV, Va, Vb	Алма-Атинский, Талас-Ассинский, Карадалинский, Талды-Курганский, Бассай-Акеусский
	Центрально-Казахстанский	Центрально-Казахстанская гидрогеологическая складчатая область, частично Чу-Сарысуйский и Тургайский артезианские бассейны	$aQ, P, J, D_3-C_1, O, \epsilon, \gamma$ aQ, D_3-C_1	23	II, IV, V, Va	Карагандинские (Котур, Джаргас), Жанайский, Айдосский, Сакур-Михайловский, Нижне-Токрауский

Республики	Экономические районы	Гидрогеологические районы	Эксплуатируемые водоносные горизонты Преобладающие	Число действующих групповых водозаборов на 1/1 1973 г.	Преобладающие группы водозаборов (см. табл. 1)	Наиболее крупные потребители (города) подземных вод или групповые водозаборы
42	Восточно-Казахстанский	Жарпино-Рудноалтайский гидрогеологический район, Центрально-Казахстанская гидрогеологическая складчатая область	aQ, N aQ, N	12	III, IV, Va	Усть-Каменогорский, Артамановский, Зыряновский
	Северо-Казахстанский	Центрально-Казахстанская гидрогеологическая складчатая область, Иртышский, Тургайский и Тобольский артезианские бассейны	aQ, P, K, C, D aQ, P, K	7	I, II, III, IV, Va	Успенский, Кустанайский, Ермаковский, Кайдаульский
	Западно-Казахстанский	Каспийский, Северо-Аральский, Мангышлак-Устюртский артезианские бассейны, южная часть Уральской гидрогеологической складчатой области	aQ, eolQ, K aQ, eolQ, K	39	II, III, IV, Va	Тандинский, Куюлусский, Саусканский, Илекский
	Всего по Казахстану			132		
Эстония	}	Балтийско-Польский артезианский бассейн	Q, C, D, S, O, E, PR	19	II	Таллин, Тарту, Кохтла-Ярве
Латвия			O, E, PR Q, D, C	19	II, III	Рига
Литва			Q, D Q, K, P, D	25	I, II, III	Вильнюс, Каунас, Клайпеда, Шяуляй
Белоруссия			Q			
		Средне-Русский, Балтийско-Польский и Днепровско-Донецкий артезианские бассейны	Q, P, K, D, PR Q, P, D, PR	70	I, II, III	Минск, Витебск, Орша, Могилев, Бобруйск, Гомель, Брест, Барановичи, Гродно
43	Молдавия	Причерноморский бассейн	Q, N, K, S Q, N	19	II, III	Кишинев, Бендеры, Тирасполь
Грузия	Кавказская гидрогеологическая складчатая область	Q, N Q	37	III	Тбилиси, Рустави, Сухуми, Батуми, Кутаиси, Поти, Чиатура, Гори	
Армения	Кавказская гидрогеологическая складчатая область	Q Q	30	Самоизливающие скважины, родники	Арагатская и Масрикская межгорные котловины, юго-западный склон Карабах-Сюникского нагорья, родники к северу от Еревана, Казангинские родники, Катанахпсорский подземный водоток	

Республики	Экономические районы	Гидрогеологические районы	Эксплуатируемые водоносные горизонты Преобладающие	Число действующих групповых водозаборов на 1/1 1973 г.	Преобладающие группы водозаборов (см. табл. 1)	Наиболее крупные потребители (города) подземных вод или групповые водозаборы
Азербайджан		Кавказская гидрогеологическая складчатая область	Q, N Q	78	II, III, Vб	Кировабад, Мир-башир, водозаборы I и II Бакинского водопровода
44 Киргизия		Системы складчато-глубоких зон и межгорных артезианских бассейнов Тянь-Шаня, Копет-Дага, Большебалханская гидрогеологическая складчатая область, Центрально-Кзылкумская гидрогеологическая складчатая область с системой малых артезианских бассейнов, Амударьинский и частично Сырдарьинский артезианские бассейны	apQ, aO, N, P, K ₂ , K ₁ , C, D, S, PZ	29	III, Vб	Калининский, Сокулукский, Кугартский
Таджикистан	46			III, Vб	Душанбе-Кафирниганский	
Туркмения	71		III, Va, Vб,	Багирский, Ясханский		
Узбекистан	83		III, Va, Vб	Центрально-Ферганский, Китабо-Шохрисабский, Алмалыкский, Кибрайский		
Всего по СССР	1757					

3. Изменение природных условий в зоне влияния водозаборов проявляется в изменении баланса эксплуатируемого и смежных с ним водоносных горизонтов, уменьшении речного стока, высыхании озер, болот, гибели растительности, исчезновении родников и др.

4. На ряде водозаборов в европейской части СССР, Казахстане и Средней Азии наблюдается отрицательное влияние эксплуатации водозаборов на окружающую среду, вызванное хозяйственной деятельностью человека (регулирование поверхностного стока, бетонирование русел рек, застройка городов, загрязнение подземных и поверхностных вод). С течением времени влияние деятельности человека на режим эксплуатации водозаборов будет увеличиваться.

5. В настоящее время на территории Советского Союза отбирается около 10% эксплуатационных ресурсов. В ближайшее 10—20 лет водоотбор подземных вод будет резко увеличен, в связи с чем увеличится влияние эксплуатации водозаборов на окружающую среду.

ГЛАВА III

ВЛИЯНИЕ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ НА РЕЖИМ, РЕСУРСЫ И ЗАПАСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Изучение изменений гидрогеологических условий территорий, прилегающих к Волжским и Днепровским водохранилищам, является частью народнохозяйственной проблемы по использованию и охране водных ресурсов СССР.

К сложным преобразованиям природы окружающей территории приводит создание водохранилищ на крупных реках. Водоохранилища оказывают влияние на большой комплекс природных условий, в том числе и на гидрогеологические условия, изменение которых связано с подъемом уровней подземных вод в результате подпора от водохранилища, что сопровождается подтоплением и заболачиванием части территории, а также изменением качества подземных вод в зоне подпора. Поэтому обобщение материалов предыдущих исследований, выполненных в различные периоды проектирования и строительства водохранилищ, а также анализ результатов специальных режимных наблюдений является важной задачей, решение которой позволяет выявить особенности формирования подземных вод в зоне подпора.

Изменения гидрогеологических условий вызывают также изменения ресурсов и запасов подземных вод. В связи с высокой стоимостью разведочных и опытных работ для водоснабжения выбор участков, перспективных для постановки детальных гидрогеологических исследований в районе водохранилищ, целесообразно проводить после региональной оценки эксплуатационных ресурсов подземных вод. Такой подход к решению вопросов водоснабжения различных объектов в районе водохранилищ ведет к повышению экономической эффективности разведочных работ.

С целью изучения влияния Волжских водохранилищ на изменение режима, ресурсов и запасов подземных вод было изучено пять водохранилищ: Ивановское, Горьковское, Куйбышевское, Саратовское и Волгоградское (рис. 3). К сожалению, объем данной работы не позволяет с достаточной подробностью остановиться на описании выполненных исследований по всем изученным водохранилищам.

В данной главе даны методические рекомендации по оценке влияния равнинных водохранилищ на ресурсы и запасы подземных вод, на основе которых были выполнены исследования по всем вышеупомянутым водохранилищам. Как пример выполненных исследований дается более или менее полное описание Саратовского

водохранилища. По остальным водохранилищам приводятся общая характеристика, краткое изложение естественных геологических и гидрогеологических условий и таблица результатов расчета ресурсов и запасов подземных вод.

Основную долю эксплуатационных ресурсов грунтовых вод составляют привлекаемые ресурсы, определявшиеся по формуле Маскета—Лейбензона. Приведенные результаты расчетов привлекаемых ресурсов до и после создания водохранилищ носят региональный характер, так как эти расчеты дают оценку размещаемых инфильтрационных водозаборов на протяжении всей территории водохранилищ до и после его заполнения. Значения параметров, входящих в формулу Маскета—Лейбензона, задавались в соответствии с расчетной схемой эксплуатационных ресурсов без детального учета особенностей заложения инфильтрационных водозаборов на отдельных участках.

Кроме региональной оценки привлекаемых ресурсов, по отдельным водохранилищам рассматривается возможность размещения водозаборов в прибрежной зоне вблизи конкретных населенных пунктов. При этом учитываются все особенности заложения инфильтрационных водозаборов до и после создания водохранилищ в основном на примере

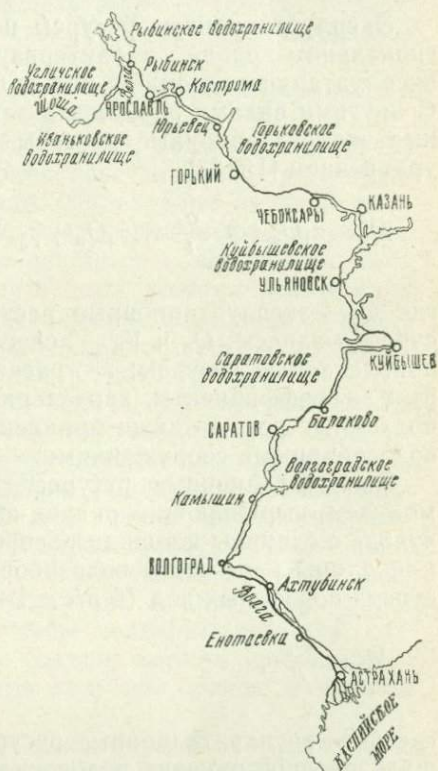


Рис. 3. Схема расположения Волжских водохранилищ

Кременчугского водохранилища Днепровского каскада. В процессе выполненных работ решены следующие вопросы:

- а) изучены и обобщены материалы изысканий и опытных работ в период проектирования и строительства водохранилищ;
- б) изучен естественный и нарушенный режим подземных вод в зоне влияния водохранилищ;
- в) выполнена региональная оценка естественных ресурсов и запасов, а также эксплуатационных ресурсов подземных вод до и после заполнения водохранилищ;
- г) изучены гидрогеологические особенности заложения инфильтрационных водозаборов и даны рекомендации по их региональному использованию.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ НА РЕСУРСЫ И ЗАПАСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

КЛАССИФИКАЦИЯ РЕСУРСОВ И ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Эксплуатационные ресурсы подземных вод, оцениваемые в региональном плане, характеризуют потенциальную возможность эксплуатации подземных вод в пределах того или иного региона. С другими видами ресурсов и запасов подземных вод потенциальные эксплуатационные ресурсы связаны следующим балансовым уравнением [15, 33]:

$$Q_3 = \alpha_1 Q_e + \beta_1 \frac{V_e}{t} + \alpha_2 Q_n + \beta_2 \frac{V_n}{t} + \gamma Q_{пн} \quad (1)$$

где Q_3 — эксплуатационные ресурсы; Q_e и V_e — естественные ресурсы и запасы; $Q_{пн}$ — привлекаемые ресурсы; t — расчетный период времени; α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , γ — коэффициенты, характеризующие долю ресурсов и запасов подземных вод, а также привлекаемых речных вод, используемых водозаборными сооружениями.

Эксплуатационные ресурсы подземных вод характеризуются модулем, выражающим расход подземных вод, который можно получить с единицы площади распространения водоносного горизонта или длины берегового водозабора. Модуль эксплуатационных ресурсов подземных вод (в л/с с 1 км²)

$$M_3 = \frac{Q_3}{F}, \quad (2)$$

где Q_3 — эксплуатационные ресурсы подземных вод, л/с; F — площадь распространения водоносного горизонта, в пределах которой можно получить расход Q_3 , км².

В зависимости от времени и технических условий эксплуатации подземных вод, а также от характера влияния водохранилища изменяются относительные значения компонентов балансового уравнения.

Естественные ресурсы водоносного горизонта Q_e — это его питание в естественных условиях, равное алгебраической сумме поступления воды за счет инфильтрации атмосферных осадков, фильтрации из рек, перетекания из нижерасположенных водоносных горизонтов и расходования ее при испарении. Естественные ресурсы водоносного горизонта есть расход подземного потока в естественных условиях. После создания водохранилища они в большинстве случаев уменьшаются. Это связано с уменьшением уклонов поверхности грунтового потока, а также с затоплением определенной части аллювиальных отложений. Величина уменьше-

ния естественных ресурсов подземных вод зависит от величины затопленной площади аллювиальных отложений и тех изменений, которые произойдут в пределах незатопленных участков.

Естественные запасы подземных вод V_e представляют собой объем гравитационной воды, содержащейся в пласте в естественных условиях. Затопление ранее обводненных аллювиальных отложений обуславливает уменьшение естественных запасов подземных вод на величину, равную естественным запасам подземных вод затопленных отложений.

После создания водохранилища происходит формирование искусственных ресурсов и запасов подземных вод.

Искусственные ресурсы подземных вод $Q_{в}$ возникают во время формирования подпора, т. е. в период неустановившегося движения подземных вод, когда происходит фильтрация из водохранилища. В период установившегося движения подземных вод, когда фильтрация из водохранилища прекращается и начинается питание его подземными водами, искусственные ресурсы равны нулю в пределах основной части водохранилища. В зоне обходной фильтрации в период установившегося движения подземных вод искусственные ресурсы достигают максимальной величины.

Искусственные запасы подземных вод $V_{и}$ формируются вследствие обводнения ранее сухих пород зоны аэрации при подпоре. В зависимости от конкретных гидрогеологических условий побережья величина искусственных запасов различна. Наибольшая мощность их отмечается обычно в прибрежной зоне водохранилища. В зависимости от величины сезонной сработки уровня водохранилища происходит изменение искусственных запасов подземных вод из-за периодического осушения и обводнения пород в приводохранилищной зоне. Чем выше величины сезонной сработки уровня водохранилища и чем больше ширина зоны влияния этой сработки на уровень подземных вод, тем больше изменение искусственных запасов.

Привлекаемые ресурсы $Q_{п}$ — это дополнительный расход подземных вод, возникающий при образовании депрессионных воронок в процессе эксплуатации водозаборов за счет фильтрации из рек, водохранилищ, инфильтрации атмосферных осадков и перетекания подземных вод из нижерасположенных водоносных горизонтов. Изменение привлекаемых ресурсов должно рассматриваться в каждом случае отдельно, так как с созданием водохранилища могут измениться характер взаимосвязи водоносных горизонтов, а также условия питания и разгрузки подземных вод.

Величина привлекаемых ресурсов зависит от гидрогеологических условий участков заложения водозаборов. Значительное увеличение привлекаемых ресурсов может наблюдаться на участках древних погребенных долин, пересекающих урез водохранилищ. В этом случае, как показали расчеты для Горьковского водохранилища, увеличение привлекаемых ресурсов достигает значительных размеров.

БАЛАНСОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Балансовый метод расчета позволяет определять величину изменения потенциальных эксплуатационных ресурсов подземных вод путем определения отдельных составляющих баланса подземных вод до и после создания водохранилища.

До создания водохранилища, когда искусственные ресурсы и запасы подземных вод равны нулю, уравнение водного баланса (1) принимает вид:

$$Q'_3 = \alpha'_1 Q'_e + \beta'_1 \frac{V'_e}{t} + \gamma' Q'_n, \quad (3)$$

где Q'_3 — эксплуатационные ресурсы подземных вод до создания водохранилища; Q'_e и V'_e — естественные ресурсы и запасы подземных вод до создания водохранилища; Q'_n — привлекаемые ресурсы подземных вод до создания водохранилища; α'_1 , β'_1 , γ' — коэффициенты, характеризующие долю естественных ресурсов и запасов, а также привлекаемых ресурсов, используемых водозаборными сооружениями до создания водохранилища.

После создания водохранилища на конечной стадии развития подпора, когда закончено формирование искусственных запасов подземных вод и искусственные ресурсы равны нулю (за исключением участков обходной фильтрации), уравнение водного баланса (1) примет вид:

$$Q''_3 = \alpha''_1 Q''_e + \beta''_1 \frac{V''_e}{t} + \alpha''_2 Q''_n + \beta''_2 \frac{V''_n}{t} + \gamma'' Q''_n, \quad (4)$$

где Q''_3 — эксплуатационные ресурсы подземных вод после создания водохранилища; Q''_e и V''_e — естественные ресурсы и запасы подземных вод после создания водохранилища; Q''_n — искусственные ресурсы после создания водохранилища; V''_n — искусственные запасы подземных вод после создания водохранилища; Q''_n — привлекаемые ресурсы подземных вод после создания водохранилища; α''_1 , α''_2 , β''_1 , β''_2 , γ'' — коэффициенты, характеризующие долю соответствующих ресурсов и запасов, используемых водозаборными сооружениями после создания водохранилища.

Изменение эксплуатационных ресурсов подземных вод после создания водохранилища выразится следующим балансовым уравнением

$$\Delta Q_3 = Q''_3 - Q'_3 = (\alpha''_1 Q''_e - \alpha'_1 Q'_e) + \left(\beta''_1 \frac{V''_e}{t} - \beta'_1 \frac{V'_e}{t} \right) + \alpha''_2 Q''_n + (\gamma'' Q''_n - \gamma' Q'_n) + \beta''_2 \frac{V''_n}{t}. \quad (5)$$

Учитывая региональный характер определения эксплуатационных ресурсов, можно принять следующие величины коэффициентов: $\alpha_1 = \alpha_1' = \alpha_2'' = 0,8$; $\beta_1' = \beta_1'' = 0,5$; $\beta_2'' = 1$.

Значения коэффициентов γ' и γ'' зависят от конструкции водозабора и учитываются при расчете привлекаемых из водохранилища и реки ресурсов ($Q_{п}'$ и $Q_{п}''$) по формулам гидродинамики. Следовательно, уравнение (5) можно записать так

$$\Delta Q_3 = 0,8 \Delta Q_e + \frac{\Delta V_e}{2t} + 0,8 Q_{п} + \Delta Q_{п} + \frac{V_{п}''}{t}, \quad (6)$$

где ΔQ_e и ΔV_e — изменение естественных ресурсов и запасов подземных вод после создания водохранилища; $\Delta Q_{п}$ — изменение привлекаемых ресурсов подземных вод после создания водохранилища.

Пользуясь балансовым методом расчета, можно определить изменение ресурсов подземных вод для территорий, прилегающих к водохранилищам, образованным на равнинных реках.

В зоне избыточного увлажнения в период формирования подпора водохранилища обычно происходит фильтрация воды от водохранилища в сторону водораздела и от водораздела к водохранилищу. Вследствие этого образуется депрессия, ось которой проходит вдоль водохранилища. В последующие годы идет заполнение депрессии до предельного уровня, когда восстанавливается движение подземных вод от водораздела к водохранилищу.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ И ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Для региональной оценки естественных ресурсов подземных вод существует ряд методов, подробно описанных в целом ряде широко известных работ. При оценке естественных ресурсов подземных вод в зоне влияния водохранилищ может использоваться метод расчета естественных ресурсов по величине расхода потока, так как в этом случае учитывается питание не только за счет инфильтрации атмосферных осадков и поглощения поверхностного стока, но и за счет перетекания из нижерасположенных водоносных горизонтов, а также расхода подземных вод на разгрузку в смежные водоносные горизонты и на испарение.

1. Расход в однородном пласте при незначительно изменяющейся мощности, установившемся движении подземных вод (до заполнения водохранилища и после создания подпора) и отсутствии питания за счет инфильтрации можно определять по формуле:

$$Q_e = k_{cp} h_{cp} \beta I, \quad (7)$$

где k_{cp} — коэффициент фильтрации пласта; h_{cp} — средняя мощность пласта; β — ширина фронта потока; I — средний уклон потока между расчетными сечениями.

При изменении фильтрационных свойств на исследуемом участке следует пользоваться формулой

$$Q_e = \frac{k_1 \omega_1 + k_2 \omega_2}{2} I, \quad (8)$$

где k_1 и k_2 — коэффициенты фильтрации в первом и втором сечениях потока, расположенных перпендикулярно направлению движения подземных вод; сечения выбираются по гидроизогипсам или пьезоизогипсам; ω_1 и ω_2 — площади этих сечений; I — средний уклон потока между расчетными сечениями.

Определение естественного расхода подземных вод до и после создания водохранилища производится на основе карт гидроизогипс, мощности водоносного горизонта и средних значений коэффициента фильтрации водосодержащих пород. На основе этих данных составляются карты гидрогеологического районирования, характеризующиеся усредненными параметрами водоносного горизонта.

2. При инфильтрации сверху и сложной конфигурации гидроизогипс фильтрационное поле водоносного горизонта разбивается на гидродинамические блоки и подблоки, в пределах которых сохраняются более или менее однородные гидродинамические условия.

Боковыми границами блоков и подблоков служат характерные линии токов, верхней и нижней границами — гидроизогипсы. При этом верхняя граница подблока является его контуром питания, а нижняя — контуром разгрузки.

В приводораздельной части верхней границей блока и первого подблока служит водораздельная линия, которая является контуром с нулевым расходом. В случае радиального потока эта линия может быть точкой — вершиной угла, ограниченной двумя линиями тока.

При постоянном расходе в i -том подблоке

$$Q_{pi} = Q_{ni}. \quad (9)$$

Если в i -том подблоке имеются питание или разгрузка,

$$Q_{pi} = Q_{ni} + W_i F_i, \quad (10)$$

где Q_{pi} — расход потока через контур разгрузки i -того подблока; Q_{ni} — расход потока через контур питания i -того подблока; F_i — площадь i -того подблока; W_i — среднее значение результирующей удельного питания (модуль балансового питания) в i -том подблоке. W_i может быть величиной положительной при дополнительном питании внутри подблока и отрицательной при разгрузке внутри его.

Исходя из выражения (10) можно записать

$$W_i = \frac{Q_{pi} - Q_{ni}}{F_i}. \quad (11)$$

Для первого, обычно приводораздельного подблока, где $Q_{\pi_i} = 0$, вместо выражения (10) принимается $Q_{p_i} = W_1 F_1$, тогда $W_1 = \frac{Q_{p_i}}{F_1}$.

По каждому подблоку наряду с модулем балансового питания может быть подсчитан модуль естественных расходов

$$M_i = \frac{Q_{p_i} + Q_{\pi_i}}{2F_i}, \quad (12)$$

который характеризует средний расход подземных вод в пределах подблока.

Для взаимосвязанной системы подблоков, расположенных последовательно вниз по потоку между двумя линиями тока, образующими один блок, можно записать

$$Q_{\pi_i} = Q_{p_{i-1}}, \quad (13)$$

$$Q_{p_i} = Q_{\pi_{i+1}}, \quad (14)$$

где $Q_{p_{i-1}}$ — расход на контуре разгрузки $i-1$ подблока; $Q_{\pi_{i+1}}$ — расход на контуре питания $i+1$ подблока.

В случае сложного строения карт гидроизогипс и водопродовимости в пределах подблока нижний контур подблока делится на элементарные отрезки (σ), в пределах которых уклон остается практически постоянным. Для каждого такого отрезка и подсчитывается величина I . Значение kh снимается с соответствующей карты водопродовимости. Общий расход на контуре подблока определяется по формуле

$$Q = \sum k_i h_i \sum I_j b_j, \quad (15)$$

где i — номер участка с постоянным значением kh ; j — номер отрезка гидроизогипсы с постоянным значением I .

При простом строении указанных карт расход на контуре подблока определяется по формуле $Q = khBI$, где I — уклон потока в нижнем сечении подблока шириной B .

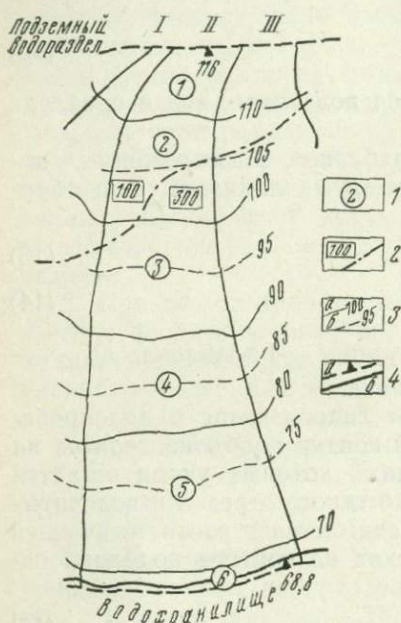
Размеры блоков и подблоков определяются исходя из особенностей урвненной поверхности горизонта и необходимой степени детальности построений. Учитывая, что расходы подблоков связаны между собой выражениями (13) и (14), по каждому блоку можно проводить балансовые расчеты, которые позволят охарактеризовать динамику балансового питания горизонта вниз по потоку и определить суммарную разгрузку.

На основании данных балансовых расчетов составляются карты баланса питания и модулей естественных расходов подземных вод горизонта.

При необходимости произвести более детальную оценку питания или естественных расходов подземных вод на отдельных участках размеры блоков и подблоков могут быть уменьшены, вплоть до размеров элементарных ячеек и лент тока.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ПИТАНИЯ И РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА

На карте гидроизогипс с помощью характерных линий тока выделены блоки I, II, III и т. д. (рис. 4). Каждый блок разделен на подблоки 1, 2, 3, 4 и т. д. На карте показаны площади с различными средними значениями водопроницаемости. Расчет ведется от первого подблока вниз по потоку.



Расчетными сечениями являются верхняя и нижняя границы каждого подблока, проведенные по соответствующим гидроизогипсам. Схема и промежуточные результаты подсчета показаны в табл. 3 и на рис. 4.

Рассмотрим, например, последовательность расчетов в четвер-

Рис. 4. Схема балансовых расчетов питания и разгрузки подземных вод по гидродинамическим подблокам в зоне влияния водохранилища.

1 — номер подблока; 2 — средняя величина водопроницаемости ($m^2/сут$) и граница между площадями с различной средней водопроницаемостью; 3 — гидроизогипсы: а — основные, являющиеся границами подблоков, б — вспомогательные, необходимые для расчета 1; 4 — береговая линия водохранилища с абсолютной отметкой уреза воды в водохранилище (а), условная линия контура водохранилища, проведенная с учетом величины гидравлического сопротивления (б); I, II, III — блоки

том подблоке. Величина питания на верхнем контуре этого подблока равна величине разгрузки на нижнем контуре третьего подблока

$$Q_{п_4} = Q_{р_3} = khI_3B_3 = 300 \text{ м}^2/\text{сут} \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} \times \\ \times 9000 \text{ м} = 3780 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Величина разгрузки на нижнем контуре четвертого подблока

$$Q_{р_4} = khI_4B_4.$$

Значение I_4 на нижнем контуре подблока определялось по формуле

$$I = \frac{1}{3} \left(\frac{\Delta H}{L'} + \frac{\Delta H}{L''} + \frac{\Delta H}{L'''} \right),$$

где L' , L'' , L''' — расстояния между гидроизогипсами с отметками 85 и 75, замеренные по левой (L') и правой (L'') линиям тока, а также посередине между ними (L''').

$$Q_{р_4} = 300 \text{ м}^2/\text{сут} \cdot 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \text{ м} = 5100 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Балансовый расчет питания и разгрузки подземных вод в зоне влияния водохранилища

№ блока	№ подблока	Площадь F , км ²	h , м/сут	$I = \frac{\Delta H}{L}$	B , м	Q_{pi} , м ³ /сут	Распределение, Q_{pi}		$Q_{pi} = Q_{pi-1}$ м ³ /сут	$W_i F_i = Q_{pi} - Q_{pi}$ м ³ /сут	$W_i = \frac{Q_{pi} - Q_{pi}}{86,4 F_i}$, л/с 1 км ²	$W_i / \text{мм} / = 31,6 W_i$ л/с 1 км ²
							Q_{pi+1}	$Q_{\text{пвдх.}}$				
II	1	10,2	100	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^3$	720	720	—	0	720	0,85	26,9
	2	17,6	100	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^3$	320	2120	—	720	1400	0,92	29
			300	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^3$	$\frac{1800}{2120}$						
	3	26,0	300	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^3$	3780	3780	—	2120	1660	0,74	23,4
	4	27	300	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^3$	5100	5100	—	3780	1320	0,57	18
	5	47,4	300	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^3$	3600	3600	—	5100	-1500	-0,37	-11,7
6	15,6	300	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$13 \cdot 10^3$	3900	—	3900	3600	300	0,22	6,9	

Суммарное питание по блоку II: $Q_{\text{пи}} = 720 + 1400 + 1660 + 1320 + 300 = 5400$ м³/сут.

Суммарная разгрузка по блоку II: $Q_{\text{рл}} = 3900 + 1500 = 5400$ м³/сут (3900 м³/сут — величина разгрузки водоносного горизонта в водохранилище, 1500 м³/сут — балансовая величина испарения на площади подтопления, обусловленного подпором водохранилища).

Так как $Q_{p4} = Q_{п4} + W_4 F_4$, то, зная величины $Q_{п4}$ и Q_{p4} , можно определить общее питание в пределах данного подблока

$$W_4 F_4 = 5100 - 3780 = 1320 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Тогда питание на единицу площади этого подблока (модуль питания W_i) составит

$$W_4 = \frac{1320}{86,4 \cdot 27} = 0,57 \text{ л/с с } 1 \text{ км}^2.$$

где 86,4 — переводной коэффициент.

Результаты балансовых расчетов по подблокам используются для составления карты баланса питания подземных вод (рис. 5), на которой показано распределение удельных величин питания и разгрузки подземных вод по площади.

3. Определение естественных ресурсов грунтовых вод в зоне влияния водохранилища с учетом инфильтрации сверху для каждого выделенного блока можно производить и более простым методом, по двум скважинам, пользуясь уравнением Дюпюи.

Первое сечение располагается около уреза водохранилища, а второе — выше по потоку. Расстояние между сечениями должно быть достаточно значительным (1—2 км), чтобы можно было более правильно определить уклон поверхности подземных вод на данном участке, сложенном однородными породами. Здесь единственный расход грунтового потока относится к среднему сечению, расположенному на середине расстояния между первым и вторым сечениями.



Рис. 5. Карта баланса питания подземных вод в зоне влияния водохранилища.

1 — значение баланса питания (л/с с 1 км²), полученное в результате балансовых расчетов (со знаком «+» показаны значения, где преобладает питание водоносного горизонта; со знаком «-» показаны значения, где преобладает разгрузка подземных вод); 2 — изолинии питания подземных вод (в л/с с 1 км²)

Обозначая единичный расход грунтового потока на середине сечения через q_z , напишем:

$$q_z = k \frac{h_1 + h_2}{2} \frac{h_2 - h_1}{l} = k \frac{h_2^2 - h_1^2}{2l}. \quad (16)$$

Единичный расход потока в нижнем сечении будет равен

$$q_1 = q_z + \omega \frac{l}{2}, \quad (17)$$

где q_1 — расход грунтового потока в первом сечении (около уреза водохранилища); ω — инфильтрация, т. е. количество воды, просачивающееся в грунтовые воды сверху через единицу площади поверхности земли в единицу времени; l — расстояние между сечениями.

Определение величины $\omega \frac{l}{2}$ можно заменить определением расхода Δq (в %) на участке $\frac{l}{2}$ (от среднего до первого сечения) от расхода q_z по формуле

$$\frac{\Delta q}{q_z} \cdot 100 = \frac{l}{2L} \cdot 100, \quad (18)$$

где L — расстояние от среднего сечения q_z до водораздела.

Преобразуя формулу (18), можно непосредственно получить Δq .

$$\Delta q = \frac{l}{2L} q_z.$$

Полный расход Q_1 в нижнем сечении блока будет равен

$$Q_1 = q_1 B, \quad (19)$$

где B — ширина нижнего сечения блока.

Естественные запасы V_e подземных вод представляют собой объем гравитационной воды, содержащейся в порах и трещинах водонасыщенной толщи, способной высачиваться под действием силы тяжести.

Естественные запасы определяются как произведение объема, который занимает водоносный горизонт, на его водоотдачу

$$V_e = \mu V, \quad (20)$$

где V_e — естественные запасы; V — объем водоносного пласта; μ — коэффициент водоотдачи пород.

Точность вычисления естественных запасов грунтовых вод зависит в основном от правильности определения водоотдачи пород, так как определение объема водоносного пласта обычно не представляет большой трудности. Его можно установить по карте гидрогеологического районирования.

Установить водоотдачу пород — сложная задача, требующая постановки специальных опытных работ. Величина водоотдачи пород определяется лабораторными методами, методами, основанными на наблюдениях за режимом грунтовых вод, и по данным опытных откачек.

При отсутствии опытных данных ориентировочные значения коэффициента водоотдачи могут быть приняты [16]: для мелкозернистых песков — 0,1; для средне- и крупнозернистых песков — 0,15; для гравийно-галечниковых отложений — 0,2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ РЕСУРСОВ И ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

По Н. Н. Биндеману [11], фильтрационным расходом q из водохранилища называется объемное количество воды, фильтрующееся в единицу времени; величина, обратная фильтрационному расходу q' , называется расходом грунтового питания реки после устройства водохранилища

$$q = -q'. \quad (21)$$

Под фильтрационными потерями понимается разность между расходом грунтового питания реки до устройства водохранилища q_0 и после устройства водохранилища q'

$$q_n = q_0 - q' = q_0 + q, \quad (22)$$

где q , q' , q_0 и q_n — удельные расходы (расходы, отнесенные к единице длины берега водохранилища).

В период неустановившегося движения грунтовых вод фильтрационные потери значительно превышают фильтрационные потери периода установившегося движения.

Существование фильтрационного расхода и фильтрационных потерь в период неустановившегося движения обуславливает формирование искусственных ресурсов Q_n и искусственных запасов V_n подземных вод. При наполнении водохранилища искусственные ресурсы возрастают, а затем уменьшаются до размеров, соответствующих условиям установившегося движения. При отсутствии фильтрации в соседней долины искусственные ресурсы, как и фильтрационные потери, в период установившегося движения грунтовых вод вне влияния нижнего бьефа равны нулю.

При балансовых расчетах эксплуатационных ресурсов грунтовых вод целесообразно определять величину искусственных ресурсов на период установившегося движения грунтовых вод. В этот период на участках побережий водохранилища, где происходит фильтрация в соседнюю речную долину, при горизонтальном водо-

упорном ложе искусственные ресурсы могут быть определены по формуле Дююю

$$q_{\text{и}} = k \frac{y_1^0 - h_1^0}{2\alpha}, \quad (23)$$

а при наклонном залегании водоупора — по формуле Н. Н. Биндемана

$$q_{\text{и}} = k \frac{y_1 - h_1}{2} \left(\frac{y_1 + h_1}{\alpha} \pm i \right), \quad (24)$$

где i — уклон водоупорного ложа (с плюсом при наклоне водоупора в сторону реки, намечаемой для зарегулирования, с минусом — при наклоне его от реки); h_1 и y_1 — мощность водоносного пласта (глубина грунтового потока) у берега водохранилища над водоупорным ложем соответственно до и после подпора; α — расстояние от водохранилища до соседней дренирующей реки; k — коэффициент фильтрации.

Коэффициент фильтрации пород может быть определен по величине инфильтрационного питания при условии горизонтального залегания водоупора ($i=0$) по формуле

$$k = \frac{\omega(\alpha - x)}{\frac{h^2 - h_1^2}{x} + \frac{h_1^2 - y_1^2}{\alpha}}, \quad (25)$$

где h — глубина грунтового потока на расстоянии x от водохранилища; ω — величина инфильтрации.

В зоне влияния нижнего бьефа искусственные ресурсы представляют собой фильтрационные потери, равные расходу фильтрационного потока в обход плотины, и для периода установившегося движения являются величиной постоянной. Расчеты обходной фильтрации могут быть выполнены аналитическими методами или методом моделирования.

Искусственные запасы грунтовых вод формируются в зоне подпора водохранилища и на конечную стадию развития подпора достигают наибольшей величины. В приводохранилищной зоне, где режим грунтовых вод после окончательного формирования зеркала грунтовых вод зависит от величины колебания уровня водохранилища, происходит периодическое уменьшение искусственных запасов грунтовых вод. В условиях небольшой сезонной сработки уровня водохранилища искусственные запасы грунтовых вод практически постоянны во времени.

Искусственные запасы грунтовых вод, формируемые при насыщении ранее сухих грунтов зоны аэрации, определяются по формуле

$$V_{\text{и}} = \mu' V', \quad (26)$$

где μ' — недостаток насыщения пород зоны аэрации до подпора; V' — объем водонасыщенных пород.

При большом количестве скважин в инфильтрационном водозаборе линейного типа приток воды к скважине ряда определяется по формуле Маскета—Лейбензона. Для безнапорных условий

$$Q_{\text{скв}} = \frac{\pi k S (2H - S)}{\ln \frac{\lambda}{2\pi r} + \frac{2\pi (l + \Delta l)}{\lambda}}, \quad (27)$$

где λ — расстояние между скважинами в ряду; l — расстояние ряда от реки; Δl — параметр, характеризующий несовершенство русла и сопротивление русловых отложений; r — радиус скважины.

Указанный дебит скважины формируется за счет вод, привлекаемых из реки, и естественного потока со стороны ближайшего водораздела. Определение привлекаемых из водохранилища ресурсов $Q_{\text{п}}$ в полосе шириной λ может быть произведено по формуле (27) с учетом величины расхода естественного потока Q_e

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{скв}} - Q_e. \quad (28)$$

Оценка привлекаемых из водохранилища ресурсов осуществляется после проведения районирования береговой зоны водохранилища по средним значениям параметров $(l + \Delta l)$, kh , S , Q_e , $Q_{\text{скв}}$.

При этом величина привлекаемых ресурсов в пределах выделенного района

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{скв}} \left(\frac{L}{\lambda} + 1 \right), \quad (29)$$

где L — длина района вдоль берега водохранилища.

Потенциальные привлекаемые из водохранилища ресурсы определяются как сумма привлекаемых ресурсов отдельных районов

$$Q_{\text{п сум}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{п}i}, \quad (30)$$

где n — количество районов.

Для условий многоцелевой эксплуатации водохранилища максимальная величина $Q_{\text{п сум}}$ в дальнейшем должна корректироваться с учетом допустимых потерь из водохранилища, рассчитываемых на основе оценки его полного водного баланса.

При расчетах привлекаемых ресурсов могут быть приняты следующие величины расчетных параметров: $\lambda = 100$ м, $l = 100$ м, $r = 0,1$ м.

Если имеются данные прогноза переработки берегов водохранилища, то величины l и Δl можно определять с учетом перемещения береговой линии за расчетный срок работы водозабора (10^4 сут).

При гидравлической связи грунтового потока с водоемом необходимо учитывать сопротивление ложа водоема путем удлинения потока на величину Δl , называемую гидравлическим сопротивле-

нием [95]. Величина Δl определяется по данным режимных наблюдений по створу из двух скважин, заложенных в водоносный горизонт. Расчет производится на период установившегося движения грунтовых вод при условии отсутствия инфильтрации по формуле

$$\Delta l = \frac{H_1 - H_0}{H_2 - H_1} (l_2 - l_1), \quad (31)$$

где Δl — гидравлическое сопротивление русловых отложений; H_0 — глубина воды в водотоке; H_1 и H_2 — уровни воды в наблюдательных скважинах; l_1 и l_2 — расстояния наблюдательных скважин до водотока.

Более точные значения Δl могут быть получены по данным опытных откачек и результатам анализа действующих береговых водозаборов.

При отсутствии опытных данных рекомендуются следующие значения Δl [16] для водоносных горизонтов:

- 1) прорезаемых рекой и сложенных трещиноватыми и закарстованными породами — 50—100 м;
- 2) сложенных песчано-гравийно-галечниковыми отложениями — 150—200 м;
- 3) отделенных от реки слабопроницаемым слоем или другим водоносным горизонтом с низкими фильтрационными свойствами — 400—500 м.

В последнем случае величина Δl может быть определена по формуле В. М. Шестакова

$$\Delta l = \sqrt{\frac{kmm_0}{k_0}} \operatorname{cth} b \sqrt{\frac{k_0}{kmm_0}}, \quad (32)$$

где k и m — коэффициент фильтрации и мощность нижнего хорошо водопроницаемого слоя; k_0 и m_0 — коэффициент фильтрации и мощность верхнего слабо водопроницаемого или закальматированного слоя; b — ширина реки.

Для широких рек величина $\operatorname{cth} b \sqrt{\frac{k_0}{kmm_0}} = 1$.

Определение изменения потенциальных эксплуатационных ресурсов подземных вод в зоне подпора водохранилища основывается на сравнении величин этих ресурсов для условий, существовавших до создания водохранилища, с величинами эксплуатационных ресурсов на конечную стадию развития подпора.

Работа по расчетам потенциальных эксплуатационных ресурсов включает определенные этапы.

1. Изучение физико-географических, геологических и гидрогеологических условий существующих или проектируемых водохранилищ.

2. Установление зоны в районе водохранилища, в пределах которой подземные воды находятся в состоянии подпора. Изучаются режим подземных вод, характер распространения подпора,

границы его выклинивания. Определяются основные гидрогеологические параметры водоносных пластов по данным режимных наблюдений, опытных работ или по фондовым материалам. Определяется структура грунтового потока в районе плотины и побережья водохранилища. Устанавливается влияние водохранилища на качество подземных вод.

3. Выполняется районирование территории. Районы с определенными значениями основных гидрогеологических параметров водоносного пласта выделяются на гидрогеологической карте.

4. Основой для гидрогеологических расчетов являются следующие карты, масштаб которых в зависимости от конкретных условий и степени изученности территории может изменяться от 1 : 100 000 до 1 : 500 000:

1) карты гидронизогипс и пьезонизогипс до и после создания водохранилища (карты составляются на характерные даты многолетнего цикла наблюдений);

2) карта кровли дочетвертичных отложений;

3) карта мощности водоносного горизонта до и после создания водохранилища с выделением участков с различными значениями коэффициента фильтрации водовмещающих пород;

4) карты глубин залегания уровней вод до и после создания водохранилища;

5) карты баланса, питания и модулей естественных расходов подземных вод до и после создания водохранилища;

6) карты геоморфологические, гидрогеологические, а также геолого-гидрогеологические разрезы по створам наблюдательных скважин, графики колебания уровня грунтовых вод и водохранилища.

Определение изменений эксплуатационных ресурсов подземных вод на территориях, прилегающих к водохранилищам, позволит выделить районы, наиболее перспективные для постановки детальных гидрогеологических работ с целью выяснения оптимальных условий для заложения водозаборов.

САРАТОВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Общая характеристика водохранилища. Саратовское водохранилище является одной из ступеней Волжско-Камского каскада (см. рис. 3). Создано Саратовское водохранилище на р. Волге в результате ее перекрытия в ноябре 1967 г. плотинной у г. Балаково Саратовской области. Водохранилище расположено в пределах Саратовской и Куйбышевской областей и тянется более чем на 230 км от г. Балаково до г. Куйбышева, выклиниваясь почти у плотины Куйбышевского водохранилища. Береговая линия водохранилища имеет сложную конфигурацию, в результате чего

(г. Куйбышев). Максимальные уровни в головной части превышают естественные максимумы на 4—5 м, в центральной части и верховьях они не более отметок высоких естественных паводков.

После заполнения водохранилища установился более или менее постоянный режим, в значительной степени отличный от режима Куйбышевского водохранилища. Здесь в течение большей части года сохраняются уровни на отметках, близких к НППГ — 28 м. Зимняя сработка почти отсутствует. Самым значительным элементом режима является весенний подъем, который начинается в середине — конце апреля, иногда в первых числах мая и заканчивается в начале — конце июня. В дальнейшем до нового паводка значительных колебаний уровня водохранилища не отмечается. Характерным для уровенного режима Саратовского водохранилища является наличие многочисленных скачкообразных колебаний с амплитудой 0,4—0,5 м, связанных со сбросами воды из Куйбышевского водохранилища. Эти колебания имеют наибольшую величину в верховье и затухают по мере удаления от плотины Куйбышевской ГЭС.

Отметки паводковых уровней на протяжении водохранилища неодинаковые, так как паводок связан с началом сброса воды из Куйбышевского водохранилища. Наибольшие отметки паводковых уровней (32,25—32,74 м) отмечены по водомерному посту в г. Куйбышеве, здесь же отмечены наибольшие годовые амплитуды и среднегодовые уровни (табл. 4).

Таблица 4

Величины среднегодовых уровней по постам за 1967—1974 гг.

Водомерный пост	Среднегодовые уровни, абс. отм.							
	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
г. Куйбышев	24,57	26,63	28,61	29,0	28,68	28,69	28,39	28,95
г. Сызрань	—	—	27,90	—	27,93	28,04	27,97	28,18
с. Приволжье	21,23	—	—	—	—	27,92	27,85	28,02

Вниз по водохранилищу уменьшаются величины отметок максимальных и среднегодовых уровней и годовых амплитуд. Такая разница в амплитудах весеннего подъема объясняется тем, что его начало связано со сбросом воды из Куйбышевского водохранилища, когда в короткий срок сбрасывается большой объем воды, что и вызывает большие подъемы в верховье Саратовского водохранилища. Ниже по водохранилищу, где его ширина значительная, амплитуды колебаний уменьшаются.

Ледяной покров на водохранилище удерживается до начала — середины апреля, иногда до конца марта. Сплошной ледяной покров устанавливается в начале — середине декабря.

Рельеф. Территория, прилегающая к озерной части Саратовского водохранилища, имеет сложное геологическое строение, что обусловило разнообразие форм рельефа в различных ее частях.

По характеру рельефа резко различаются Правобережье и Левобережье.

Правобережье р. Волги является частью Приволжской возвышенности и представляет собой сильно расчлененное плато с абсолютными отметками 150—300 м. Левобережье в пределах озерной части Саратовского водохранилища представлено широким полем аккумулятивных террас р. Волги и ее притоков, прислоненным к сыртовым водоразделам. До создания Саратовского водохранилища здесь были развиты низкая и высокая поймы и четыре надпойменные террасы.

Низкая пойма, занимающая самую пониженную часть речных долин с абсолютными отметками 13—20 м в низовье до 26—28 м в верховье водохранилища, ежегодно заливалась водой в период весенних паводков. Над урезом реки она поднимается на 0,5—5 м. Высокая пойма занимает более возвышенную часть долины с абсолютными отметками 20—24 м в низовье и 29—33 м в верховье водохранилища и поднимается над урезом реки на 8—12 м. Заливалась водой высокая пойма также в период весенних паводков. Ширина высокой поймы достигает 4—5 км. Поверхность террасы довольно ровная, слабо наклонена к реке, часто изрезана старицами, озерами и осложнена блюдцеобразными, часто заболоченными понижениями.

Первая надпойменная терраса (сарпинская) имеет абсолютные отметки поверхности 24—35 м и прослеживается отдельными участками по р. Волге и ее притокам Чагре и Малому Иргизу. От поймы терраса отделяется уступом высотой 3—4 м. Часто уступ плохо выражен и терраса сливается с высокой поймой. Поверхность террасы довольно ровная, местами встречаются озера и следы стариц и озер.

Вторая надпойменная терраса (хвалынская) развита более широко и имеет абсолютные отметки 30—50 м. Ширина террасы достигает 5 км. Над поймой или первой надпойменной террасой она возвышается хорошо выраженным уступом высотой 5—8 м. Поверхность террасы ровная, часто расчленена оврагами и балками.

Третья надпойменная терраса (хазарская) наиболее широко распространена, особенно к северу от р. Чагры, где ее ширина достигает 15—20 км. Уступ ее над второй надпойменной террасой имеет высоту 8—10 м. Местами уступ плохо выражен. Поверхность террасы с абсолютными отметками 35—65 м ровная или слабо волнистая, часто сильно расчленена оврагами и балками. На поверхности террасы развиты многочисленные понижения различной формы — от небольших округлых или овальных понижений (степных блюдец) до крупных неправильной формы понижений (майтуг).

Четвертая надпойменная терраса (бакинская) в рельефе выражена плохо и часто сливается с третьей надпойменной террасой и водораздельным массивом. Поверхность террасы волнистая, часто изрезана оврагами и имеет наклон к реке. Терраса примыкает к водоразделу, переход к которому плохо выражен.

Водораздельный массив занимает наиболее возвышенную часть территории с абсолютными отметками 100—130 м на юге и 130—150 м на севере. Поверхность водоразделов волнистая или всхолмленная, склоны симметричные. Северные и западные склоны пологие, южные и восточные — крутые.

Реки. Главной водной артерией территории является р. Волга с притоками Самарой, Чапаевкой, Чагрой и Малым Иргизом. Остальные реки территории небольшие, средний годовой модуль стока не превышает 2,5 л/с с 1 км². Наиболее крупными являются реки Самара и Чапаевка. Некоторые реки не имеют постоянного течения. Питание рек в основном снегово-дождевое, поэтому основной расход 70—90% годового стока приходится на период весеннего паводка.

Климат. Климат территории левобережья Саратовского водохранилища континентальный и континентально-засушливый. Характерным является резкое колебание среднесуточных и среднемесячных температур воздуха, быстрый переход от зимы к лету, холодная зима и жаркое лето, острый дефицит влажности и значительное количество ясных солнечных дней. Континентальность климата возрастает с севера на юг, но в общем вся территория левобережья Саратовского водохранилища находится в зоне недостаточного увлажнения.

Температура воздуха. Температура воздуха повышается с севера на юг. По многолетним данным, среднегодовая температура воздуха по территории, прилегающей к озерной части Саратовского водохранилища, составляет 3,8—3,9°C на севере и 4,7°C на юге. Наиболее теплый месяц — июль, средняя температура которого 20,6°C (г. Куйбышев) — 22,6°C (г. Пугачев). Самым холодным месяцем является январь с температурой —13,8°C (г. Куйбышев) —13,0°C (г. Пугачев). Минимальные температуры опускаются до 40—45°C, максимальные летние температуры достигают 38—40°C.

Атмосферные осадки. Распределение количества атмосферных осадков по территории неравномерное и заметно убывает к югу. Так, у г. Куйбышева по многочисленным данным выпадает 401 мм осадков, а у г. Пугачева 318 мм, причем на Правобережье (г. Хвалынский) осадков выпадает значительно больше, чем на левобережье. По сезонам года осадки распределяются неравномерно. Наибольшее количество осадков выпадает в летний период, когда они носят ливневый характер и принимают незначительное участие в питании грунтовых вод, так как в большинстве стекают и испаряются. В осенний период часто наблюдаются затяжные дожди, которые при небольшом дефиците влажности играют существенную роль в питании грунтовых вод. Наибольшее число дней с осадками обычно приходится на декабрь—январь. В летний период иногда в течение 25—35 дней и более не выпадает осадков.

Дефицит влажности. Величина дефицита влажности является одним из режимобразующих факторов, так как во многом определяет величины испарения и инфильтрации. По территории

левобережья Саратовского водохранилища величины дефицитов влажности возрастают к югу. По многолетним данным среднегодовая величина дефицитов влажности возрастает от $3,6 \cdot 10^2$ Па в г. Безенчуке до $4,5 \cdot 10^2$ Па в г. Пугачеве. Отмечаются резкие колебания величин дефицита влажности в течение года. В холодный период его величины не превышают $(0,5-0,6) \cdot 10^2$ Па, тогда как летом возрастают до 12—13 на севере и $13,9 \cdot 10^2$ Па на юге.

Почвы и растительность. Территория левобережья Саратовского водохранилища расположена в Степном Заволжье в зоне развития разнотравно-типчаково-ковыльных степей.

Почвенный покров в основном представлен долинными черноземами суглинистого механического состава в пределах надпойменных террас рек и обыкновенными (среднегумусными) и южными средней мощности и маломощными черноземами на водоразделах. На юге территории иногда встречаются солонцы, обычно в сочетании с южными маломощными черноземами. В районе Майтутанского понижения почвы представлены сложным комплексом солонцов, солончаков и солодей с отдельными контурами черноземных луговых почв глинистого механического состава.

Геологическое строение и гидрогеологические условия. Стратиграфия и литология. В геологическом строении территории принимают участие породы от кристаллического фундамента до современных четвертичных, однако породы древнее верхнего карбона сильно погружены и для данной работы роли не играют, поэтому описание геологического строения территории ведется с верхнекаменноугольных отложений.

Отложения каменноугольной системы в пределах описываемой территории распространены повсеместно и представлены всеми тремя отделами, из которых только породы верхнего карбона выходят на дневную поверхность или залегают сравнительно неглубоко. В пределах левобережья Саратовского водохранилища они достигают мощности 250—330 м и близко к дневной поверхности залегают в северо-западной и южной частях, где перекрыты только породами четвертичного и неогенового возрастов; на остальной территории отложения верхнего карбона перекрыты мощной (100—300 м) толщей пермских и более молодых пород. Сложен верхний карбон известковистыми породами гжельского и оренбургского яруса.

Отложения гжельского яруса достигают мощности 225—320 м и представлены в северной части серыми и буровато-серыми известняками и доломитами с прослоями глин и мергелей в верхней части разреза, в южной части территории в разрезе преобладают желтовато-серые и серые известняки, часто доломитизированные, с прослоями глин и мергелей в верхней части разреза. Породы часто разрушены до известково-доломитовой муки. Оренбургский ярус представлен чередованием светло-серых и почти белых известняков и доломитов с преобладанием доломитов. Породы часто сильно разрушены. Мощность пород 25—35 м.

Отложения пермской системы распространены в северо-восточной и восточной частях территории и представлены верхним и нижним отделами.

Нижнепермские отложения представлены в пределах левобережья Саратовского водохранилища морскими и лагунными образованиями ассельского, сакмарского и артинского ярусов.

Отложения ассельского яруса залегают на породах верхнего карбона без видимого перерыва. Ярус сложен органогенными и органогеннообломочными, нередко окремнелыми известняками и перекристаллизованными доломитами с прослоями гипсов и ангидритов. В верхней части разреза преобладают доломиты. Мощность пород 60—80 м.

Сакмарский ярус сложен сульфатно-карбонатными и карбонатными породами. В нижней части разреза развиты светлые, почти белые, часто пористые доломиты и белые ангидриты и гипсы. Верхняя часть разреза сложена в основном карбонатными породами, главным образом доломитами с редкими прослоями известняков и ангидритов. Мощность пород 60—120 м.

Отложения артинского яруса распространены в восточной части территории и представлены в основном доломитами и трещиноватыми ангидритами с редкими прослойками мергелей и известняков. Мощность этих пород 6—60 м.

Верхнепермские отложения представлены морскими осадками казанского и континентальными пестроцветными образованиями татарского ярусов.

Отложения казанского яруса распространены в северной и северо-восточной частях описываемой территории и представлены морскими и лагунно-морскими образованиями нижнего и верхнего подъярусов. Нижнеказанский подъярус сложен окремнелыми доломитами и известняками с прослоями ангидритов, глин и мергелей. Мощность пород 20—40 м. Верхнеказанский подъярус сложен карбонатными и сульфатно-карбонатными породами. Мощность отложений 60—65 м.

Отложения татарского яруса в пределах описываемой территории распространены только в восточной части и подразделены на верхнетатарский и нижнетатарский подъярусы. По литологическому составу в отложениях нижнетатарского подъяруса выделены толща пестроцветных глин, глинистых алевролитов, песчаников и мергелей нижеустьинского горизонта и толща переслаивающихся глин, алевролитов, мергелей, известняков и песчаников сухонского горизонта. Мощность нижнетатарских пород от нескольких метров до 100 м. Верхнетатарский подъярус сложен красноцветными песчано-глинистыми отложениями с подчиненными прослоями карбонатных пород северодвинского и вятского горизонтов. Мощность пород до 40—80 м.

Юрские отложения в пределах описываемой территории распространены довольно широко и представлены средним и верхним отделами.

Среднеюрские отложения представлены глинами с прослойками

алевролитов байосского яруса и серыми и темно-серыми глинами с тонкими прослойками алевролитов, песчаников и сидеритовых мергелей батского яруса. Мощность среднеюрских пород не превышает 40—50 м.

Верхнеюрские отложения в пределах левобережья Саратовского водохранилища представлены темными песчанистыми глинами с прослойками песка и мергелей или песчаников мощностью 20—80 м келловейского яруса и толщей темно-серых глин с прослойками песчаников мощностью до 30 м нижневолжского яруса.

Отложения меловой системы в пределах описываемой территории распространены только узкой полосой вдоль р. Волги к югу от с. Приволье, на остальной территории они отсутствуют. Представлены они темно-серыми и зеленовато-серыми плотными глинами нижнего отдела. Мощность их не превышает 20—30 м.

Отложения неогена широко распространены в пределах левобережья Саратовского водохранилища и представлены его верхним отделом — плиоценом. В верхненеогеновое время, которому предшествовал значительный размыв, территория Заволжья покрывалась солонатоводными бассейнами, в которых происходило накопление мощной толщи песчано-глинистых осадков. Глубоко врезанные доплиоценовые долины заполнялись пресноводными кинельскими, морскими акчагыльскими и апшеронскими осадками.

Пресноводные кинельские отложения выполняют доплиоценовые отрицательные формы рельефа и залегают в основном ниже современной гидрографической сети. Их подошва опущена на 100—400 м ниже уровня моря. Представлена кинельская толща песчано-глинистым аллювием и озерными и озерно-болотными глинами с редкими прослоями песков, песчаников и конгломератов в подошве слоя. Мощность кинельских отложений обычно 20—30 м, но иногда достигает 254 м.

Отложения акчагыльского яруса широко распространены и представлены в основном серыми и темно-серыми или коричневыми глинами, жирными или опесчаненными с прослоями и линзами песков, редко с гравием и галькой. Иногда прослой песков имеют значительную мощность. Мощность отложений акчагыла колеблется от нескольких метров до 250—280 м.

В пределах описываемой территории развиты отложения апшеронского яруса исключительно озерного и озерно-болотного происхождения. К ним относятся часть толщи «сыртовых глин» и подстилающие их кварцевые пески (подсыртовые пески). Подсыртовые пески обычно тонко- или мелкозернистые, местами переслаиваются с суглинками, глинами и более крупнозернистыми песками. Мощность этой толщи 8—15 м. «Сыртовые глины» представлены бурыми и коричнево-бурыми суглинками и супесями, которые вниз по разрезу сменяются коричнево-бурыми и красно-бурыми глинами. Общая мощность этих отложений до 60 м.

Отложения четвертичной системы в пределах описываемой территории распространены широко и представлены в основном аллювиальными и в меньшей степени делювиальными и морскими

образованиями, отнесенными к нижнему, среднему, верхнему и современному отделам.

Нижнечетвертичные отложения представлены аллювием р. Волги и пресноводными озерно-болотными осадками верхней части «сыртовой толщи». Нижнечетвертичный аллювий сложен в основании толщи грубыми и разнозернистыми песками с галькой и гравием, которые выше по разрезу сменяются мелкозернистыми песками, суглинками и глинами. Мощность аллювия в Среднем Поволжье до 100 м. Верхняя часть «сыртовой толщи» сложена желто-бурыми суглинками и глинами мощностью 10—30 м.

К среднечетвертичному отделу в пределах описываемой территории относятся аллювиальные отложения двух ступеней третьей надпойменной террасы, соответствующих днепровскому и московскому оледенениям. Сложена среднечетвертичная толща комплексом песчано-глинистых пород, начинающихся грубозернистыми песками с гравием и галькой, сменяемыми выше по разрезу мелкозернистыми песками с прослоями суглинков и глини и еще выше суглинками, глинами и супесями. В долинах притоков р. Волги в разрезе среднечетвертичного аллювия преобладают суглинки и супеси. Мощность в долине р. Волги 37—60 м.

Верхнечетвертичные отложения представлены аллювиальными и морскими осадками. Аллювиальные верхнечетвертичные отложения слагают первую и вторую надпойменные террасы, соответствующие калининскому и ошанковскому оледенениям. Толща аллювия сложена песчано-глинистыми породами русловой и пойменной фаций: внизу слоя разнозернистые пески, иногда с гравием и галькой, выше — мелкозернистые пески, супеси и суглинки. Мощность аллювия 20—50 м. В южной части территории на второй надпойменной террасе развиты лиманные отложения хвалынской трансгрессии, представленные суглинками и супесями с прослоями тонкослоистых шоколадных глин. Мощность этих пород до 180 м.

Современные четвертичные отложения сложены аллювиальными и делювиальными образованиями. Аллювиальные отложения в поймах террас представлены в основании разнозернистыми песками и галечником и в верхней части разреза опесчаненными иловатыми суглинками. Мощность аллювия 9,5—40,0 м. Делювиальные образования распространены на пологих склонах водоразделов, речных долин и балок и представлены в основном опесчаненными суглинками мощностью до 8—10 м.

Геоморфология. История развития рельефа левобережья р. Волги тесно связана со стратиграфией четвертичных отложений и новейшими движениями земной коры. Формирование современного рельефа началось в палеогене, когда территория была поднята, попала в континентальные условия и подверглась воздействию эрозионных и денудационных процессов, обусловивших глубокий доакчагыльский разрыв, уничтоживший полностью или частично отложения мезозоя и иногда татарского яруса верхней перми. Глубина доакчагыльского разрыва достигает 300 м. Небольшое погружение территории в акчагыльское время вызвало

ингрессию моря, которая протянулась по долине р. Волги далеко на север. Осадки акчагыльского опресненного бассейна выполняют неровности доакчагыльского рельефа.

В четвертичный период формирование рельефа и процессы размыва и осадконакопления обусловлены колебаниями базиса эрозии — уровня Каспийского моря и сменой климатических условий (ледниковых и межледниковых веков).

Левобережье представляет собой поле аккумулятивных ступенчатых террас с выровненной поверхностью. Границы между террасами выражены в рельефе уступами, иногда имеющими значительную высоту, часто сглаженными и разрушенными.

Выделяют следующие основные эпохи строения и формирования надпойменных террас: нижнечетвертичную, среднечетвертичную, верхнечетвертичную и современную.

В нижнечетвертичную эпоху происходило формирование четвертой (бакинской) надпойменной наиболее древней террасы. В начале эпохи в результате снижения уровня Каспийского моря шли интенсивные эрозионные и денудационные процессы, в результате чего и была заложена долина р. Волги. В конце эпохи, во время таяния ольцовского ледника и бакинской трансгрессии Каспия создались условия для накопления аллювия четвертой надпойменной террасы. Терраса занимает обширную площадь, особенно к югу от р. Чагры. Поверхность ее поднимается над уровнем р. Волги на 70—90 м, сильно переработана эрозией и денудацией и в рельефе плохо выражена. На поверхности отмечаются котловины выдувания и бессточные блюдцеобразные понижения. Склоны террасы пологие, иногда изрезаны оврагами.

В среднечетвертичную эпоху были сформированы две ступени третьей надпойменной террасы. Формирование верхней ступени связано с лихвинским межледниковьем, днепровским оледенением и хазарской трансгрессией Каспийского моря. В межледниковое время территория Среднего Поволжья была сильно проподнята, а уровень Каспия (базис эрозии) был сильно погружен, что вызвало усиленный размыв с последующим заполнением его грубообломочным материалом (русовая фация). В период днепровского оледенения, начала таяния ледника и хазарской трансгрессии Каспия происходило накопление более тонкозернистых глинистых фаций среднечетвертичного аллювия, слагающих верхнюю часть разреза.

Третья надпойменная терраса имеет широкое распространение и поднимается над уровнем р. Волги на 40—70 м. Общий равнинный характер поверхности террасы сохраняется на обширных пространствах и нарушается прорезающими его долинами рек и оврагов и понижениями различного размера. В рельефе терраса обычно хорошо выражена. Уступ ее над более низкими террасами достигает высоты 15—25 м, над поймой 35—40 м. В основном склон террасы крутой, но иногда выполаживается и переходит в пологий скат. Часто склон изрезан балками, оврагами и небольшими промоинами.

В верхнечетвертичную эпоху формировались две надпойменные террасы: первая — сарпинская и вторая — хвалынская. В строении последней наряду с аллювием принимали участие морские отложения хвалынской трансгрессии.

Верхнечетвертичная долина хорошо выражена в рельефе, так как она ограничена высоким уступом третьей надпойменной террасы, образование которого связано с глубоким размывом в начале верхнечетвертичной эпохи. В это же время происходило накопление грубообломочного материала, залегающего в основании второй надпойменной террасы. Дальнейшее осадконакопление связано с калининским оледенением и хвалынской трансгрессией Каспия, во время которой происходило накопление аллювиальных суглинков и глинистых песков, морских суглинков и шоколадных глин, слагающих верхнюю часть разреза верхнечетвертичной толщи.

Формирование первой надпойменной террасы связано с мало-гошексинским межледниковьем и осташковским оледенением с одной стороны и позднихвалынской трансгрессией. Размыв долины в этот период был незначительным и в основании толщи аллювия первой надпойменной террасы залегают разнозернистые пески аллювия второй надпойменной террасы.

Первая и вторая надпойменные террасы в долине р. Волги распространены не повсеместно и мало различаются между собой. Над уровнем р. Волги первая надпойменная терраса возвышается на 12—16 м, вторая — на 18—20 м. Первая надпойменная терраса иногда сливается с высокой поймой.

Современная эпоха характеризуется формированием двух ступеней пойменной террасы. Высокая пойма поднимается над урезом реки на 10—12 м и на 3—4 м над низкой поймой. Заливается высокая пойма только в период наиболее высоких паводков. Низкая пойма возвышается над урезом реки на 3—8 м и ежегодно заливается паводковыми водами. Поверхность поймы изобилует старицами, озерами, протоками, ложбинами, песчаными грядами и валами. Высоты песчаных гряд и валов достигают 2—6 м над урезом стариц.

Тектоника. Территория левобережья Саратовского водохранилища целиком находится в пределах Жигулевско-Пугачевского свода, входящего как структура второго порядка в состав Волжско-Камской антеклизы. Такое тектоническое строение обеспечило близкое залегание среднекаменноугольных и пермских пород.

Жигулевско-Пугачевский свод осложнен многочисленными разломами, которым в осадочной толще соответствуют валы почти широтного простираения — Жигулевский, Обшаровский, Безенчукский — и несколько с простираением, близким к меридиональному: Покровский, Краснополянский и др.

Гидрогеологические условия территории до создания Саратовского водохранилища. Первыми от поверхности водоносными горизонтами, для которых произве-

дены расчеты эксплуатационных ресурсов, являются воды четвертичного, неогенового и верхнепермского возрастов.

1. Водоносный горизонт четвертичных аллювиальных отложений. Левобережье р. Волги характеризуется широким развитием аллювиальных террас, сложенных породами четвертичного возраста (от современных до нижнечетвертичных), в толще которых развит единый грунтовый водоносный горизонт, гидравлически связанный с реками.

Водоносные породы представлены песками разной зернистости — от мелкозернистых глинистых до крупнозернистых с гравием и галькой, суглинками и супесями. Верхняя часть водоносной толщи, как правило, сложена глинистыми породами: суглинками, супесями, мелкозернистыми глинистыми песками; нижняя — преимущественно песками, иногда с прослоями глин. Мощность водоносных пород колеблется от 10 до 60 м. Глубины залегания грунтовых вод, их гидравлические уклоны, мощность и литологический состав пород неодинаковы для различных геоморфологических элементов.



Рис. 7. Схематическая карта распространения и глубин залегания грунтовых вод левобережья р. Волги до создания Саратовского водохранилища.

aQ_{IV} — современные аллювиальные отложения — пески, супеси, суглинки; $aQ_{IV} + aQ_{III}$ — нерасчлененные современные и верхнечетвертичные аллювиальные отложения — супеси, суглинки, пески и глины; aQ_{III} — верхнечетвертичные аллювиальные и морские отложения — супеси, суглинки, пески и глины; aQ_{II} — среднечетвертичные аллювиальные отложения — преимущественно пески; aQ_I — нижнечетвертичные аллювиальные отложения — супеси, суглинки и пески; N — неогеновые отложения — глины, суглинки, пески; P_2kz — казанские отложения — доломиты, известняки. Глубина залегания первого от поверхности водоносного горизонта (в м): 1 — от 0 до 5; 2 — от 5 до 10; 3 — от 10 до 20; 4 — до 50 и более; 5 — граница распространения водоносных горизонтов и площадей с различной глубиной залегания; 6 — граница подземного водораздела

В пределах пойменных террас грунтовые воды залегают на глубине 0,1—8,0 м (рис. 7). Абсолютные отметки зеркала грунтовых вод в естественных условиях составляли 14—18 м в нижней части водохранилища и 22—25 м в верховье (рис. 8). Гидравлические уклоны 0,003—0,0005. Водоносными породами являются мелкозернистые, глинистые, реже среднезернистые пески с просями суглинков и глин. Иногда современный аллювий подстилается песками верхнечетвертичного или среднечетвертичного возрастов. Водоупором служат глины верхнего неогена в северной части и юрские или нижнемеловые глины в южной части территории. Мощность водоносных пород колеблется от 10—15 до 30—40 м.

Водообильность зависит от мощности и литологического состава водоносных пород. Удельные дебиты скважин составляют 0,01—0,5 л/с. Водопроницаемость колеблется от 30 до 250 м²/сут. Воды в основном пресные, гидрокарбонатные, реже смешанные. Часто наблюдается загрязнение, с которым связано повышение минерализации воды до 2—3 г/л. В таких водах отмечается наличие аммиака и солей азотной и азотистой кислот.

В пределах пойменных террас грунтовые воды залегают на глубине 0,1—8,0 м (рис. 7). Абсолютные отметки зеркала грунтовых вод в естественных условиях залегают на глубинах 1,2—20,0 м. Абсолютные отметки зеркала грунтовых вод колебались от 15—23 м в низовьях, до 23—27 м в верховьях водохранилища. Гидрав-

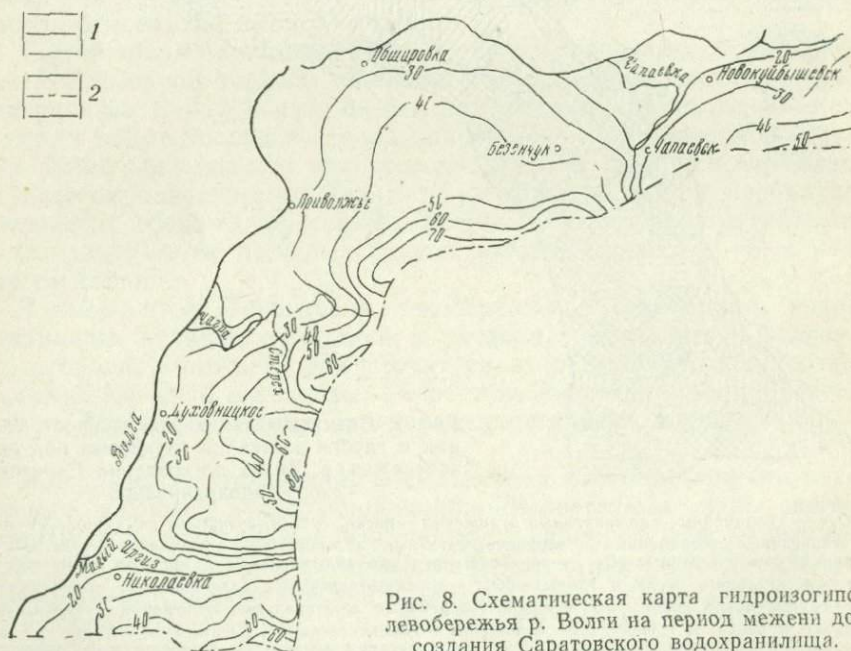


Рис. 8. Схематическая карта гидроизогипсов левобережья р. Волги на период межени до создания Саратовского водохранилища.

1 — гидроизогипсы (проведены через 10 м); 2 — граница подземного водораздела

лические уклоны составляли 0,003—0,0003. Водовмещающими породами являются пески от мелкозернистых глинистых до разнотернистых, с гравием и галькой, суглинки и супеси. Иногда породы верхнечетвертичного возраста подстилаются разнотернистыми песками среднечетвертичного возраста. Мощность водоносных пород от 20—30 до 40 м, реже 50 м. Водообильность пород различная, в зависимости от их мощности и литологического состава. Удельные дебиты скважин колеблются от 0,01 до 0,5 л/с, реже до 1,0 л/с. Величины водопроводимости находятся в пределах 30—500 м²/сут. Воды в основном пресные, гидрокарбонатные или гидрокарбонатно-сульфатные, реже слабоминерализованные. Иногда наблюдается загрязнение.

На третьей надпойменной террасе грунтовые воды залегают на глубине от 3 до 25 м, реже до 30 м. Абсолютные отметки зеркала грунтовых вод до создания водохранилища составляли 23—25 м на юге и 26—45 м на севере территории. Гидравлические уклоны грунтовых вод в пределах террасы неодинаковы. Наибольшие уклоны (0,001—0,006) отмечались в краевых частях террасы, наименьшие (0,0003—0,001) — в центральных частях террасы. Водовмещающими породами являются пески, супеси и суглинки в верхней части разреза и разнотернистые пески с гравием и галькой в нижней части. Водоупором служат плотные глины верхнего неогена, нижнего мела или средней юры. Мощность водоносных пород колеблется от 20—30 м до 50—60 м. Водообильность в основном значительная. Удельные дебиты скважин составляют 0,03—1,0 л/с, реже до 3—5 л/с. Величины водопроводимости находятся в пределах 100—500 м²/сут. Воды пресные, гидрокарбонатные или гидрокарбонатно-сульфатные, иногда, особенно на юге территории, встречаются воды с повышенной до 3,0 г/л минерализацией. Часто повышение минерализации связано с загрязнением.

В пределах четвертой надпойменной террасы грунтовые воды залегают на значительных глубинах — от 10 до 50 м и более. Абсолютные отметки зеркала грунтовых вод составляли 30—70 м. Гидравлические уклоны 0,0007—0,002. Водовмещающими породами являются пески, супеси и суглинки. Часто пески глинистые, мелкозернистые. Мощность водоносных пород 20—40, реже 50 м. Водообильность небольшая. Удельные дебиты скважин не превышают обычно 0,5 л/с. Водопроводимость колеблется в пределах 20—200 м²/сут. Воды пресные, но встречаются и с повышенной минерализацией. На отдельных участках породы нижнечетвертичного возраста безводные, и водоносный горизонт приурочен к нижележащим пескам апшеронского или акчагыльского ярусов верхнего неогена.

2. Подземные воды верхне-неогеновых отложений. В пределах водораздельных пространств подземные воды приурочены к подсыртовым пескам и супесям апшеронского яруса верхнего неогена. Водоносный горизонт может быть как грунтовым, так и иметь небольшой напор. Воды апшерона почти повсеместно гидравлически связаны с водами аллювия и имеют уклоны к рекам.

Глубины залегания их колеблются от 3—5 до 50—60 м. Гидравлические уклоны составляют 0,0008—0,002. Водоносными являются мелкозернистые пески с прослоями суглинков и супесей или супеси с прослоями суглинков. Мощность водоносных пород в основном не превышает 20 м. Водообильность небольшая. Удельные дебиты скважин не превышают 0,3—0,5 л/с. Величины водопроницаемости до 100 м²/сут. Воды пестрые, встречаются пресные гидрокарбонатные, но часто имеют повышенную минерализацию и сульфатно-гидрокарбонатный и хлоридно-гидрокарбонатный состав.

На отдельных участках породы апшеронского яруса безводны и первым от поверхности является водоносный горизонт, приуроченный к песчаным прослоям среди глин акачагыльского яруса. Водоносный горизонт слабо напорный и безнапорный. На отдельных участках воды акачагыла имеют гидравлическую связь с водами четвертичного аллювия. Мощность водоносных пород в основном небольшая, редко превышает 10—15 м. Водообильность, как правило, незначительная. Удельные дебиты скважин не превышают 0,5 л/с. Величины водопроницаемости не выше 100 м²/сут. Встречаются как пресные, так и минерализованные воды.

Режимные наблюдения в естественных условиях в пределах левого бережья Саратовского водохранилища велись с 1940—1941 гг. на Кауевском и Кряжском постах и с 1951 г.— на Лыгинском, Приволжском и Дубровском постах. До создания водохранилища режим грунтовых вод определялся влиянием гидрологического и климатического факторов, степень влияния которых зависела от удаленности от реки, мощности и литологического состава пород зоны аэрации и рельефа местности. По условиям питания, движения и разгрузки грунтовых вод выделяются участки с приречным, террасовым, склоновым и междуречным видами режима.

В пределах поймы, первой и частично второй надпойменных террас режим грунтовых вод определяется колебаниями уровней реки и в некоторой степени климатическими условиями. Влияние р. Волги в пределах надпойменных террас сказывается на расстоянии 1,5—2,5 км, по малым рекам не более 0,8—1,5 км. Границы зоны влияния и амплитуды колебания грунтовых вод зависят от величин колебаний уровней рек.

За пределами зоны влияния реки режим грунтовых вод определяется климатическими условиями и рельефом местности, от которого зависят глубины залегания грунтовых вод и величины гидравлических уклонов и инфильтрации. В пределах второй и третьей и на некоторых участках четвертой надпойменных террас выделяется террасовый вид режима грунтовых вод, который в общих чертах характеризуется небольшими величинами колебаний грунтовых вод, что обусловлено небольшими гидравлическими уклонами и значительной удаленностью от дрен. Однако на различных участках террас величины колебаний грунтовых вод неодинаковы, что в основном зависит от глубины их залегания, определяющей величины питания и разгрузки грунтовых вод.

В пределах водоразделов и частично четвертичных надпойменных террас режим грунтовых вод относится к склоновому и междуречному видам. На пологих склонах питание грунтовых вод осуществляется в основном за счет притока, а дренирование за счет оттока, так как инфильтрация имеет малые величины из-за стока поверхностных вод по уклону. Все это определяет небольшие величины сезонных колебаний грунтовых вод. Величины годовых амплитуд колебаний не превышают 0,4 м.

На водораздельных пространствах, где боковой приток незначительный или совсем отсутствует, питание грунтовых вод определяется инфильтрацией и иногда разгрузкой вод нижележащих водоносных горизонтов, испарением и оттоком, причем последний не имеет больших величин из-за небольших уклонов.

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ ПОСЛЕ СОЗДАНИЯ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Формирование Саратовского водохранилища продолжалось с осени 1967 г. до весны 1968 г. Величины его подпора на различных участках неодинаковы, поэтому скорости распространения и величины подъема грунтовых вод на отдельных участках территории также различны (рис. 9).

Формирование подпора и режим грунтовых вод в центральной части водохранилища. Режим грунтовых вод в центральной части водохранилища изучается по скважинам Духовницкого поста Саратовской гидрогеологической партии и Приволжского и Спасского постов Куйбышевской гидрогеологической партии. Наиболее полно подпор и режим грунтовых вод могут быть охарактеризованы по скважинам Приволжского поста, по которым режимные наблюдения ведутся с 1952 г.

Подпор грунтовых вод начался здесь с декабря 1967 г., когда в результате подъема уреза водохранилища произошел резкий подъем грунтовых вод. Подъем распространился на расстояние до 1,5—2 км от водохранилища и составил по скв. 22 (в 700 м от реки) 2,3 м. Образовалась депрессия, ось которой проходит около скв. 22. В течение зимних месяцев 1968 г. при почти постоянных отметках водохранилища шел непрерывный подъем грунтовых вод со скоростью 0,25—0,35 м в месяц, в результате которого к концу марта депрессионная кривая почти выпрямилась и установились уклоны грунтовых вод к реке (табл. 5). Весной 1968 г., когда уровень водохранилища превысил отметку НПГ (28 м), вновь создались обратные уклоны зеркала грунтовых вод, что привело к их усиленному подъему. Скорость подъема вблизи водохранилища достигла 0,86—1,12 м в месяц. Интенсивный подъем продолжался в течение апреля—июня, когда сохранялись весенние уровни водохранилища, в дальнейшем при отметках уреза водохранилища близких к НПГ продолжался подъем грунтовых вод с небольшой скоростью. С 7 июля по 4 декабря грунтовые воды в прибрежной зоне поднялись на 0,75 м. Депрессионная

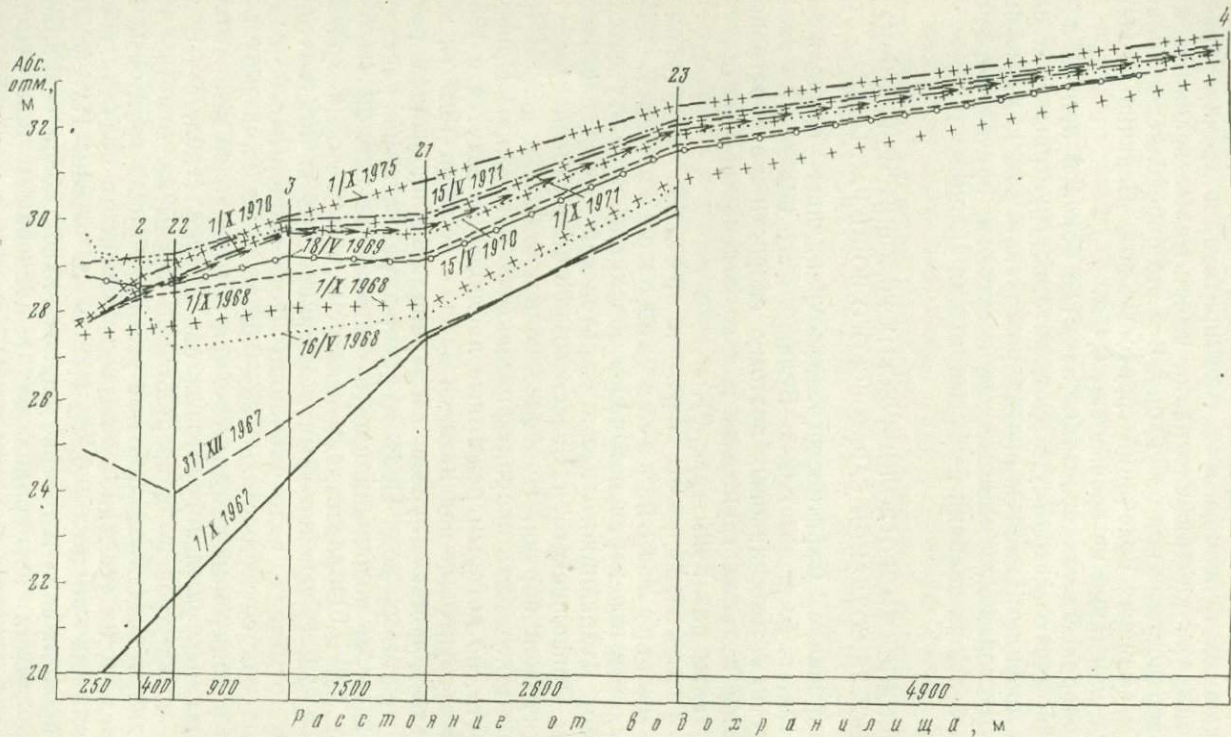


Рис. 9. График формирования зеркала грунтовых вод на Приволжском посту

кривая постепенно выполаживалась и к 1 октября установились уклоны грунтовых вод к водохранилищу. В течение 1968 г. подпор распространился на расстояние до 4—4,5 км от водохранилища, где составил 0,36 м.

Таблица 5

Абсолютные отметки уровня подъема грунтовых вод

№ скважины	Годы					
	1967		1968		1969	
	1/Х	31/ХII	16/V	1/Х	16/V	1/Х
Саратовское водохранилище	21,47	24,91	29,77	27,48	28,80	27,80
2	—	—	—	27,60	28,54	28,26
22	21,64	23,91	27,15	27,63	28,57	28,42
3	—	—	—	28,05	29,15	—
21	27,33	27,40	27,86	28,09	29,05	29,18
23	30,14	30,05	30,55	30,74	31,40	31,49
4	—	—	—	32,80	33,18	33,17

№ скважины	Годы					
	1970		1971		1975	
	16/V	1/Х	16/V	1/Х	16/V	1/Х
Саратовское водохранилище	29,36	27,84	29,02	27,74	28,06	27,73
2	29,08	28,34	29,17	28,45	28,92	28,72
22	29,10	28,60	29,22	28,70	29,22	29,00
3	29,75	29,67	29,94	28,73	30,25	30,05
21	29,63	29,71	30,06	29,95	30,87	30,77
23	31,76	31,82	32,07	31,98	32,09	32,38
4	33,37	33,37	33,55	33,53	33,96	33,72

В течение 1969—1970 гг. наблюдалось дальнейшее распространение подпора на расстояние до 6,0—6,5 км от водохранилища и повсеместный подъем грунтовых вод. Величина подъема в прибрежной зоне составила 6,72 м.

К концу 1974 г. подъем грунтовых вод распространился на расстояние до 6,5—7 км и составил 1,18 м (скв. 4). Величина подъема в прибрежной зоне равна 7,5 м. В настоящее время подъем грунтовых вод повсеместно сильно замедлился—0,12—0,28 м в год. Гидравлические уклоны зеркала грунтовых вод повсеместно направлены к водохранилищу (рис. 10 и 11).

Режим грунтовых вод после создания водохранилища в зоне его влияния существенно изменился. В прибрежной зоне (до 1—2 км от водохранилища) на фоне общего подъема грунтовых вод

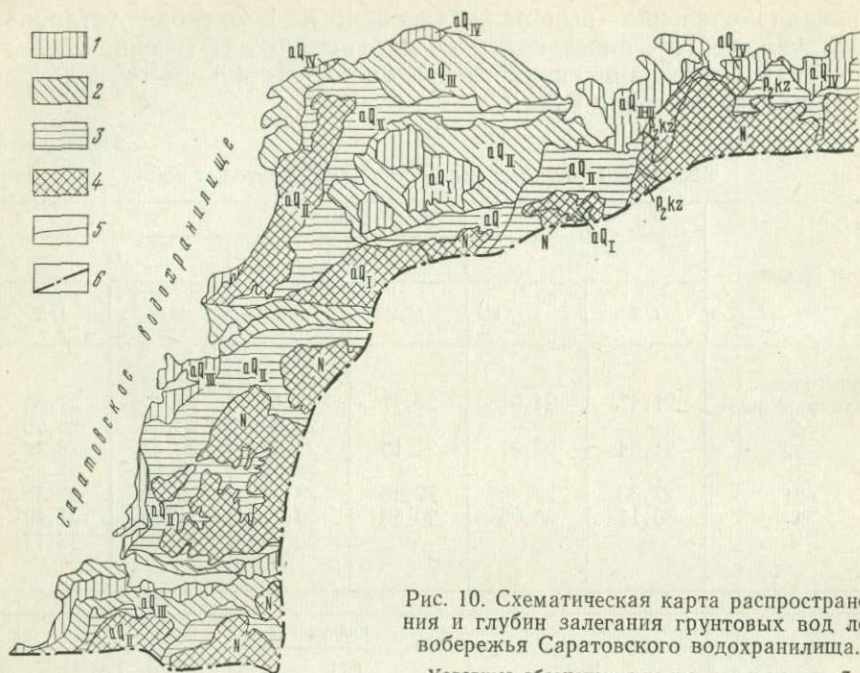


Рис. 10. Схематическая карта распространения и глубин залегания грунтовых вод левобережья Саратовского водохранилища.

Условные обозначения те же, что и на рис. 7

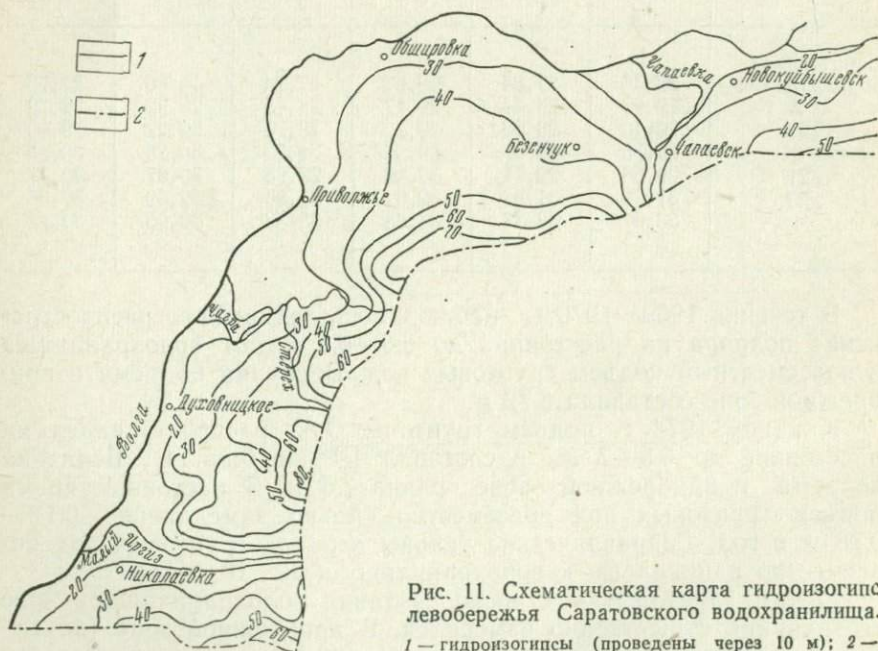


Рис. 11. Схематическая карта гидроизогипс левобережья Саратовского водохранилища.

1 — гидроизогипсы (проведены через 10 м); 2 — граница подземного водораздела

отмечается хорошо выраженный весенний подъем и спад. Здесь режим грунтовых вод тесно связан с колебаниями уровня водохранилища. Отмечаются следующие элементы режима: небольшой предпаводковый спад, паводковый подъем с амплитудой 0,72—1,4 м, весенне-летний спад, часто по амплитуде, превышающей весенний подъем, и небольшой подъем к концу года. Такой ход сезонных колебаний соответствует режиму водохранилища и является типичным для прибрежной зоны. На расстоянии более 1—2 км от водохранилища, где в естественных условиях режим грунтовых вод характеризовался малой подвижностью, свойственной третьей разновидности террасового вида режима, в настоящее время идет почти непрерывный небольшой подъем грунтовых вод. На расстоянии свыше 6,5—7 км от водохранилища сохранился естественный режим грунтовых вод.

ВЛИЯНИЕ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА РЕСУРСЫ И ЗАПАСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Гидрогеологическое районирование и выбор параметров водоносного горизонта. Для расчетов естественных и искусственных ресурсов и запасов, являющихся составляющими балансового уравнения определения эксплуатационных ресурсов грунтовых вод, нужны параметры водоносных горизонтов, такие, как величины водопроводимости kh (h — мощность водоносного пласта) максимального допустимого понижения s и коэффициента водоотдачи μ . Поэтому расчетам естественных и искусственных запасов и ресурсов предшествует гидрогеологическое районирование территории по величинам водопроводимости и максимальному допустимому понижению до создания и после создания Саратовского водохранилища. Для расчетов величин водопроводимости были использованы в основном данные опытных откачек съемочных и разведочных партий и откачек при бурении эксплуатационных скважин.

По данным расчетов величин водопроводимости по скважинам или группам скважин составлены карты, на которых выделены участки с одинаковыми пределами водопроводимости. Выделенные гидрогеологические районы подразделены на подрайоны по величинам максимального допустимого понижения.

За региональный водоупор приняты глины верхнего неогена, нижнего мела, верхней и средней юры. Ввиду большой неровности рельефа водоупоров и небольшого количества скважин, вскрывающих водоупоры, составлялись рабочие разрезы по различным направлениям, на которые наносились уровни грунтовых вод до подпора и после подпора, что позволило определить мощности водоносного пласта на эти периоды. Кроме того, был составлен гидрогеологический разрез, идущий с севера на юг.

Мощности водовмещающих пород на левобережье Саратовского водохранилища колеблются от 14 до 60 м. Максимальные

допустимые понижения, принятые равными половине мощности, колеблются от 7 до 30 м.

До создания Саратовского водохранилища на карте гидрогеологического районирования (рис. 12 и 13) были выделены четыре гидрогеологических района: I — с водопроницаемостью более $500 \text{ м}^2/\text{сут}$, II — $200\text{—}500 \text{ м}^2/\text{сут}$, III — $100\text{—}200 \text{ м}^2/\text{сут}$ и IV — менее $100 \text{ м}^2/\text{сут}$.

Гидрогеологический район I со средней водопроницаемостью $1470 \text{ м}^2/\text{сут}$ расположен в северо-западной части территории, где первым от поверхности является водоносный горизонт в трещиноватых известняках и доломитах казанского яруса верхней перми. Мощность водоносных пород для всего района принята 60 м, величина максимального допустимого понижения 30 м.

Гидрогеологический район II с водопроницаемостью в пределах $200\text{—}500 \text{ м}^2/\text{сут}$ занимает значительную часть территории в основном в пределах третьей надпойменной террасы. По мощности водоносных пород район подразделен на два подрайона IIa и IIб.

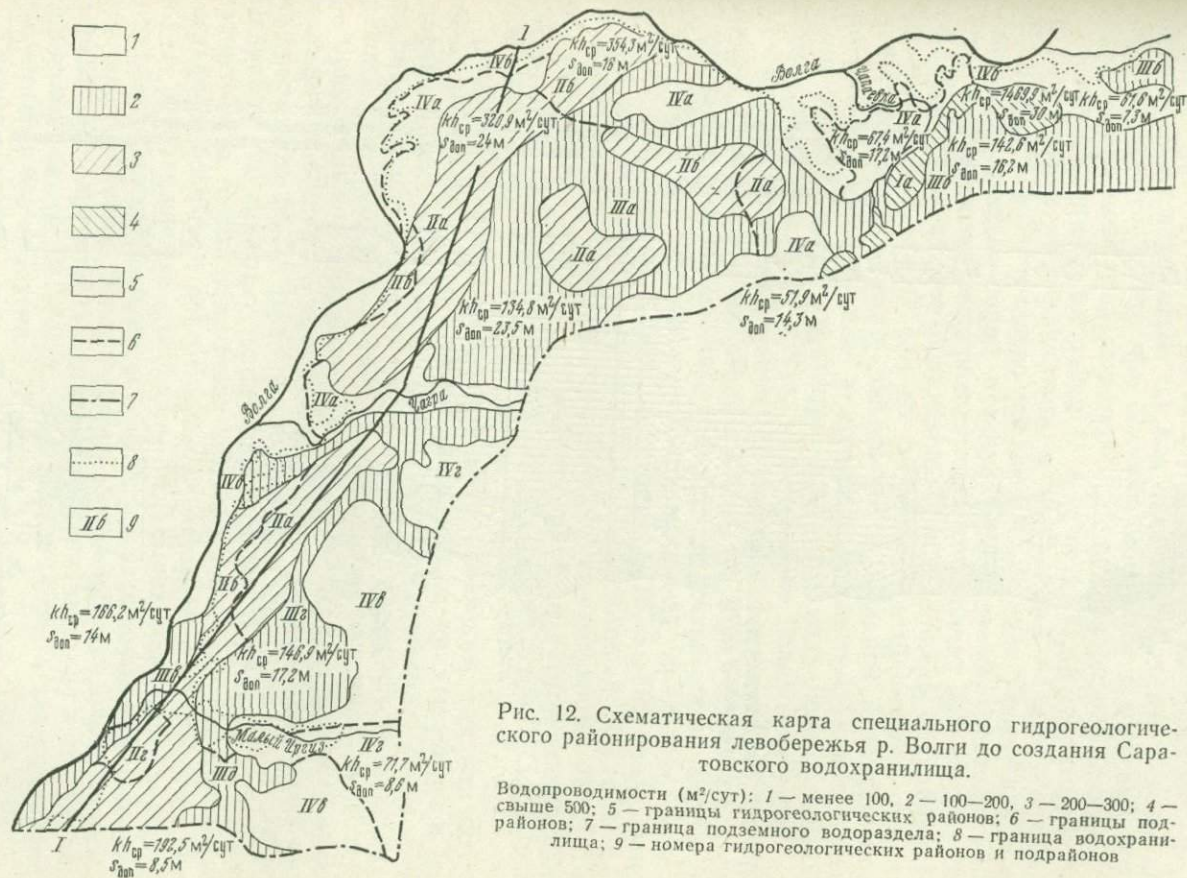
Средняя величина водопроницаемости для подрайона IIa составляет $320 \text{ м}^2/\text{сут}$, максимальное допустимое понижение 24 м. Для подрайона IIб средняя величина водопроницаемости равна $354 \text{ м}^2/\text{сут}$, максимальное допустимое понижение 16 м.

Гидрогеологический район III с величиной водопроницаемости $100\text{—}200 \text{ м}^2/\text{сут}$ занимает значительные площади в пределах надпойменных террас и частично водораздела и поймы р. Волги. По мощности водоносных пород район подразделен на пять подрайонов: IIIa, IIIб, IIIв, IIIг и IIIд. Средние величины водопроницаемости и максимального допустимого понижения для подрайонов следующие: IIIa — $134 \text{ м}^2/\text{сут}$ и 23 м; IIIб — $142 \text{ м}^2/\text{сут}$ и 16 м; IIIв — $166 \text{ м}^2/\text{сут}$ и 14 м; IIIг — $146 \text{ м}^2/\text{сут}$ и 17 м; IIIд — $192 \text{ м}^2/\text{сут}$ и 8 м.

Гидрогеологический район IV с величинами водопроницаемости менее $100 \text{ м}^2/\text{сут}$ занимает территорию пойменных и иногда первой надпойменной террас рек Волги и Чагры и водораздельных пространств. В пределах этого района выделено четыре подрайона: IVa, IVб, IVв и IVг. Средние величины водопроницаемости и максимального допустимого понижения для этих подрайонов следующие: IVa — $67 \text{ м}^2/\text{сут}$ и 17 м; IVб — $60 \text{ м}^2/\text{сут}$ и 7 м; IVв — $50 \text{ м}^2/\text{сут}$ и 14 м и IVг — $70 \text{ м}^2/\text{сут}$ и 8 м.

Таким образом, средние величины водопроницаемости до создания водохранилища составляли $50\text{—}1470 \text{ м}^2/\text{сут}$, максимальные допустимые понижения 7—30 м.

Наибольшая величина водопроницаемости и наибольшее допустимое понижение приурочены к первому гидрогеологическому району, где водоносными породами являются трещиноватые известняки казанского яруса. Наименьшие величины водопроницаемости и допустимых понижений характерны для территории пойменных террас и водораздельных пространств (район IV).



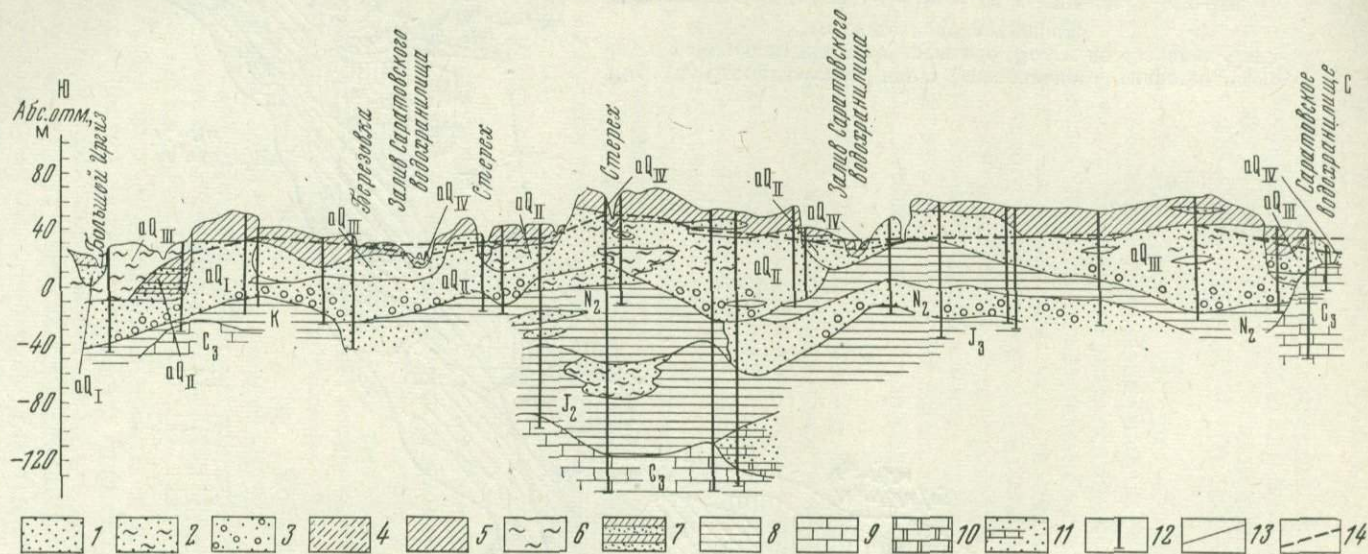


Рис. 13. Гидрогеологический разрез по линии I—I.

1 — пески мелкозернистые; 2 — пески мелко- и тонкозернистые, глинистые; 3 — пески разнозернистые с гравием и галькой; 4 — супеси; 5 — суглинки; 6 — глины; 7 — моренные отложения; 8 — песчаники; 9 — известняки; 10 — доломиты; 11 — доломитовая мука; 12 — скважина; 13 — стратиграфические и литологические границы; 14 — уровень грунтовых вод после подпора

На карте гидрогеологического районирования после создания водохранилища выделены те же четыре гидрогеологических района (рис. 14).

Гидрогеологический район I сохранил те же границы и в основном те же параметры, так как величина подъема здесь не превышает 1,0—1,6 м, что при большой мощности водоносных пород не может существенно изменить величины водопроницаемости.

Гидрогеологический район II занимает ту же территорию, что и до создания водохранилища, и подразделен на два подрайона. Подрайон IIa значительно увеличился за счет увеличения мощности водоносных пород в результате подъема грунтовых вод. Средняя величина водопроницаемости составляет 345 м²/сут, максимальное допустимое понижение 24 м. Площадь подрайона IIб значительно меньше, чем до создания водохранилища, так как часть территории этого района после создания водохранилища отошла к подрайону IIa, а мощность водоносных пород превысила 40 м. Средние параметры для этого подрайона составили: водопроницаемость 350 м²/сут, максимальное понижение 17 м.

Гидрогеологический район III сохранился почти в тех же границах, за исключением участка поймы р. Волги в южной части территории (подрайон IIIв), который полностью затоплен. Таким образом, после создания водохранилища в пределах третьего района сохранились четыре подрайона: IIIa и IIIб аналогичные таким же подрайонам до подпора, IIIв — бывший IIIг и IIIг — бывший IIIв. Параметры этих подрайонов следующие: IIIa — водопроницаемость 135 м²/сут, максимальное допустимое понижение 23 м; IIIб — 145 м²/сут и 16 м; IIIв — 148 м²/сут и 18 м; IIIг — 190 м²/сут и 8 м.

Район IV претерпел значительные изменения, так как почти повсеместно затоплена пойма, а на участках, примыкающих к водохранилищу, произошло значительное увеличение мощностей водонасыщенных пород. Выделены четыре гидрогеологических подрайона IVa, IVб, IVв и IVг. Подрайон IVa занимает часть территории бывшего подрайона IVa и выделен по величине максимального допустимого понижения 22 м, тогда как до подпора она не превышала 20 м. Величина водопроницаемости равна 75 м²/сут. Подрайон IVб занимает территорию бывшего подрайона IVa и незатопленную часть подрайона IVб. Величина водопроницаемости составляет 66 м²/сут, допустимое понижение 16 м. Подрайоны IVв и IVг, расположенные в основном в пределах водоразделов, остались почти неизменными по площади, за исключением небольших участков в долине р. Малый Иргиз, затопленных водохранилищем. Параметры подрайона IVв изменились незначительно и составили: водопроницаемость 60 м²/сут, понижение 14 м, а для подрайона IVг остались без изменения: 77 м²/сут и 8 м.

Таким образом, после создания водохранилища произошли значительные изменения на территории левобережья Саратовского водохранилища: были затоплены участки территории, увеличилась мощность водоносных пород и в общем увеличились

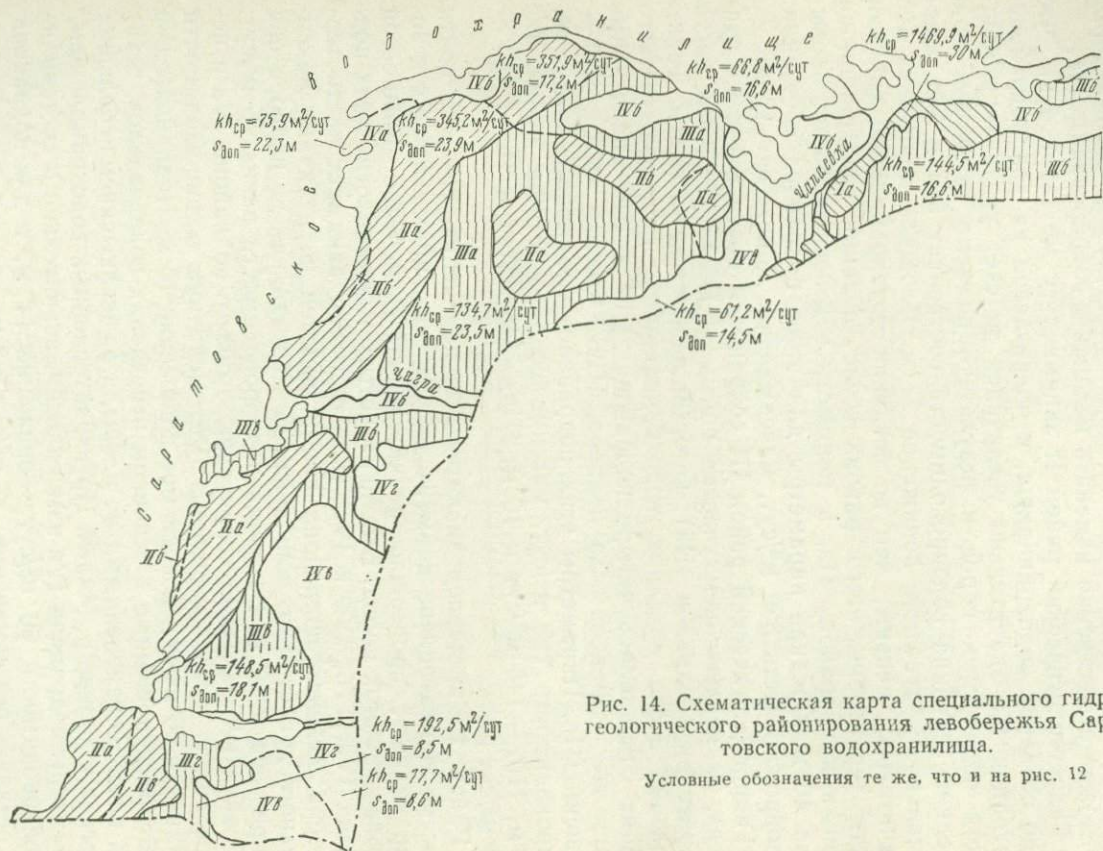


Рис. 14. Схематическая карта специального гидрогеологического районирования левобережья Саратовского водохранилища.

Условные обозначения те же, что и на рис. 12

величины водопроницаемости. Некоторое уменьшение водопроницаемости в подрайоне IIб объясняется тем, что значительные участки этого подрайона с высокими величинами водопроницаемости отошли к подрайону IIа.

Кроме того, для расчетов естественных и искусственных запасов необходима величина коэффициента водоотдачи. Эта величина определена по литературным данным, по гранулометрическому составу водоносных пород и по данным опытных работ, проведенных Средневолгогипроводхозом и принята в пределах 0,08—0,20. Наибольшие величины коэффициента водоотдачи (0,20) приняты для разнородных песков с гравием и галькой; 0,15 — для разнородных песков с небольшой примесью гравия и гальки; 0,10 — для мелкозернистых песков и 0,08 — для трещиноватых известняков и доломитов.

Определение ресурсов и запасов грунтовых вод. В связи с созданием Саратовского водохранилища изменились величины эксплуатационных ресурсов грунтовых вод прилегающих территорий, так как произошло затопление значительных площадей и изменились величины водопроницаемости водонасыщенной толщи. Величины эксплуатационных ресурсов левобережья Саратовского водохранилища определены балансовым методом. Для определения эксплуатационных ресурсов балансовым методом на основе балансового уравнения выполнены расчеты естественных ресурсов и запасов, искусственных запасов и привлекаемых ресурсов на период зимней межени.

Естественные запасы грунтовых вод определены до создания водохранилища и после окончания формирования подпора. Они рассчитывались по формуле (20). Объем водоносного пласта определялся по величинам средней мощности пласта в пределах выделенного района и площади района.

Для расчета естественных запасов составлена карта, на которой выделены районы с одинаковыми мощностями водоносных пород и величинами водоотдачи (рис. 15). Выделение районов сделано на основе карты специального гидрогеологического районирования до создания Саратовского водохранилища. Площади районов рассчитаны планиметром, после чего для каждого района определена величина естественных запасов. Общая величина естественных запасов грунтовых вод до создания водохранилища составляет $3620,16 \cdot 10^7 \text{ м}^3$ (табл. 6).

Расчеты естественных запасов после создания водохранилища выполнены на основе этой же карты по тем же параметрам с вычетом площадей, затопленных водохранилищем. Величина естественных запасов после создания Саратовского водохранилища составила $3367 \cdot 10^7 \text{ м}^3$. В результате создания водохранилища естественные запасы уменьшились на $253,15 \cdot 10^7 \text{ м}^3$.

Естественные ресурсы грунтовых вод определялись гидродинамическим методом с помощью карт гидроизогипс и водопроницаемости для условий, существовавших до создания водохранилища и после его наполнения на период установившегося движения

Расчет естественных запасов грунтовых вод до и после заполнения Саратовского водохранилища

Гидрогеологические районы	Под-районы	До создания водохранилища				После создания водохранилища				Величина уменьшения естественных запасов
		Площади F , км ²	Коэффициент водоотдачи пород, μ	Мощность водоносных пород h , м	Естественные запасы V_e , м ³	Площади F , км ²	Коэффициент водоотдачи пород, μ	Мощность водоносных пород h , м	Естественные запасы V_e , м ³	
I	Ia	144	0,03	60,0	$25,92 \cdot 10^7$	144	0,03	60,0	$25,92 \cdot 10^7$	—
II	IIa	1056	0,20	48,0	$1013,76 \cdot 10^7$	1052	0,20	48,0	$949,92 \cdot 10^7$	$63,84 \cdot 10^7$
	IIб	880	0,15	47,0	$620,40 \cdot 10^7$	880	0,15	47,0	$620,40 \cdot 10^7$	—
III	IIIa	834	0,20	32,0	$533,76 \cdot 10^7$	782	0,20	32,0	$487,68 \cdot 10^7$	$46,08 \cdot 10^7$
	IIIб	1555	0,15	32,7	$763,31 \cdot 10^7$	1403	0,15	33,1	$694,70 \cdot 10^7$	$68,61 \cdot 10^7$
	IIIв	1454	0,10	31,8	$455,80 \cdot 10^7$	1448	0,10	31,3	$443,40 \cdot 10^7$	$12,40 \cdot 10^7$
IV	IVa	106	0,15	17,0	$27,03 \cdot 10^7$	106	0,15	17,0	$27,03 \cdot 10^7$	—
	IVб	1170	0,10	15,4	$180,18 \cdot 10^7$	740	0,10	15,84	$117,96 \cdot 10^7$	$62,22 \cdot 10^7$
Итого		7199			$3620,16 \cdot 10^7$	6555			$3367,01 \cdot 10^7$	$253,15 \cdot 10^7$

грунтовых вод. Фильтрационное поле водоносного горизонта было разбито на сорок шесть гидродинамических блоков, каждый из которых разделен на подблоки, в пределах которых сохраняются относительно однородные гидродинамические условия. Ввиду весьма сложной конфигурации гидроизогипс работа была выполнена на картах крупного масштаба, и фотографии с них сделать невозможно. Расчет естественных ресурсов велся по блокам в соответствии с методическими указаниями. Общая величина естественных ресурсов до создания водохранилища равна $306\,914\text{ м}^3/\text{сут}$, после создания водохранилища — $284\,413\text{ м}^3/\text{сут}$. В результате создания водохранилища естественные ресурсы уменьшились на $22\,500\text{ м}^3/\text{сут}$, что произошло вследствие затопления части территории и уменьшения гидравлических уклонов.

Искусственные запасы подземных вод образовались в результате подъема уровней воды и обводнения ранее сухих грунтов в зоне развития подпора. Границы выклинивания подпора и величины подъема грунтовых вод определены по данным режимных наблюдений и картам гидроизогипс. Ввиду большой изрезанности береговой линии и уменьшения мощности затопленных грунтов вверх по водохранилищу, расчеты искусственных запасов выполнены по отдельным участкам, для каждого из которых определена площадь и средняя мощность обводненных пород (рис. 16). Величина водоотдачи для всей территории принята равной 0,1, так как обводненная толща сложена в основном суглинками, супесями и мелкозернистыми песками. Для каждого участка рассчитаны искусственные запасы (табл. 7). Общая величина искусственных запасов составила $161,58 \cdot 10^7\text{ м}^3$.

Искусственные запасы создались за счет потерь воды из водохранилища в берега и потерь на насыщение пород дна водохранилища при затоплении ранее сухих территорий. Потери на насыщение дна водохранилища определялись в пределах затопленной части территории. Расчеты велись для отдельных участков территории, для которых по картам глубин залегания грунтовых вод и специального гидрогеологического районирования были определены мощности пород зоны аэрации и величины коэффициента водоотдачи и рассчитывались их площади. Величины коэффициента водоотдачи принимались в зависимости от литологического состава пород от 0,05 до 0,10. Всего выделено 10 участков. Общее количество воды, пошедшей на насыщение пород дна водохранилища, составило $29,20 \cdot 10^7\text{ м}^3$ ($0,272\text{ км}^3$).

Искусственные ресурсы грунтовых вод в условиях Саратовского водохранилища представляют собой фильтрационный расход потока, состоящий из потерь на обходную фильтрацию и фильтрацию под плотиной. По данным Приволжского управления Гидрометслужбы, они равны 220 л/с .

Гидравлическая связь грунтовых вод Волжской речной долины с поверхностными водами создает возможность для устройства инфильтрационных водозаборов. Расход этих водозаборов может рассматриваться как привлекаемые ресурсы грунтовых вод, т. е.

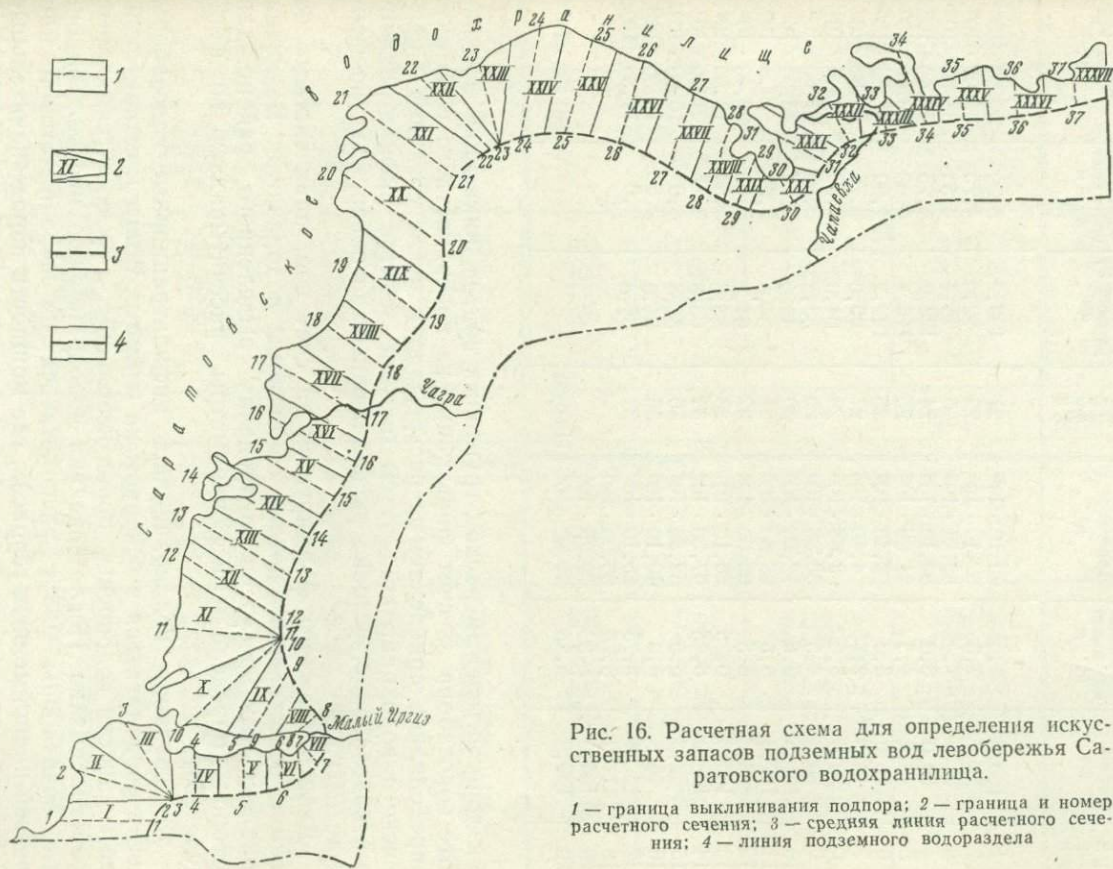


Рис. 16. Расчетная схема для определения искусственных запасов подземных вод левобережья Саратовского водохранилища.

1 — граница выклинивания подпора; 2 — граница и номер расчетного сечения; 3 — средняя линия расчетного сечения; 4 — линия подземного водораздела

Расчет искусственных запасов при $\mu=0,1$

№ расчетных сечений	Площади расчетных сечений F , км ²	Средняя мощность обводненной толщи $k_{ср}$, м	Величина искусственных запасов $V_{и}$, м ³	№ расчетных сечений	Площади расчетных сечений F , км ²	Средняя мощность обводненной толщи $k_{ср}$, м	Величина искусственных запасов $V_{и}$, м ³
1	100,0	8,0	80,10 · 10 ⁶	21	199,2	5,00	99,60 · 10 ⁶
2	82,7	7,5	62,10 · 10 ⁶	22	82,0	4,75	39,00 · 10 ⁶
3	81,2	7,0	56,84 · 10 ⁶	23	74,4	4,50	33,50 · 10 ⁶
4	50,0	6,0	30,10 · 10 ⁶	24	123,2	4,25	52,40 · 10 ⁶
5	48,8	4,5	21,96 · 10 ⁶	25	116,4	4,00	47,60 · 10 ⁶
6	28,0	3,0	8,40 · 10 ⁶	26	129,2	4,00	51,70 · 10 ⁶
7	16,0	2,75	4,40 · 10 ⁶	27	95,6	3,75	35,80 · 10 ⁶
8	29,6	3,0	8,88 · 10 ⁶	28	64,0	3,50	22,4 · 10 ⁶
9	80,8	4,5	36,36 · 10 ⁶	29	33,2	3,50	11,60 · 10 ⁶
10	121,6	6,6	72,96 · 10 ⁶	30	40,0	3,25	13,00 · 10 ⁶
11	152,0	6,5	98,80 · 10 ⁶	31	56,0	3,50	19,6 · 10 ⁶
12	93,2	6,5	60,60 · 10 ⁶	32	64,0	3,50	22,40 · 10 ⁶
13	105,6	6,25	66,10 · 10 ⁶	33	35,6	3,50	12,50 · 10 ⁶
14	108,0	6,25	67,50 · 10 ⁶	34	66,8	3,25	21,70 · 10 ⁶
15	87,2	6,0	52,30 · 10 ⁶	35	56,4	3,0	16,90 · 10 ⁶
16	76,8	6,0	46,10 · 10 ⁶	36	54,0	2,5	13,50 · 10 ⁶
17	132,4	5,75	76,10 · 10 ⁶	37	57,6	2,0	11,50 · 10 ⁶
18	111,2	5,75	63,90 · 10 ⁶				
19	134,0	5,50	79,20 · 10 ⁶				
20	189,2	5,25	99,30 · 10 ⁶	Итого			161,58 · 10 ⁷

как дополнительный расход грунтовых вод, возникающий при работе водозабора за счет фильтрации из поверхностного водотока. Определялись привлекаемые ресурсы до и после создания Саратовского водохранилища путем расчета дебитов инфильтрационных водозаборов, условно расположенных по побережью, по формуле (27).

Дебит скважины формируется за счет вод, привлекаемых из реки и естественного потока со стороны водораздела. Величина привлекаемых ресурсов в пределах выделенного района, для которого определены все параметры, рассчитывалась по формуле (29).

До создания водохранилища инфильтрационные водозаборы могли располагаться в основном на пойме р. Волги и ее притоков, где мощности водоносных пород небольшие, а их фильтрационные свойства низкие. После создания водохранилища инфильтрационные водозаборы будут располагаться на первой, второй или третьей надпойменных террасах, где мощности пород значительные и фильтрационные свойства более высокие. Величины гидравлического сопротивления ложа приняты от 150 до 200 м (по литературным данным и опытным работам Средволгогипроводхоза).

Расчет дебитов инфильтрационных водозаборов производился при условии, что водозаборные скважины располагаются в виде

Расчет привлекаемых ресурсов до и после создания Саратовского водохранилища

До создания водохранилища									
Подрайоны	Длина береговой линии L , км	Величина водопроницаемости kh , м ² /сут	Средняя мощность водоносных пород h , м	λ , м	l , м	Δl , м	Естественный приток Q_e , м ³ /сут	Величина притока воды к скважине $Q_{скв}$, м ³ /сут	Привлекаемые ресурсы $Q_{п}$, м ³ /сут
IIIв	81,60	148,00	28,00	100	100	170	4 856,86	529,92	438 145,00
IIIб	3,00	145,00	32,32	100	100	170	1 223,51	473,04	13 914,00
IVа	6,00	75,00	34,44	100	100	200	1 178,99	362,83	20 923,00
Vб	211,20	66,00	15,00	100	100	200	16 870,37	2348,49	480 368,00
Итого									953 357,00 (11 033,05 л/с)
После создания водохранилища									
Подрайоны	Длина береговой линии L , км	Величина водопроницаемости kh , м ² /сут	Средняя мощность водоносных пород $h_{ср}$, м	λ , м	l , м	Δl , м	Естественный приток Q_e , м ³ /сут	Величина притока воды к скважине $Q_{скв}$, м ³ /сут	Привлекаемые ресурсы $Q_{п}$, м ³ /сут
Iа	3,00	1470,00	60,00	100	100	100	5 115,00	9437,00	287 432,00
IIа	87,00	345,00	48,00	100	100	150	26 436,00	1628,00	1 394 912,00
IIб	33,00	352,00	34,00	100	100	150	9 408,00	1190,00	386 925,00
IIIб	2,40	145,00	32,00	100	100	170	3 540,00	473,00	8 285,00
IIIв	59,40	148,00	36,00	100	100	170	3 211,00	530,00	312 133,00
IVа	32,00	76,00	44,00	100	100	200	5 500,00	363,00	110 967,00
IVб	234,00	66,00	32,00	100	100	200	13 325,00	249,00	569 349,00
IVв	16,60	60,00	28,00	100	100	200	500,00	202,00	33 213,00
IVг	14,80	77,00	16,00	100	100	200	3 030,00	151,00	19 528,00
Итого									3 122 744,00 (36 143 л/с)

линейного ряда вытянутого параллельно берегу реки (водохранилища). Расстояние ряда от реки 100 м; расстояние между скважинами в ряду 100 м; диаметр водоприемной части 0,1 м.

Величины привлекаемых ресурсов рассчитаны по районам, согласно картам гидрогеологического районирования. Общая величина привлекаемых ресурсов до создания водохранилища равна 11 038,05 л/с, после его создания 36 143 л/с. Величина привлекаемых ресурсов увеличилась на 25 110 л/с (табл. 8).

Приведенные результаты расчетов привлекаемых ресурсов грунтовых вод левобережья Саратовского водохранилища до создания и после его создания носят региональный характер, так как эти расчеты дают оценку возможности размещения инфильтрационных водозаборов на всей территории подпора.

Эксплуатационные ресурсы грунтовых вод левобережья водохранилища характеризуют потенциальные возможности эксплуатации этих вод в пределах рассматриваемого района. На основе балансовых уравнений (3, 4, 5, 6) приведен расчет величины этих ресурсов до и после создания водохранилища.

Для расчета ресурсов до создания водохранилища было использовано уравнение (3), по которому приняты следующие значения величин:

- 1) коэффициенты, характеризующие долю использования ресурсов и запасов грунтовых вод, $\alpha_1' = 0,8$; $\beta_1' = 0,5$; $\gamma_1' = 1$;
- 2) естественные ресурсы 306 914 м³/сут = 3552 л/с;
- 3) естественные запасы 3620 · 10⁷ м³;
- 4) привлекаемые ресурсы 11 038 л/с.

Расчет эксплуатационных ресурсов Q_3 произведен на два периода: при $t_1 = 25$ лет $Q_3 = 36 780$ л/с; при $t_2 = 50$ лет $Q_3 = 25 329$ л/с.

После создания водохранилища, когда произошло изменение естественных и привлекаемых ресурсов, изменение естественных запасов, а также формирование искусственных ресурсов и запасов было использовано уравнение (4) водного баланса, по которому приняты следующие значения величин:

- 1) $\alpha_1'' = 0,8$; $\beta_1'' = 0,5$; $\gamma_2'' = 1$; $\beta_2'' = 0,5$;
- 2) естественные ресурсы 284 413 м³/сут = 3292 л/с;
- 3) естественные запасы 3367 · 10⁷ м³;

Таблица 9

Величины эксплуатационных ресурсов

Условия	Q_3 , л/с	
	$t = 25$ лет (9125 сут)	$t = 50$ лет (18 250 сут)
До создания водохранилища	36 780	25 329
После создания водохранилища	61 780	49 439
Увеличение эксплуатационных ресурсов	25 000	24 110

Ресурсы и запасы подземных вод в районе влияния Саратовского водохранилища по левобережью

Условия	Площадь района F , км ²	Естественные ресурсы подземных вод Q_e , л/с	Естественные запасы подземных вод V_e , км ³	Искусственные ресурсы подземных вод $Q_{п'}$, л/с (фильтрация под плотиной и в ее обход)	Потери воды на насыщение пород дна водохранилища		Привлекаемые ресурсы подземных вод $Q_{п''}$, л/с	Эксплуатационные ресурсы подземных вод $Q_э$, л/с	
					Потери воды в берега водохранилища (искусственные запасы подземных вод) $V_{и'}$, км ³	Потери воды в берега водохранилища (искусственные запасы подземных вод) $V_{и''}$, км ³		при $t=25$ лет (9125 сут)	при $t=50$ лет (18 250 сут)
До создания водохранилища	7199	3552	36,20	—	—	—	11 038	36 780	25 329
После создания водохранилища	6555	3292	33,67	220	0,272 1,62	—	36 143	61 780	49 439
Изменение после создания водохранилища *	-644	-260	-2,53	—	—	—	+25 105	+25 000	+24 110

* Величина со знаком (+) указывает на увеличение ресурсов и запасов подземных вод после создания водохранилища, со знаком (-) — на уменьшение.

- 4) искусственные ресурсы 220 л/с;
- 5) искусственные запасы $162 \cdot 10^7$ м³;
- 6) привлекаемые ресурсы 36 143 л/с.

При расчетах получены следующие значения эксплуатационных ресурсов: при $t_1=25$ лет $Q_9=61\ 780$ л/с; при $t_2=25$ лет $Q_9=49\ 439$ л/с.

Данные приведенных выше расчетов сведены в табл. 9.

Изменение эксплуатационных ресурсов после создания водохранилища произошло главным образом за счет изменения величины привлекаемых ресурсов, а также за счет искусственных ресурсов и запасов, хотя роль последних по сравнению с привлекаемыми ресурсами незначительна. Увеличение эксплуатационных ресурсов произошло в основном в зоне подпора водохранилища, где наряду с формированием искусственных запасов создались более благоприятные условия для заложения водозаборов инфильтрационного типа.

Оценка изменений ресурсов и запасов грунтовых вод в результате создания Саратовского водохранилища. В связи с созданием Саратовского водохранилища произошли значительные изменения как общих гидрогеологических условий, так и величин естественных ресурсов и запасов, привлекаемых ресурсов и эксплуатационных ресурсов подземных вод. На территории левобережья Саратовского водохранилища от р. Самары до г. Балаково произошли следующие изменения (табл. 10).

ИВАНЬКОВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Общая характеристика водохранилища. Ивановское водохранилище является первым звеном реконструкции Волги и вместе с тем главным гидроузлом для всего канала имени Москвы. Плотина расположена на Волге у с. Иванькова на 118 км ниже г. Калинина и на 8 км выше устья Дубны — правобережного притока Волги. Ивановское водохранилище, или так называемое Московское море, шириной в некоторых местах до 10 км, имеет абсолютную отметку напорного горизонта воды у плотины 124 м. В зоне подпора (кроме р. Волги) находится ряд ее притоков, наиболее крупные из них реки Шоша, Лама и Созь, которые после наполнения водохранилища стали его заливами. Ивановское водохранилище относится к долинному типу с сезонным регулированием стока. Характерной особенностью водохранилища являются почти ежегодные летне-осенние паводки.

Заполнение Ивановского водохранилища началось весной 1937 г. и к началу июня уровень воды поднялся до абсолютной отметки 123 м. Отметка проектного напорного горизонта (НПГ 124 м) была достигнута в конце апреля 1938 г. Площадь зеркала водохранилища при нормальном напорном горизонте (124 м) равна 327 км², подпор от водохранилища распространяется по р. Волге до г. Калинина, по р. Шоше на 80 км, по р. Сози — на

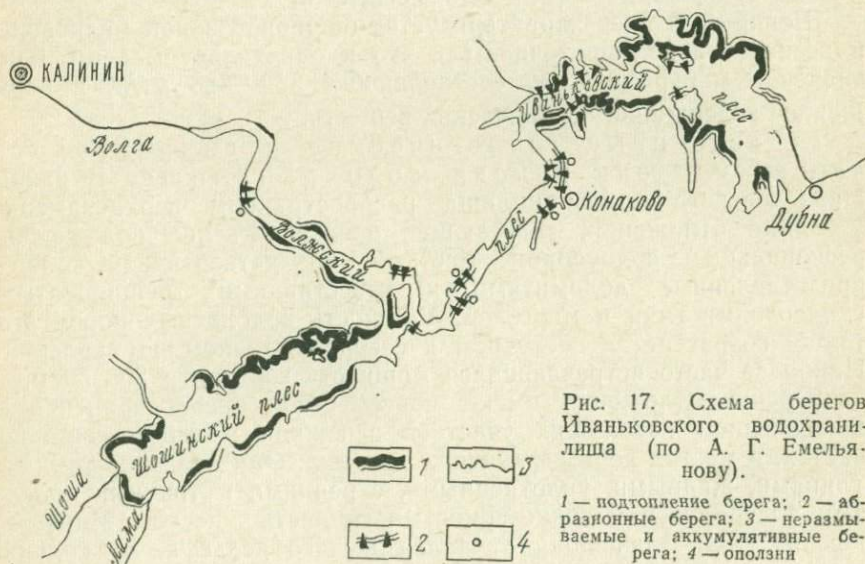
15 км. Ивановское водохранилище служит основным источником водоснабжения Москвы и обводнения ее территории.

Проектом Ивановского водохранилища предусматривался постоянный уровень водохранилища с мая по декабрь с понижением его к весне до отметки 118,5 м. Начиная с 1948 г. колебания уровня водохранилища в основном соответствуют проектному режиму.

В морфологическом отношении водохранилище разделяется А. В. Гавеманом [28] на три плеса (рис. 17): Волжский — от г. Калинина до устья р. Сози, Ивановский — от устья р. Сози до Ивановской плотины и Шошинский — затопленная долина р. Шоши.

Ивановское водохранилище считается мелководным водоемом, характеризующимся большой сменяемостью водных масс, полная смена объема водохранилища происходит 14 раз в год. Глубина Ивановского водохранилища увеличивается вниз по течению к плотине. Наименьшая средняя глубина (по фарватеру) на 1967 г. наблюдалась в районе г. Калинина и составляла 5—7 м, у с. Городище 11—12 м, у г. Конаково 12—14 м, в районе Ивановского плеса глубина достигает 18 м. В наиболее мелководном Шошинском плесе преобладают глубины до 3 м, и лишь в затопленном русле р. Шоши глубина возрастает до 6 м.

Реки Волга и Тверца являются основными источниками питания Ивановского водохранилища, они составляют 82% всей его приточности; приток мелких рек дает 6,8%, а остальные 11,2% приходятся на приточность Шошинского плеса. В приведенные данные входит приток подземных вод, который ранее не учитывался.



Вода в р. Волге до образования водохранилища характеризовалась низкой минерализацией: 106—222 мг/л. После создания водохранилища за счет выщелачивания затопленных почв произошло незначительное повышение минерализации вод водохранилища.

Наблюдения, проведенные уже в первые годы существования Иваньковского водохранилища, выявили значительный недостаток кислорода даже в летнее время. Характерным для водохранилища является убыль растворенного кислорода к концу зимы, особенно в районе Шошинского плеса. Так, в маловодном 1940 г. в начале марта количество кислорода приближалось к нулю, что принесло большой вред рыбному хозяйству.

Волжский плес расположен в верховьях водохранилища, в зоне выклинивания подпора. Площадь его составляет 22% от общей площади водохранилища, объем 42% от общего объема. Волжский плес со сравнительно малой площадью заливов и мелководий менее других подвержен изменениям при сработке водохранилища, площадь его уменьшается всего лишь в 2 раза. Это наиболее проточный плес, для него характерны однородность водных масс и постоянство химического состава воды в течение года. Минерализация воды (1966—1974 гг.) — 505,5 мг/л. Здесь наиболее отчетливо проявляется влияние бытовых и промышленных стоков. Основным загрязнителем являются нефтепродукты.

Предплотинный Иваньковский плес занимает площадь 43% от общей площади водохранилища и 41% от его объема. Он характеризуется меньшей проточностью, так как представляет собой озеровидное расширение без заметных уклонов. Минерализация воды в Иваньковском плесе 331,4 мг/л. Здесь наблюдается повышенное содержание органических веществ.

Шошинский плес характеризуется обширной зоной мелководий и незначительной проточностью, что и определяет максимальное значение минерализации, составляющее 332—588 мг/л, и повышенное содержание органических веществ.

Естественные геологические и гидрогеологические условия района водохранилища. В районе Иваньковского водохранилища распространены верхнекаменноугольные отложения, залегающие непосредственно под юрским региональным водоупором, местами под четвертичной толщей, представленные доломитами и известняками трещиноватыми с прослоями глин и мергелей. Мощность водоносных пород этой толщи возрастает в восточном и северо-восточном направлениях. Наиболее часто встречающаяся мощность горизонта 20—50 м.

Юрские отложения имеют повсеместное распространение за исключением небольших участков в южной и северо-восточной частях, в местах дочетвертичного размыва. Они сложены темными глинами, жирными, уплотненными, с редкими и тонкими прослоями алевролитов и тонкозернистых глинистых песков. Мощность юрских глин, зависящая от палеозойского рельефа, на большей

части территории не превышает 10—20 м, глубина залегания колеблется в широких пределах, преобладает 30—50 м.

Отложения четвертичной системы залегают на исследуемой территории сплошным покровом, перекрывая водоразделы и спускаясь в долины. Они представлены сложным комплексом отложений, среди которых преобладают ледниковые, водноледниковые и аллювиальные осадки. Мощность их колеблется в очень широких пределах — от первых метров в долинах рек до 100 м и более в местах древних погребенных долин и в области конечно-моренных гряд.

Исследуемая территория была перекрыта тремя ледниками: окским, днепровским и московским. Моренные отложения всех трех оледенений представлены плотными суглинками с большим количеством гравия, гальки и валунов. Самые древние отложения окской морены распространены лишь в древних долинах и вскрыты отдельными скважинами, мощность их незначительна. Суглинки днепровской морены занимают большую часть территории, отсутствуют они лишь в пределах Волго-Шошинской низменности, ее выходы наблюдаются в обрывах коренного берега Волги. Московская морена имеет повсеместное распространение, за исключением долин крупных рек и обрывов, часто залегают непосредственно под почвенным слоем. В отличие от других морен суглинки московской морены более опесчанены, обогащены грубообломочным материалом, содержат большое количество гравия, гальки и валунов. В ряде мест в разрезе московской морены встречаются выдержанные прослойки и линзы обводненных песков различной мощности, максимальная вскрытая мощность линз 16 м. Общая мощность моренных отложений весьма невыдержанная, колеблется от первых метров до десятков метров в районе Волго-Шошинской низменности, а в районе конечно-моренной гряды до 100—150 м.

Водноледниковые, аллювиальные, озерные и болотные отложения образовались при наступании и отступании ледников. Наиболее древние окско-днепровские отложения распространены лишь в погребенных долинах восточной части территории. Днепровско-московские межморенные отложения очень широко развиты на исследуемой территории и отсутствуют лишь в северо-западной части Волго-Шошинской низменности. На московской морене залегают сложный комплекс водноледниковых песчаных отложений различных этапов отступления ледника.

Флювиогляциальные отложения представлены разнозернистыми песками с включением гальки и гравия, с линзами и прослоями глин, суглинков, супесей и алевролитов. Обычные мощности песков до 10 м, в районе с. Ивановково мощность окско-днепровских отложений 25 м.

Аллювиальные отложения надпойменных террас имеют пестрый литологический состав. Преобладают разнозернистые пески с линзами и прослоями супесей, суглинков и глин. Озерно-аллювиальные отложения первой надпойменной террасы, развитые

Ресурсы и запасы подземных вод в районе влияния Ивановского водохранилища по левому и правому берегам

Условия	Площадь района F , км ²	Естественные ресурсы подземных вод Q_e , л/с	Естественные запасы подземных вод, V_e , км ³	Искусственные ресурсы подземных вод (фильтрация в обход платины) $Q_{и}$, л/с	Потери воды на насыщение пород дна водохранилища Потери воды в берега водохранилища (искусственные запасы подземных вод) $V_{и}$, км ³	Привлекаемые ресурсы подземных вод $Q_{п}$, л/с	Эксплуатационные ресурсы подземных вод (при $t = 25$ лет) $Q_{э}$, л/с
100 До создания водохранилища	741	315	0,35	—	—	—	473
После создания водохранилища	289	293	0,2	25	$\frac{0,8}{0,05}$	—	379,5
Изменение после создания водохранилища *	-452	-22	-0,15	—	—	—	-93,5

* Величина со знаком минус (-) указывает на уменьшение ресурсов и запасов подземных вод после создания водохранилища.

в долинах рек Волги, Шоши и Ламы, сложены песчано-суглинистой толщей, невыдержанной в разрезе и по площади. Мощность отложений в основном не превышает 5 м, иногда достигает 10—15 м.

Современные аллювиальные отложения прослеживаются вдоль всех рек, залегают на четвертичных породах различного возраста. Эти пески разнозернистые, глинистые, плохо отсортированные, с гравием и галькой. Мощность отложений от 1—4 м до 10 м и более.

Болотные отложения развиты на исследуемой территории очень широко, особенно в пределах Волго-Шошинской низменности. Представлены они в основном торфом, иногда с тонкими прослоями песка. Мощность отложений 2—5 м.

Четвертичные отложения, повсеместно развитые в пределах района Ивановского водохранилища, содержат сложный комплекс подземных вод как межпластовых, так и преимущественно грунтовых, залегающих на разных глубинах от поверхности земли. Подземные воды, приуроченные к отдельным стратиграфическим горизонтам и комплексам четвертичных отложений, вследствие фациальной изменчивости этих пород, а также выклинивания и замещения песков суглинисто-глинистыми разностями пород, иногда находятся в сложной взаимосвязи между собой и с водами рек. В толще четвертичных пород при наличии водоупоров прослеживаются отдельные довольно выдержанные водоносные горизонты.

Данные расчета ресурсов и запасов подземных вод в районе влияния Ивановского водохранилища приведены в табл. 11.

В пределах Ивановского водохранилища в соответствии с описанными выше гидрогеологическими условиями берегов водохранилища устройство инфильтрационных водозаборов затруднено ввиду малой мощности водосодержащих толщ, небольшой их водопроницаемости и заболоченности большей части берегов водохранилища, поэтому расчет привлекаемых ресурсов в региональном плане не производился.

ГОРЬКОВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Общая характеристика водохранилища. Горьковское водохранилище на р. Волге образовано перекрытием русла реки плотиной вблизи г. Городца в октябре 1955 г., полное заполнение его закончилось весной 1957 г. Подпор от плотины ГЭС распространяется на расстояние 427 км вплоть до г. Рыбинска. Водоохранилище по очертаниям и глубинам отчетливо распадается на русловую и озерную части (см. рис. 3). Русловая часть протягивается в широтном направлении от устья р. Елпать до г. Рыбинска, напоминая прежнюю р. Волгу во время весенних разливов: ширина ее обычно не превышает 2 км. Площадь водной поверхности русловой части 500 км². Максимальные глубины

приурочены к затопленному руслу. Выше г. Ярославля водохранилище сокращается до размеров русла Волги и имеет глубины от 0,7 до 3,6 м.

Озерная часть водохранилища протягивается от г. Городища до г. Юрьевца на расстояние более 90 км, составляя $\frac{2}{3}$ всей площади водохранилища. Наибольшие глубины здесь также приурочены к затопленному руслу, достигающая у плотины 23 м. Максимальная ширина водохранилища у с. Соколовское 16 км. Устья многочисленных притоков образовали заливы.

Горьковское водохранилище является водохранилищем сезонного регулирования, работающим на транзитном стоке. Отметка нормального подпорного горизонта составляет 84 м. Величина зимней сработки уровня не превышает 2 м, начало ее относится к концу декабря и продолжается до середины апреля.

Кривая зимнего спада осложняется наибольшими повышениями во время оттепелей и попусков Рыбинской ГЭС. Наибольшее влияние этих попусков отмечается на участке городов Рыбинск, Ярославль. Весеннее заполнение водохранилища до проектной отметки длится обычно с середины апреля до первой декады мая. Суточные и недельные изменения уровня незначительные.

Начало ледостава на водохранилище обычно происходит 20—22 ноября. Толщина льда к концу зимы достигает 0,5—0,8 м. Очищение водоема ото льда приходится на конец апреля.

Приходная часть водного баланса водохранилища складывается из основной приточности (поступления через сооружения гидроузла Рыбинской ГЭС), боковой приточности, осадков, разгрузки подземных вод.

Расходная часть водного баланса включает: воды, идущие на работу агрегатов ГЭС, и на шлюзование, сброс через водосливную плотину, забор воды на хозяйственные нужды, фильтрацию через тело плотины, под сооружения, в обход плеч плотины, испарение с поверхности водохранилища, объем воды, заключенный в снегу и во льду.

Воды водохранилища сульфатно-гидрокарбонатные, кальциево-натриевые и натриево-кальциевые, мягкие. Минерализация воды в течение года изменяется от 0,04 г/л в период весеннего снеготаяния до 0,2 г/л в период летней и зимней межени. Содержание нефтепродуктов и фенола высокое в течение всего года. Содержание иона хлора в течение года изменяется мало, варьируя от 0,3 до 14,2 мг/л, иона натрия от 9,0 до 32 мг/л, иона трехвалентного железа не более 0,3 мг/л. Количество взвешенных веществ обычно не превышает 10 мг/л, величина окисляемости достигает 29,3—30,4 мг O_2 на 1 л.

Для побережья Горьковского водохранилища характерно отсутствие значительных площадей, испытывающих подтопление. Небольшие подтапливаемые участки расположены вблизи устьевых частей притоков и в пределах первой надпойменной террасы. Затоплена пойма и частично первая надпойменная терраса. Заболочиванию подвержены мелководья водохранилища и его заливы.

Естественные геологические и гидрогеологические условия района водохранилища. Современная форма рельефа территории, прилегающей к Горьковскому водохранилищу, образовалась в результате ледниково-аккумулятивной деятельности и эрозионных процессов в послеледниковый период. Климат района умеренно континентальный, с холодной многоснежной зимой и умеренно жарким коротким летом. Среднегодовая сумма осадков составляет 550—600 мм.

Территория, прилегающая к Горьковскому водохранилищу, характеризуется широким развитием палеозойских и мезозойских отложений, покрытых почти повсеместно плащом четвертичных отложений. Отложения пермского и триасового возрастов, представленные глинисто-мергелистыми породами, наиболее распространены в пределах озерной части водохранилища, в районе его русловой части погружаются под песчано-глинистые отложения юры и мела.

Дочетвертичные отложения, имея в целом низкие фильтрационные свойства, являются регионально выдержанным водоупором, изолирующим водоносные горизонты четвертичных отложений от высоконапорных комплексов отложений нижнепермского и каменноугольного возрастов.

Путем анализа гидрогеологических условий установлено, что подпор грунтовых вод имеет наибольшую величину и площадь распространения в левобережье озерной части водохранилища, где в состоянии подпора находятся грунтовые воды отложений первой и второй надпойменных террас и подморенных флювиогляциальных отложений днепровского оледенения.

Привести карты, выполненные при расчете естественных ресурсов грунтовых вод левобережья Саратовского водохранилища, не представилось возможным; подобные карты мы приводим по левобережью озерной части Горьковского водохранилища.

Естественные ресурсы грунтовых вод левобережья Горьковского водохранилища определялись на основе карты гидрогеологического районирования для условий существовавших до создания водохранилища и сложившихся на период установившегося движения грунтовых вод после его наполнения. Фильтрационное поле водоносного горизонта было разбито на гидродинамические блоки и подблоки, в пределах которых сохраняются относительно однородные гидрогеологические условия (рис. 18 и 19).

До создания водохранилища левобережная часть волжской долины от г. Юрьевца до г. Городца на основании карты гидрогеологического районирования была разбита на 9 гидродинамических блоков, в пределах которых выделено 84 подблока. На схеме балансовых расчетов питания и разгрузки грунтовых вод показаны площади с различными средними значениями водопроводимости. Расчет выполнен от первого подблока вниз по потоку в соответствии с примером, приведенным выше в методических рекомендациях.

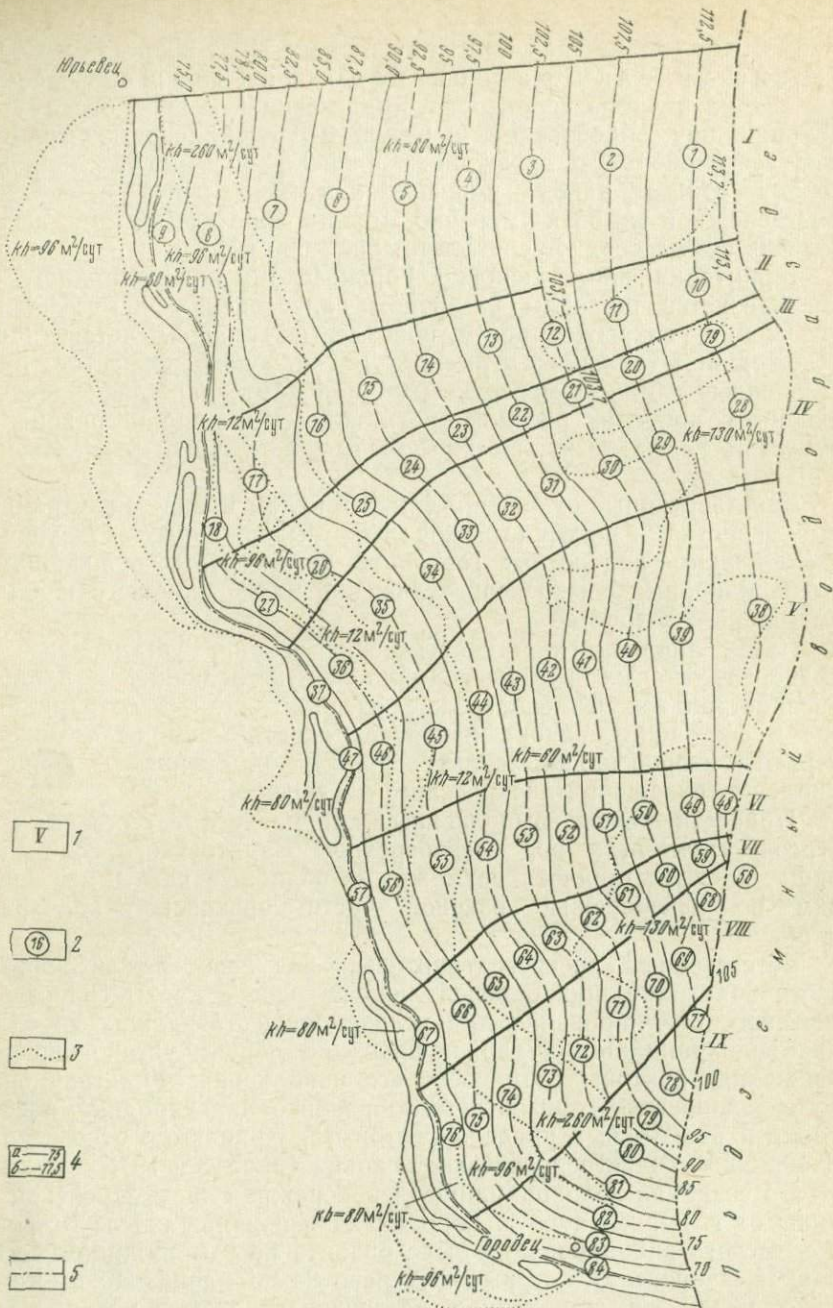


Рис. 18. Схема балансовых расчетов питания и разгрузки грунтовых вод по гидродинамическим подблокам в левобережье р. Волги от г. Юрьевца до г. Городца (до создания Горьковского водохранилища).

1 — номер блока; 2 — номер подблока; 3 — граница между площадями с различной средней водопроводимостью kh ; 4 — гидроизогеоморфы: а — основные, являющиеся границами подблоков; б — вспомогательные, необходимые для расчета; 5 — условная береговая линия реки, проведенная с учетом величины ΔL

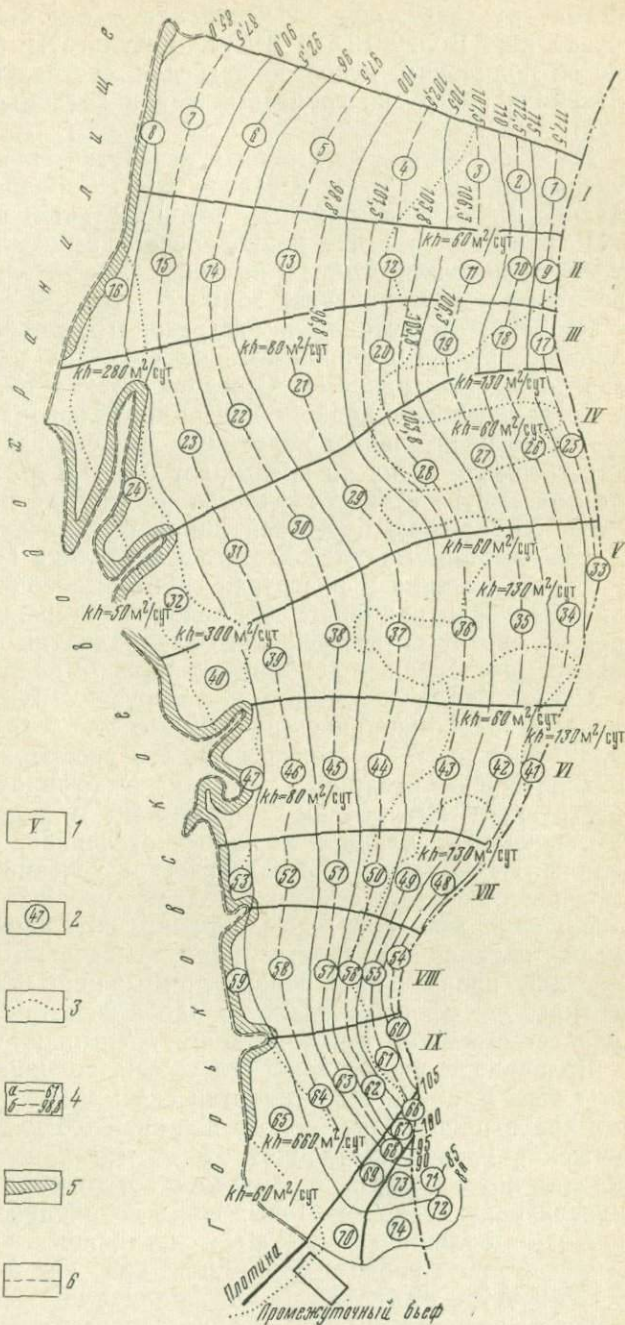


Рис. 19. Схема балансовых расчетов питания и разгрузки грунтовых вод по гидродинамическим подблокам в зоне влияния Горьковского водохранилища (левобережье озерной части).

1 — номер блока; 2 — номер подблока; 3 — граница между площадями с различной средней водопроводимостью; 4 — гидронизогипсы: а — основные, являющиеся границами подблоков, б — вспомогательные, необходимые для расчета; 5 — зона влияния на уровни грунтовых вод сезонной сработки уровня водохранилища; 6 — условный урез водохранилища, проведенный с учетом ΔL (гидравлического сопротивления ложа)

Данные расчета о величине питания составили 36 тыс. м³/сут, расход грунтовых вод на испарение и отток 23 126 м³/сут, разгрузка в р. Волгу 12 836 м³/сут. Результаты балансовых расчетов по подблокам использованы для составления схем баланса питания и разгрузки грунтовых вод и подземного стока (рис. 20 и 21).

На схеме баланса питания и разгрузки грунтовых вод в левобережье р. Волги от г. Юрьевца до г. Городца линией нулевого питания оконтурены районы с отрицательным питанием (разгрузкой) грунтовых вод. На приводораздельных склонах преобладают нулевые значения модуля питания, отрицательные же значения свойственны для приречной зоны.

Особенности питания и разгрузки грунтовых вод определяют характер распределения подземного стока на рассматриваемой территории (см. рис. 21). Северо-восточная и центральные части ее, ограниченные линией подземного водораздела, характеризуются незначительным подземным стоком, где значение модулей естественного стока не превышает 0,5—1,0 л/с с 1 км². Увеличение подземного стока отмечается на участке палеодолины, вытянутой параллельно береговой линии р. Волги. Здесь в ряде подблоков значение модулей достигает 6—8 л/с с 1 км².

Расчет питания и разгрузки грунтовых вод левобережья озерной части водохранилища для условий установившегося движения произведен путем выделения одиннадцати гидродинамических блоков, расчлененных дополнительно на 74 подблока.

Схема баланса питания и разгрузки грунтовых вод в зоне влияния водохранилища (рис. 22), составленная по результатам балансовых расчетов, показывает, что несмотря на изменившуюся конфигурацию изолиний, участки с отрицательным питанием (разгрузкой) приурочены по-прежнему к водораздельным склонам, покрытым плащом моренных суглинков, и участкам палеодолины. Изменение гидрогеологических условий прибрежной зоны, выразившееся прежде всего в подъеме уровня грунтовых вод, т. е. сокращении мощности зоны аэрации, обусловило увеличение модулей питания грунтовых вод. Увеличение подземного стока (рис. 23) произошло в районе примыкания левобережного плеча плотины, где сформировался обходной фильтрационный поток, модули естественного стока которого превышают 10 л/с с 1 км².

Величина сезонной сработки уровня водохранилища не превышает 2 м. Влияние этой сработки сказывается на уровнях грунтовых вод в прибрежной полосе шириной 0,5 км, где максимальное снижение уровня составляет 0,5 м, что приводит к увеличению уклона потока. Это обстоятельство, в свою очередь, приводит к увеличению стока грунтовых вод в водохранилище.

По выполненным расчетам величины питания составили 35 625 м³/сут, расход грунтовых вод на испарение и отток 27 638 м³/сут, разгрузка в водохранилище 7986 м³/сут. Ресурсы и запасы подземных вод в районе влияния водохранилища приведены в табл. 12.

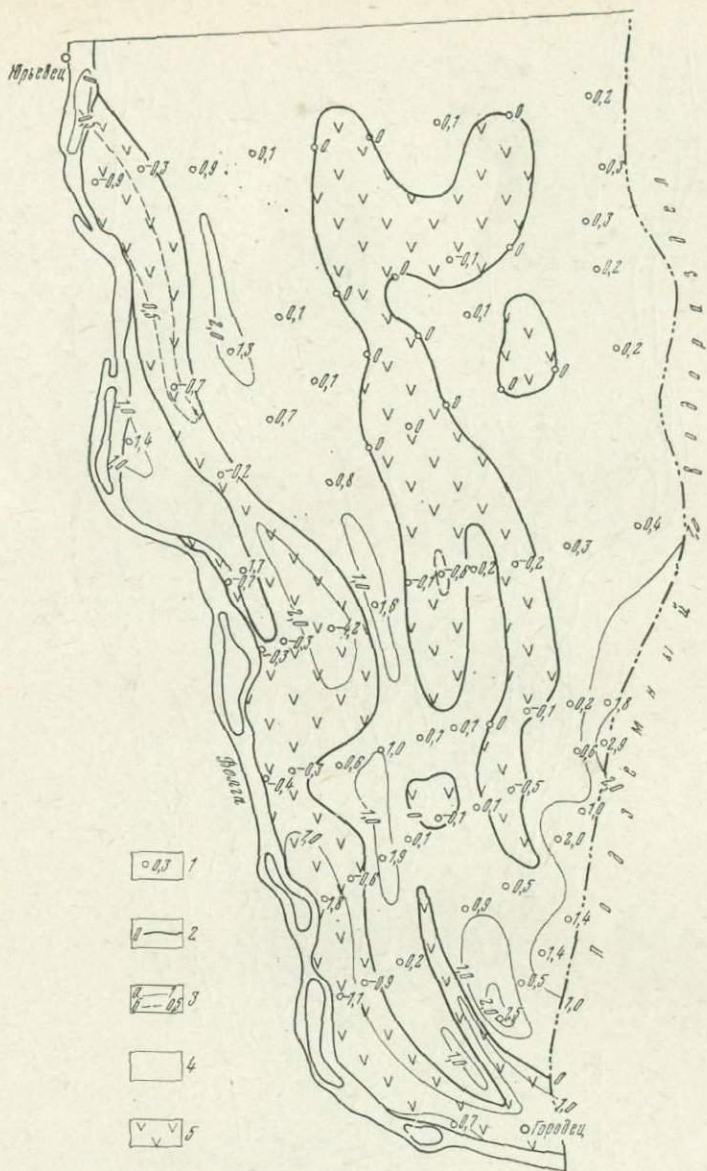


Рис. 20. Схема баланса питания и разгрузки грунтовых вод в левобережье р. Волги от г. Юрьевца до г. Городца (до создания Горьковского водохранилища).

1 — значение баланса питания (л/с с 1 км²), полученное в результате балансовых расчетов (со знаком «+» показаны участки, где преобладает питание водоносного горизонта; со знаком «-» показаны участки, где преобладает разгрузка грунтовых вод); 2 — линия нулевого питания водоносного горизонта; 3 — линии равных значений модуля питания (разгрузки) грунтовых вод; а — основные изолинии, проведенные через 1 л/с с 1 км²; б — вспомогательные изолинии, проведенные через 0,5 л/с с 1 км²; 4 — участки с преобладанием положительного питания грунтовых вод; 5 — участки с преобладанием отрицательного питания (разгрузки) грунтовых вод

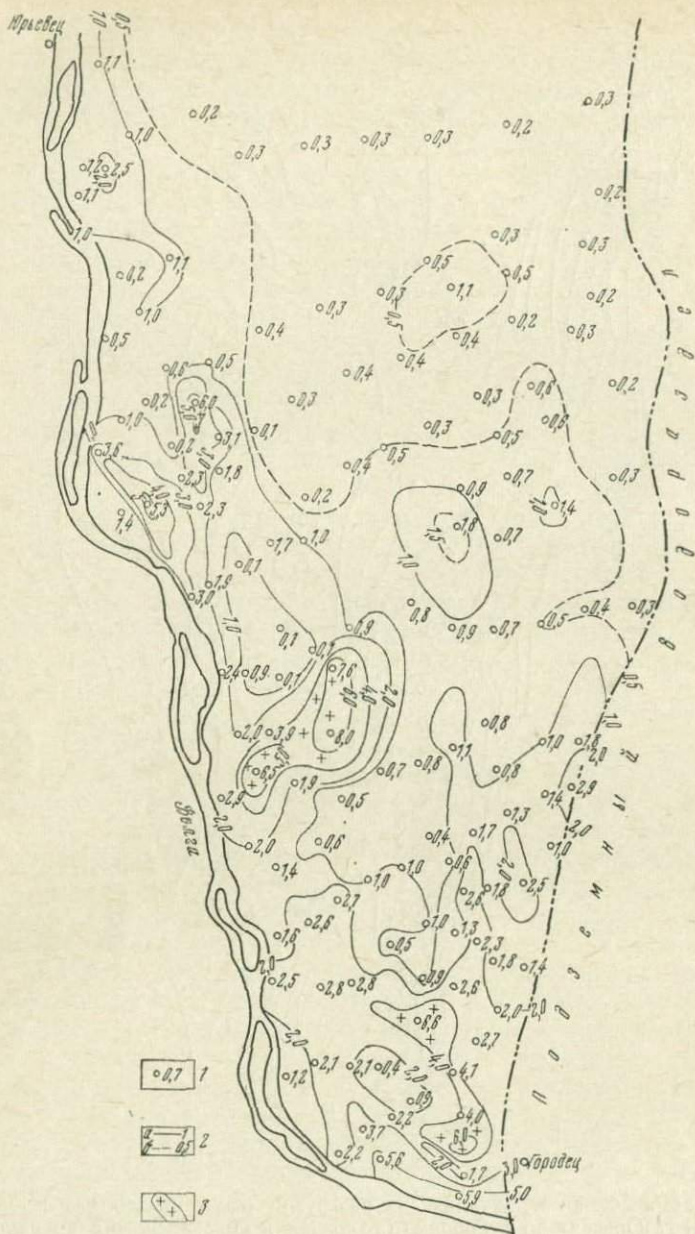


Рис. 21. Схема подземного стока в левобережье р. Волги от г. Юрьевца до г. Городца (до создания Горьковского водохранилища).

1 — значение модуля подземного стока (л/с с 1 км²), полученного в результате балансовых расчетов; 2 — изолинии модуля подземного стока: а — основные, проведенные через 1 л/с с 1 км², б — вспомогательные, проведенные через 0,5 л/с с 1 км²; 3 — участки, где значение модуля подземного стока превышает 5 л/с с 1 км²

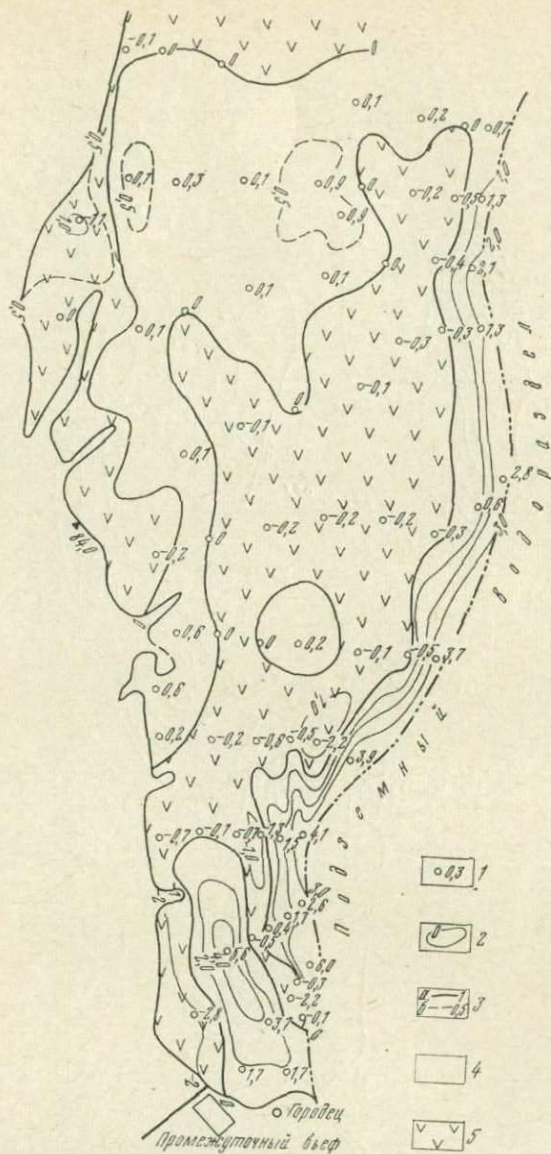


Рис. 22. Схема баланса питания и разгрузки грунтовых вод в зоне влияния Горьковского водохранилища (левобережье озерной части).

1 — значение баланса питания (л/с с 1 км²), полученное в результате балансовых расчетов (со знаком «+» показаны участки, где преобладает питание водоносного горизонта; со знаком «-» участки, где преобладает разгрузка грунтовых вод); 2 — линия нулевого питания водоносного горизонта; 3 — линия равных значений модуля питания (разгрузки) грунтовых вод; а — основные изолинии, проведенные через 1 л/с с 1 км², б — вспомогательные изолинии, проведенные через 0,5 л/с с 1 км²; 4 — участки с преобладанием положительного питания грунтовых вод; 5 — участки с преобладанием отрицательного питания (разгрузки) грунтовых вод.

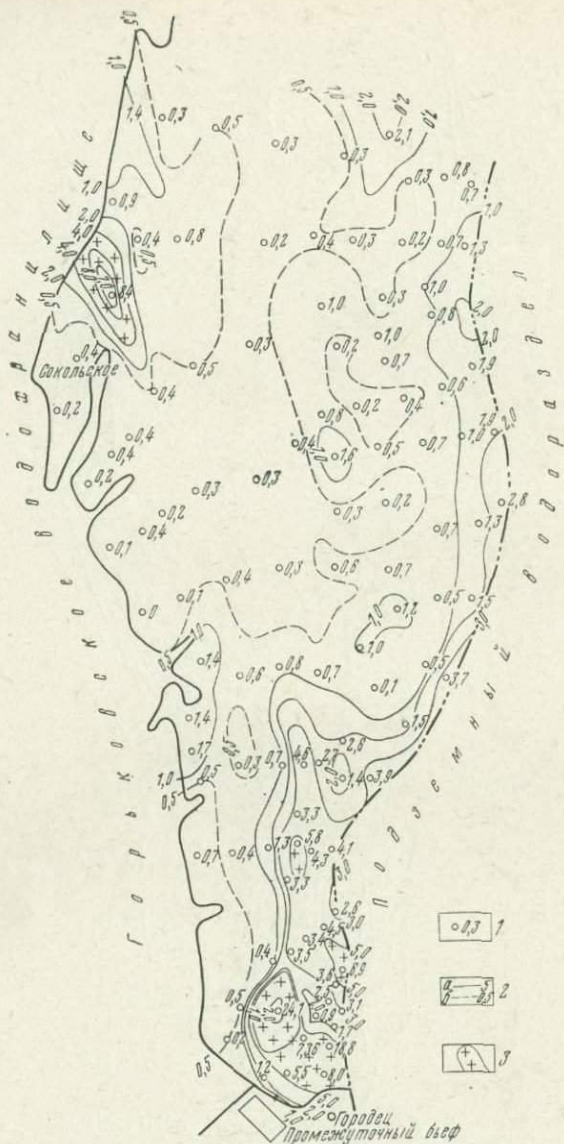


Рис. 23. Схема подземного стока в зоне влияния Горьковского водохранилища (левобережье озерной части).

1 — значение модуля подземного стока (л/с с 1 км²), полученного в результате балансовых расчетов; 2 — изолинии модуля подземного стока: а — основные, проведенные через 1,0 л/с с 1 км², б — вспомогательные, проведенные через 0,5 л/с с 1 км²; 3 — участки, где значение модуля подземного стока превышает 5 л/с с 1 км²

Ресурсы и запасы подземных вод в районе влияния озерной части Горьковского водохранилища по левому и правому берегам

Условия	Площадь района F , км ²	Естественные ресурсы подземных вод Q_e , л/с	Естественные запасы подземных вод V_e , км ³	Искусственные ресурсы подземных вод (Фильтрация в обход площади), $Q_{и}$, л/с	Потери воды на насыщение пород дна водохранилища	Привлекаемые ресурсы подземных вод $Q_{п}$, л/с	Эксплуатационные ресурсы подземных вод (при $t=25$ лет) $Q_{э}$, л/с
					Потери воды в берега водохранилища (искусственные запасы подземных вод) $V_{и}$, км ³		
III До создания водохранилища	1530	416	2,3	—	—	3 003	4 828
После создания водохранилища	1190	412	1,96	64	$\frac{0,95}{0,32}$	12 356	14 124
Изменение после создания водохранилища *	-340	-4	-0,34	—	—	+9 353	+9 296

* Величина со знаком плюс (+) указывает на увеличение ресурсов и запасов подземных вод после создания водохранилища, со знаком минус (-) — на уменьшение.

КУЙБЫШЕВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Общая характеристика водохранилища. Куйбышевское водохранилище, созданное в результате перекрытия в октябре 1955 г. р. Волги плотиной Волжской ГЭС им. В. И. Ленина у г. Жигулевска, является наиболее мощной ступенью Волжско-Камского гидротехнического каскада и одним из крупнейших водохранилищ страны. Оно расположено в пределах Куйбышевской и Ульяновской областей и Татарской АССР и протягивается по Волге на 730 км от г. Жигулевска до пос. Ильинка у г. Чебоксар, а по притокам Волги — по р. Каме до г. Набережные Челны, по р. Большой Черемшан до г. Дмитровграда (Мелекесса), а также по многочисленным мелким притокам.

Заполнение водохранилища до проектной отметки 53 м началось с октября 1955 г., проходило в три этапа и длилось до мая—июня 1957 г. В результате этого уровень Волги у плотины был поднят на 28 м, у г. Ульяновска на 18 м, у пос. Тетюши на 14 м, у г. Казани на 7 м.

Наибольшая ширина водохранилища 40 км зафиксирована у слияния рек Волги и Камы. Средняя глубина водохранилища 9,4 м, максимальная 45 м. Полный объем воды в водохранилище составляет 58 км³, площадь водной поверхности равна 6450 км². Береговая линия водохранилища имеет сложную конфигурацию, длина ее достигает 2500 км. На всем протяжении водохранилища выделяется ряд плесовидных расширений и резких сужений.

После заполнения водохранилища установился более или менее закономерный сезонный режим, который в общих чертах характеризуется следующими элементами. В течение летних месяцев (июнь—август), а иногда и до сентября—октября уровни водохранилища удерживаются на высоких отметках (51—53 м). В октябре или ноябре начинается спад воды, связанный с зимней сработкой водохранилища. Спад продолжается до конца марта — середины апреля следующего года, величина которого достигает в отдельные годы 6—7 м, по сравнению с НПГ. После этого начинается паводковый подъем, который длится до конца мая — начала июля.

Куйбышевское водохранилище является водоемом с сезонным регулированием стока. По данным Приволжского управления Гидрометслужбы приходная часть водного баланса в 1969 г. составила: приток по основным рекам (Волге, Каме) 240,08 км³, боковая приточность (приток по малым рекам) 14,19 км³, осадки 2,29 км³, конденсация водяных паров 0,03 км³, объем воды во всплывшем льде со снегом 0,2 км³, приток подземных вод примерно 6 км³.

Естественные геологические и гидрогеологические условия района водохранилища. В рассматриваемом районе долина Волги имеет резко асимметричное строение: противоположные склоны долины отличаются друг от друга

по своему рельефу, геологическому строению и гидрогеологическим условиям. Правый коренной берег долины преимущественно высокий и крутой является склоном Приволжской возвышенности. Сложен он дочетвертичными отложениями, содержащими ряд межпластовых водоносных горизонтов. Вдоль долины Камы характер левого и правого склонов меняется, но почти в каждом поперечном сечении наблюдается также их асимметрия. Развитые здесь аллювиальные террасы содержат грунтовые воды.

Левый берег реки пологий и низкий, вдоль него развиты пойма и четыре надпойменных террасы. Пойма до затопления возвышалась над меженным уровнем реки на 7—12 м. Ширина ее колеблется от нескольких сотен метров до 20—25 км в месте слияния рек Камы и Волги. Мощность современных аллювиальных отложений, слагающих пойму, до 20—25 м. Они представлены в основном мелко- и тонкозернистыми песками. В нижней части разреза пески более крупные, с гравием и галькой. Подчиненное значение имеют тонкие иловатые глины и суглинки, обычно развитые в верхней части пойменных отложений.

Абсолютные отметки поверхности и ширина надпойменных террас соответственно составляют: первой — от 40 до 60 м и от 0,3—0,5 до 6—7 км; второй — от 50 до 62 м и 2,5—5 км; третьей — в среднем около 100 м и от 10—15 до 30 км; четвертой — от 80 до 140 м. Наибольшее распространение имеет лишь третья терраса, уступ которой хорошо выражен. Остальные террасы прослеживаются на отдельных участках. Вблизи бровки третьей террасы, а местами и на второй развиты песчаные бугры и дюны, высотой от 2 до 10 м.

Террасы сложены мощной (до 100 м) толщей аллювиальных, в меньшей степени эоловых, элювиально-делювиальных и болотных отложений. Горизонты грунтовых вод, приуроченные к этой толще пород, образуют единый водоносный горизонт, дренировавшийся Волгой и ее притоками.

В пределах первой и второй надпойменных террас грунтовые воды в естественных условиях залегали на глубине от 0,6 до 25 м. Наибольшие глубины залегания грунтовых вод приурочены обычно к краевым частям террас, вблизи их бровки и значительно уменьшаются в тыловых частях террас и понижениях.

Водовмещающими породами являются мелкозернистые глинистые пески с прослоями супесей и суглинков верхнечетвертичного возраста и подстилающие их разнозернистые пески среднечетвертичного и верхнечетвертичного возрастов. В нижней части разреза пески часто обогащены гравием и галькой.

В пределах третьей надпойменной террасы грунтовые воды в естественных условиях залегали на глубинах от 1,2 до 30—39 м, наибольшие глубины наблюдались также в краевых частях террас. Водовмещающими породами являются мелкозернистые глинистые пески с прослоями супесей и суглинков верхнечетвертичного возраста и подстилающие их разнозернистые пески среднечетвертичного и верхнечетвертичного возрастов. В нижней части

Ресурсы и запасы подземных вод в районе влияния Куйбышевского водохранилища по левобережью

Условия	Площадь района F , км ²	Естественные ресурсы подземных вод Q_e , л/с	Естественные запасы подземных вод V_e , км ³	Искусственные ресурсы подземных вод (фильтрация в обход плотины), $Q_{и}$, л/с	Потери воды на насыщение пород дна водохранилища	Привлекаемые ресурсы подземных вод $Q_{п}$, л/с	Эксплуатационные ресурсы подземных вод (при $t=25$ лет) $Q_{э}$, л/с
					Потери воды в левый берег водохранилища (искусственные запасы подземных вод) $V_{и}$, км ³		
До создания водохранилища	25 630	8 215	113,78	—	—	103 084	181 807
После создания водохранилища	20 463	6 567	97,82	230	$\frac{3,62}{6,08}$	194 172	266 545
Изменения после создания водохранилища *	-5 167	-1 648	-15,96	—	—	+91 088	+84 738

* Величина со знаком плюс (+) указывает на увеличение ресурсов и запасов подземных вод после создания водохранилища, со знаком минус (-) — на уменьшение.

разреза пески часто обогащены гравием и галькой. Мощность водоносных пород колеблется от 20—30 до 50—60 м.

На четвертой надпойменной террасе грунтовые воды залегают на глубинах 15—50 м. Водоносными являются мелкозернистые пески нижнечетвертичного возраста и разнозернистые пески верхнего неогена. Мощность водоносных пород 40—50, иногда 80—90 м.

Правый склон Волжской долины поднимается уступом до абсолютных отметок 280—320 м. В хвостовых частях водохранилища правый склон долины Волги и аналогичный ему склон Камы образованы карбонатными и песчано-глинистыми казанскими отложениями, содержащими ряд водоносных горизонтов. Ниже по течению Волги распространены пестроцветные татарские отложения, подземные воды в которых имеют чаще спорадическое распространение. Южнее с. Упдоры на значительном протяжении распространены отложения верхней юры и нижнего мела, которые представлены преимущественно глинистыми и песчано-глинистыми слабо обводненными отложениями. Все водоносные горизонты разгружались в долинах рек. В головной части водохранилища, в районе Самарской Луки, правый берег долины сложен карбонатными, сильно трещиноватыми обводненными породами верхнего карбона и перми, в верхней части дренированными, а в нижней — содержащими водоносный горизонт со свободной поверхностью, который дренировался Волгой и ее притоком Усой.

После создания Куйбышевского водохранилища пойма, большая часть первой и частично вторая надпойменные террасы были затоплены. Грунтовые воды первой, второй и третьей надпойменных террас, залегающие выше отметки нормального подпорного горизонта (53 м), подверглись влиянию подпора и в гидрогеологических условиях здесь произошли значительные изменения [36]. Результаты расчета происшедших изменений приведены в табл. 13.

ВОЛГОГРАДСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Общая характеристика водохранилища. Волгоградское водохранилище является последней ступенью Волжско-Камского гидротехнического каскада. Создано оно в результате перекрытия р. Волги плотиной Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС у северной окраины г. Волгограда в конце октября 1958 г.

Водоохранилище находится в пределах Волгоградской и Саратовской областей и протягивается от г. Волгограда до г. Балачково на 450 км. Ширина водохранилища в среднем составляет 6 км, наибольшая 17 км. Средняя глубина водохранилища 10 м, максимальная 41 м. Объем воды в водохранилище 31,45 км³, площадь водной поверхности 3120 км². Водоохранилище по своей площади и объему уступает на р. Волге лишь Куйбышевскому водохранилищу. Волгоградское водохранилище относится к русловым водохранилищам многолетнего регулирования уровня и

небольшим сезонным его колебанием (1—2 м). Регулируется оно Куйбышевским водохранилищем через транзитное Саратовское.

По особенностям гидрологического режима Волгоградское водохранилище можно разделить на три части. Наибольшей является озерная часть, распространяющаяся от плотины до с. Ахмат. Для нее характерны большая глубина, полное затопление поймы, частичное — первой надпойменной террасы, очень слабое течение (скорость течения 0,1 м/с в период паводка). Озерно-речная часть заключена между с. Ахмат и г. Марксом и характеризуется мелководьем и значительным количеством островов. Пойма здесь частично затоплена. Скорости течения несколько больше — до 0,3 м/сут. Верхняя речная часть водохранилища практически заключена в границах старого русла Волги. Скорость течения в межень 0,4—0,5, а в период весенних повышенных сбросов до 1 м/с.

Приходная часть водного баланса водохранилища складывается из основной приточности, боковой приточности и осадков, выпадающих на зеркало водохранилища, которые, по данным Приволжского управления Гидрометслужбы, в 1969 г. составили соответственно 228,18 км³; 1,08 км³ и 1,22 км³.

Расходная часть баланса состоит в основном из общего стока через створ Волжской ГЭС им. XII съезда КПСС (сток через агрегаты, через водосливную плотину, на шлюзование), равного 221,59 км³, и испарения, равного 1,19 км³. Продолжается потеря воды из водохранилища в южной части левобережья на фильтрацию в берега в связи с неустановившимся подпором грунтовых вод.

Наполнение водохранилища началось в конце октября 1958 г., происходило по этапам и продолжалось до июля 1961 г. К концу 1958 г. уровень Волги в верхнем бьефе плотины поднялся на 14,0 м, с отметки —11,0 до отметки +3,0 м. К концу 1959 г. водохранилище наполнилось до отметки +8,0 м, а после паводка 1960 г. уровень достиг проектной отметки НПГ +15 м. Однако на этой отметке уровень водохранилища поддерживался лишь в течение нескольких дней, затем по техническим причинам он был снижен до отметки +12,3 м. Только после паводка 1961 г., т. е. по истечении 32 месяцев с начала заполнения, произошло окончательное наполнение водохранилища (рис. 24).

Характерной чертой режима Волгоградского водохранилища после его заполнения является исключительная стабильность уровня, поддерживаемого в течение второй половины года на отметке, близкой к НПГ, с колебанием порядка 20—30 см. В декабре наблюдается обычно небольшой подъем, а затем наступает сработка уровня, достигающая к концу зимы 1,0—1,5 м. Высота весеннего паводка в озерной части водохранилища не превышает 0,5 м, в озерно-речной 1,1 м и только в русловой части достигает 4,5 м.

Незначительные сезонные колебания уровня водохранилища после его заполнения не приводят к каким-либо существенным перемещениям береговой линии.

В соответствии с геоморфологическим строением территории береговая линия на юге левобережья проходит вдоль уступа морской суглинистой равнины и затем Приволжской песчаной гряды. В устьевой части р. Еруслан берег залива проходит по уступу второй (хвалынской) надпойменной террасы, а севернее р. Еруслан в озерно-речной части водохранилища — по уступу аллювиальных надпойменных террас р. Волги.

Правый берег Волгоградского водохранилища сложен коренными отложениями, и только в устьевой части балок, сохранившихся от размыва, встречается вторая надпойменная терраса, сложенная песчано-суглинистыми отложениями.

Естественные геологические и гидрогеологические условия района водохранилища. Характерной особенностью рельефа долины Волги в районе Волгоградского водохранилища является отчетливо выраженная асимметрия ее склонов. Правый берег р. Волги высокий, крутой, с обрывами и оползнями. Он охватывает среднюю часть Приволжской возвышенности. Рельеф его отличается большой расчлененностью, хорошо разработанными короткими речными долинами и водоразделами широтного направления. Волжские террасы на правобережье сохранились в виде незначительных по величине останцов, достигающих более значительных размеров в устьевых частях притоков р. Волги или крупных балок.

Левобережье характеризуется малой расчлененностью рельефа и отчетливо подразделяется на две части: долину р. Волги на севере и Прикаспийскую низменность на юге. Долина Волги характеризуется развитием системы аккумулятивных террас четвертичного

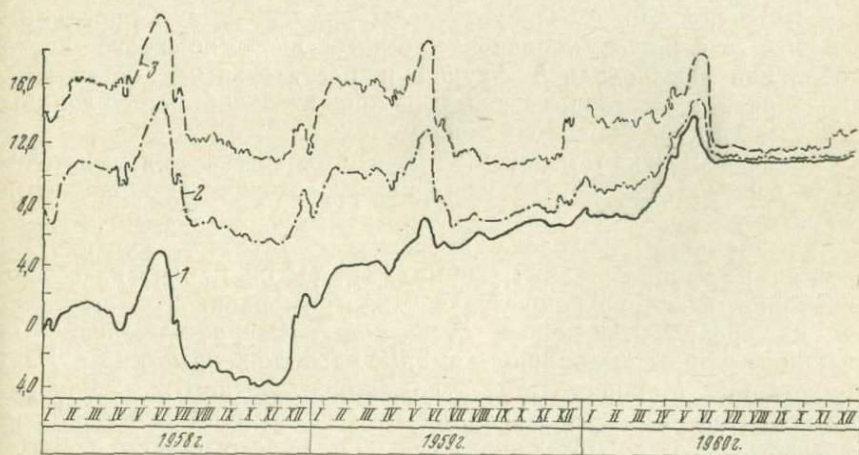


Рис. 24. Графики колебания уровня р. Волги и наполняемого Волгоградского водохранилища по водомерным постам.

1 — Камышин (озерная зона); 2 — Саратов (озерно-речная зона); 3 — Вольск (зона выкливания)

возраста, состоящей из двух пойменных и пяти надпойменных террас. Обе пойменные, а южнее с. Молчановка и первая надпойменная терраса в пределах озерной части водохранилища полностью затоплены.

На территории, прилегающей к Волгоградскому водохранилищу, четвертичные образования представлены аллювиальным и морским комплексами и относятся к современному, верхнечетвертичному и нижнечетвертичному возрастам. Современные отложения слагают два уровня поймы: высокий и низкий с абсолютными отметками 16—20 м. В строении их принимают участие пески мелкозернистые, буровато-желтые, иногда глинистые с линзами илов, содержащие остатки перегнившей растительности. Мощность современного аллювия около 20 м. В настоящее время пойма южнее г. Энгельса полностью затоплена водохранилищем.

Делювиальные отложения распространены на пологих склонах водоразделов речных долин и балок и представлены опесчаненными суглинками. Возраст их определяется положением в разрезе четвертичных отложений и взаимоотношениями с подстилающими и покрывающими породами. Мощность покровных суглинков от 1 до 6 м.

Золотые отложения наблюдаются на первой, второй и третьей надпойменных террасах и реже на морской хвалынской равнине. Это перевеваемые пески тонко- и мелкозернистые пылеватые, серой и буровато-желтой окраски. Мощность их от 5 до 12 м.

Верхнечетвертичные отложения слагают первую (верхнехвалынскую), вторую (среднехвалынскую) и третью (нижнехвалынскую) надпойменные террасы.

Верхнехвалынские отложения слагают первую надпойменную (сарпинскую) террасу, которая прослеживается вверх по р. Волге до р. Большой Иргиз. Представлены они песками с прослоями иловатых суглинков коричневатого-серого и темно-серого цвета с обильной пресноводной фауной и растительными остатками. Эта терраса в настоящее время на значительной части долины р. Волги затоплена водохранилищем.

Среднехвалынские отложения представлены тремя генетическими типами осадков: аллювиальными, озерно-аллювиальными и морскими.

Аллювиальный комплекс представлен песками, суглинками и супесями. Мощность его максимальная (15,0—16,0 м) на севере территории, к югу сокращается и у плотины равна 2—7 м. Залегают на среднечетвертичных отложениях. Озерно-аллювиальные суглинки и глины выполняют лиманы, расположенные на хвалынской равнине. Мощность этих отложений в среднем 8 м. Они перекрыты морскими хвалынскими отложениями и залегают на среднечетвертичных отложениях. Осадки морского типа слагают верхнюю часть второй надпойменной террасы, залегают на аллювии третьей надпойменной террасы, а южнее долины р. Еруслан распространены на морской хвалынской равнине, замещающей здесь третью надпойменную террасу.

Для этого типа отложений характерно присутствие шоколадных глин в песках или суглинках, залегающих в виде прослоев мощностью от нескольких сантиметров до 3—5 м, а на юге до 12 м.

Нижнехвалынские отложения слагают третью надпойменную террасу. Представлены они в нижней части песками и супесями, в верхней — супесями и суглинками желто-бурого цвета, рыхлыми. Пески и супеси нижнехвалынского возраста залегают с размывом на среднечетвертичном аллювии.

Среднечетвертичные отложения заполняют переуглубленную часть долины, залегая на размывтой поверхности верхнеплиоценовых и более древних отложений. Слагают они четвертую надпойменную террасу р. Волги. Кровля среднечетвертичного аллювия залегают на абсолютных отметках до 55 м в районе р. Большого Иргиза и 20—25 м в районе р. Торгуни; подошва соответственно на отметках 20—25 м и 50—55 м.

В составе среднечетвертичного аллювия выделяются две пачки: нижняя и верхняя. Нижняя пачка мощностью 18—20 м сложена преимущественно песками с линзами гравия и гальки в основании. Верхняя пачка сложена пылеватými песками, супесями, суглинками с прослоями глин. Южнее р. Еруслан литология верхней пачки несколько иная и от нижележащих отложений они отделяются слоем погребенной почвы или резкой сменой окраски пород. В приволжской полосе основную массу составляют пески; суглинки и супеси в них встречаются прослоями. Далее на восток прослои суглинков и супесей исчезают. Мощность верхней пачки здесь 15—18 м.

Нижнечетвертичные отложения слагают наиболее древнюю и наиболее высокую (бакинскую) террасу р. Волги. Эта терраса прослеживается на абсолютных отметках 70—100 м. Повсюду наблюдаются аллювиальные отложения мощностью от 20 до 40 м. К ним относятся пески, суглинки и глины. Глины серовато-бурые и темно-коричневые, мелкокомковатые с гнездами, линзами и прослоями мелкозернистого кварцевого песка. Суглинки желтовато-бурые, серовато-бурые, крупнокомковатые, пористые с известковистыми стяжениями. Пески кварцевые, мелкозернистые, желто-бурые и красно-бурые мелкоклюдистые, косослоистые. Взаимоотношение песков, суглинков и глин очень сложное. Морские бакинские отложения распространены южнее устья р. Еруслан в пределах Прикаспийской впадины и представлены жирными глинами темно-серого цвета. Кровля их здесь встречена на абсолютных отметках 17—26 м, подошва на 10—15 м ниже.

Гидрогеология. В левобережной части водохранилища распространены грунтовые воды, приуроченные к четвертичным отложениям. Эти воды гидравлически связаны между собой и представляют единый водоносный комплекс.

Воды четвертичных отложений относятся к различным геоморфологическим элементам и соответственно характеризуются различными условиями залегания, питания и дренирования.

Воды современных аллювиальных отложений встречаются на пойменных террасах р. Волги и ее притоков, руслах балок и ложбинах стока. На пойме водоносный горизонт залегает в песках, а по балкам и оврагам — в основном в супесях и суглинках. Воды пресные, залегают на глубине 2—5 м. Зеркало грунтовых вод имеет небольшой наклон в сторону р. Волги и уклоны к руслам рек, старицам, озерам. Питание происходит за счет поверхностных паводковых вод и инфильтрации атмосферных осадков.

Воды аллювиальных хвалыньских отложений распространены на первой, второй и третьей надпойменных террасах р. Волги и ее притоков. Залегают они на глубине от 5—10 м на первой надпойменной (сарпинской) террасе до 20—25 м — на третьей надпойменной террасе. Водовмещающими породами являются пески, супеси и суглинки. С водами подстилающих хазарских отложений они, как правило, образуют единый водоносный горизонт. Водопором служат на севере нижнемеловые, верхнемеловые и акчагыльские глины, на юге — палеогеновые глины. Питание происходит за счет атмосферных осадков и путем притока вод из других водоносных горизонтов.

Воды аллювиальных хазарских отложениях широко распространены по всей долине р. Волги. В пределах первой и второй надпойменных террас этот горизонт вскрывается на глубине 15—20 м, а в пределах третьей и четвертой — на глубине 35—40 м. Водосодержащими породами являются пески, реже суглинки. Водопор располагается на абсолютных отметках 10 м и ниже и представлен глинами нижнемелового и акчагыльского возраста. Зеркало грунтовых вод имеет уклон к р. Волге.

Хазарский водоносный горизонт с водами, заключенными в вышележащих хвалыньских отложениях, образуют единый водоносный комплекс. Однако на некоторых участках при наличии выдержанных прослоев суглинков и глин имеются два—три водоносных горизонта с различной минерализацией и производительностью. В целом хвалыньско-хазарский водоносный комплекс водообилен и служит хорошим источником водоснабжения.

Воды низинчатервичных аллювиальных отложений распространены к северу от долины р. Еруслан в области развития пятой надпойменной (бакинской) террасы, расположенной на значительном удалении от р. Волги, за пределами зоны влияния водохранилища.

Воды морских хвалыньских отложений развиты в пределах морской хвалыньской равнины, поверхность которой изобилует падинами, западинами, лиманами.

В условиях засушливого климата питание грунтовых вод происходит в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков холодного периода, скапливающихся при весеннем снеготаянии в понижениях рельефа.

Благодаря первичной засоленности грунтов, особенностям микрорельефа и климата грунтовые воды хвалыньских морских

Ресурсы и запасы подземных вод в районе влияния Волгоградского водохранилища по левобережью

Условия	Площадь района F , км ²	Естественные ресурсы подземных вод Q_e , л/с	Естественные запасы подземных вод V_e , км ³	Фильтрация из водохранилища		Потери воды на насыщение пород дна водохранилища	Привлекаемые ресурсы подземных вод $Q_{п}$, л/с	Эксплуатационные ресурсы подземных вод (при $t=25$ лет) $Q_{э}$, л/с
				в берега. Искусственные ресурсы $Q_{и}$, л/с	в обход плотины $Q_{обх}$, л/с	Потери воды в левый берег водохранилища $V_{и}$, км ³		
До создания водохранилища	8 930	1428	49,1	—	—	—	28 730	60 984
После создания водохранилища	7 083	1362	46,8	131	30	$\frac{2,0}{2,7}$	46 956	83 453
Изменение после создания водохранилища	-847	-66	-2,3	—	—	—	+18 226	+22 469

Примечания. 1. Величина со знаком плюс (+) указывает на увеличение ресурсов и запасов грунтовых вод после создания водохранилища, со знаком минус (-) — на уменьшение.

2. По левобережью от плотины до с. Луговая Пролейка подпор не установился, вследствие чего продолжалась фильтрация из водохранилища в объеме 131 л/с.

отложений отличаются большой пестротой химического состава и специфическими условиями их режима.

Наряду с «питающими» лиманами, под которыми весной грунтовые воды опресняются и впоследствии постепенно растекаются, имеются «дренирующие» лиманы, к которым грунтовые воды стекаются, залегают на небольшой глубине (менее 1,5—2,0 м) и благодаря интенсивному испарению являются сильно минерализованными. Так, в лимане Тажи минерализация грунтовых вод достигает 100 г/л.

Грунтовые воды на равнине в среднем залегают на глубине порядка 6 м. Поверхность их в соответствии с общим наклоном поверхности Прикаспийской низменности наклонена на юг. В прибрежной зоне грунтовые воды дренируются на западе р. Волгой, а на юге р. Ахтубой, в связи с чем глубина их залегания значительно возрастает (до 20 м и более), а естественный поток приобретает типичный радиальный характер.

Расчеты ресурсов и запасов подземных вод в районе влияния Волгоградского водохранилища приведены в табл. 14.

КРЕМЕНЧУГСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Создание и многолетняя эксплуатация днепровских водохранилищ привели к затоплению и подтоплению значительных участков территории, подъему уровней подземных вод прибрежной зоны, изменению их режима, химического состава, естественных и эксплуатационных ресурсов. Особенно существенно изменились гидрогеологические условия первых от поверхности водоносных горизонтов, приуроченных, как правило, к четвертичным аллювиальным и аллювиально-флювиогляциальным отложениям. Исследования, учитывающие влияние днепровских водохранилищ на режим и ресурсы подземных вод, проведены в 1971—1973 гг. сотрудниками отдела гидрогеологических проблем Института геологических наук АН УССР и Черкасской гидрогеологической экспедицией Минводхоза УССР.

Наибольшее внимание в этих исследованиях, как и в данном разделе монографии, уделено Кременчугскому водохранилищу, которое является одним из наиболее крупных в днепровском каскаде и расположено в центральной части Украины, где во многих районах уже сейчас ощущается недостаток питьевой и технической воды. Кроме того, научный и практический интерес представляют особенности работы береговых водозаборов в условиях резких сезонных смещений уреза водоема, характерных для Кременчугского водохранилища.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНА КРЕМЕНЧУГСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Кременчугское водохранилище расположено в среднем течении Днестра в пределах Черкасской, Полтавской и Кировоград-

ской областей УССР. Наполнение водохранилища началось в декабре 1959 г. В конце 1961 г. уровень воды достиг отметки нормального подпорного горизонта.

Кременчугское водохранилище регулирует годовой сток Днепра, срабатываясь в течение летне-осенней и зимней межени до отметки горизонта мертвого объема с последующим наполнением за весенние месяцы. Площадь зеркала водохранилища при НПГ 2252 км², его длина по оси 149 км, средняя ширина 15,1 км. Общая водосборная площадь в створе Кременчуга 383 тыс. км². Среднегодовой расход за период его эксплуатации равен 1440 м³/с. Скорость течения ниже Черкасс не превышает 0,1—0,2 м/с. Годовая амплитуда колебаний уровня изменяется от 3,6 м (1966 г.) до 6,2 м (1965 г.). Из наиболее значительных притоков в водохранилище впадают: Рось, Ольшанка, Тясмин, Цыбульник на правом берегу и Сула, Супой, Золотоношка — на левом.

Создание водохранилища активизировало процессы переработки берегов. Процесс переформирования затронул в настоящее время береговые склоны на протяжении 267 км при общей их длине 725 км. За период с 1961 по 1972 г. величина берегообрушения в пределах перерабатываемых склонов составила в среднем 30—60 м, достигая на участках примыканий плотины 100—180 м.

В рельефе прилегающей к водохранилищу территории четко выделяются два района: Приднепровская возвышенность с абсолютными отметками до 200 м на правом берегу и Приднепровская низменность с отметками до 120 м на левом берегу. В долине Днепра развиты пойменная и пять надпойменных террас, причем почти вся пойменная терраса в настоящее время затоплена водохранилищем.

Климат района умеренно континентальный с влажной, часто неустойчивой зимой и теплым летом. Среднегодовая температура воздуха изменяется от 7,4 до 8,2°С. Среднегодовое количество осадков колеблется от 420 до 790 мм при наиболее частых значениях 550—630 мм. Около 70% осадков выпадает в теплый период. Снежный покров устанавливается в декабре, а сходит в марте — первой декаде апреля. К периоду весеннего снеготаяния запасы воды в снеге составляют около 40 мм.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Кременчугское водохранилище и прилегающая к нему территория расположены в пределах двух крупных регионов: Днепровско-Донецкой впадины и Украинского щита. Поверхность кристаллического основания испытывает общее погружение в северо-восточном направлении. Осадочная толща фанерозоя представлена песчано-глинистыми и карбонатными отложениями палеозоя, мезозоя и кайнозоя.

Подземные воды в районе водохранилища встречены по всему разрезу от трещиноватой зоны пород докембрия до четвертичных

отложений. Так как зарегулирование Днепра действовало прежде всего на гидрогеологические условия первых от поверхности водоносных горизонтов, здесь дается характеристика подземных вод только в четвертичных аллювиальных и аллювиально-флювиогляциальных отложениях речных террас. Водовмещающие породы — пески разнотернистые, в верхней части разреза мелкозернистые с прослоями супесей и суглинков, в нижней — крупнозернистые, часто гравелистые. Мощность водоносных четвертичных отложений в среднем 20—30 м, в пределах Переяславско-Черкасской депрессии до 100—150 м. Подземные воды, как правило, безнапорные, глубина их залегания изменяется от 2 до 20 м. Удельные дебиты скважин составляют чаще всего 0,5—3 л/с.

По химическому составу воды четвертичных отложений в основном гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-магниевые с минерализацией 0,2—1 г/л и общей жесткостью 3—10 мг-экв. Весьма часто в воде отмечается повышенное (более 1 мг/л) содержание железа.

Влияние водохранилища на химический состав грунтовых вод проявилось только в узкой прибрежной полосе шириной до 1—2 км. Общая минерализация грунтовых вод этой полосы, которая в естественных условиях составляла 0,4—1 г/л, уменьшилась до 0,2—0,6 г/л, т. е. в 1,5—2 раза. Ионный состав грунтовых вод остался гидрокарбонатным кальциево-магниевым или кальциево-натриевым, хотя на некоторых участках отмечается повышение относительного содержания натрия, особенно в осенний период.

ВЛИЯНИЕ КРЕМЕНЧУГСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА РЕЖИМ ГРУНТОВЫХ ВОД

В естественных условиях режим грунтовых вод прибрежной зоны определялся колебаниями уровня Днепра. Влияние днепровских паводков ощущалось на расстоянии 500—700 м, при этом годовая амплитуда колебаний уровня грунтовых вод достигала 2—3 м. Самое высокое их положение наблюдалось обычно в апреле—мае, а самое низкое — в октябре—феврале. В пределах надпойменных террас основное значение имели метеорологические факторы. Максимальная годовая амплитуда колебаний зеркала грунтовых вод (1,5—1,8 м) наблюдалась при глубине их залегания до 5—7 м. На глубинах 20—25 м она уменьшалась до 0,2—0,4 м.

С наполнением водохранилища началась фильтрация в глубь незащищенной территории, вызвавшая подпор грунтового потока, который распространился на расстояние от 2—2,5 км в верховьях до 8—12 км в районе левобережного примыкания плотины Кременчугской ГЭС и Днепро-Тясминского водораздела. За время эксплуатации водохранилища (1960—1975 гг.) подъем уровня грунтовых вод достиг 2 м в верховьях, 6—7 м на водоразделе Днепр—Тясмин и 12—13 м вблизи левобережного примыкания плотины Кременчугской ГЭС.

Формирование нового уровня режима грунтовых вод в верховьях практически закончилось после 3—4 лет эксплуатации водохранилища. В прибрежной зоне средней и приплотинной частей водохранилища режим грунтовых вод носит неустановившийся характер. Здесь наблюдается высокое стояние и постоянный рост минимальных и максимальных уровней подземных вод. В период паводка в приурезовой полосе выделяется зона шириной от 0,7 до 1,5—2 км с обратным уклоном грунтового потока. В течение осенне-зимней межени грунтовые воды этой зоны изменяют направление движения на противоположное и возвращают часть своих запасов в водохранилище.

В районе левобережного примыкания плотины имеет место обходная фильтрация. В связи с большими сезонными колебаниями уровня в верхнем бьефе ширина зоны обходной фильтрации изменяется от 2—3 км при стоянии НПГ водохранилища до 100—200 м в период его максимальной сработки. Уровень грунтовых вод на этом участке продолжает постепенно повышаться, захватывая все более широкую полосу побережья.

В прибрежной полосе водохранилища организована защита от затопления и подтопления Будище-Свидовского, Золотоношского, Оболонского массивов, поймы р. Тясмин, промышленной зоны г. Черкас и г. Светловодска (правобережное примыкание плотины). В систему инженерной защиты этих объектов входят земляные дамбы, береговые дренажи, водосборно-сбросные каналы. Режим грунтовых вод на защищаемых участках зависит главным образом от изменений уровня водохранилища и эффективности работы дренажей. При нормальной работе последних на указанных участках сохраняется нормальная гидрогеологическая обстановка.

ВЛИЯНИЕ КРЕМЕНЧУГСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ЕСТЕСТВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ЗАПАСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Количественная оценка изменения естественных ресурсов и запасов подземных вод произведена путем сопоставления этих величин, рассчитанных на период зимней межени до (февраль 1959 г.) и после (февраль 1972 г.) заполнения водохранилища.

Расчеты естественных ресурсов сделаны гидродинамическим методом с помощью карт гидроизогипс и водопродвижности. Выбор расчетных значений водопродвижности и районирование территории по величине этого параметра сделаны путем обработки около 500 откачек из скважин. При районировании учитывалось площадное распространение террас. С целью использования многочисленных одиночных откачек, которые обычно дают заниженные значения kh , построен график связи величин водопродвижности, рассчитанных по данным опробования наблюдательных и центральных скважин 30 гидрогеологических кустов. Установлено, что определение водопродвижности по данным откачек из одиночных скважин приводит к занижению этого параметра

в 2—5 раз по сравнению с kh , рассчитанными по кустовым откачкам. С помощью графика средние для каждого из выделенных районов величины kh , полученные в основном по данным одиночных откачек, переводились в новые значения, соответствующие условиям проведения кустовых откачек. На построенной таким образом карте водопроницаемостей значения этого параметра колеблются от 500 до 1000 м²/сут, составляя в среднем 700—800 м²/сут.

При расчетах емкостных запасов подземных вод коэффициенты водоотдачи принимались равными 0,2 (аллювиальные пески) и 0,05 (аллювиальные суглинки).

Естественные ресурсы и запасы подземных вод оценивались на площади 8170 км². С целью площадной характеристики условий питания и разгрузки грунтовых вод предварительно проведено районирование территории. Всего выделено шесть балансовых районов: три на левобережье и три на правобережье водохранилища. Каждый район подразделяется на три зоны: а) зона стабильного естественного режима; б) зона влияния водохранилища; в) чаша водохранилища. Условия питания грунтовых вод в пределах выделенных районов отражены на картах модулей питания, построенных для естественных и нарушенных водохранилищем условий. Средний для всей территории исследований модуль питания грунтовых вод составлял в естественных условиях 1,2 л/с с 1 км², что соответствует суммарной величине питания 10 070 л/с. Максимальные модули питания (3—4 л/с с 1 км²) характерны для водораздельных участков и их склонов (зона стабильного естественного режима). Создание водохранилища практически не повлияло на условия питания и разгрузки подземных вод в этой зоне.

Зона влияния Кременчугского водохранилища общей площадью 2500 км² характеризуется как положительными (1—2 л/с с 1 км²), так и отрицательными (до —1 л/с с 1 км²) значениями модулей питания, причем последние приурочены к ограниченным участкам побережья. После заполнения водохранилища здесь произошел подъем уровня грунтовых вод, что привело к увеличению их разгрузки путем испарения. Вследствие этого средний модуль атмосферного питания в зоне влияния водохранилища уменьшился от 1,4 л/с с 1 км² в естественных условиях до 1,3 л/с с 1 км² в нарушенных. По этой же причине общие естественные ресурсы или расход грунтового потока на контур водоема уменьшился после наполнения водохранилища от 7060 до 6600 л/с.

Естественные запасы грунтовых вод в зоне влияния и чаше Кременчугского водохранилища увеличились после его затопления от 40,5 до 41,4 км³ за счет возникновения искусственных запасов (см. табл. 15). Создание водохранилища привело к затоплению большой территории, в связи с чем естественные запасы распространенных здесь подземных вод стали недоступными для практического использования и не учитываются в дальнейших воднобалансовых расчетах эксплуатационных ресурсов.

ВЛИЯНИЕ КРЕМЕНЧУГСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Оценка эксплуатационных ресурсов подземных вод выполнена на период зимней межени в естественных (февраль 1959 г.) и нарушенных (февраль 1972 г.) условиях. Все расчеты сделаны балансовым и гидродинамическим методом для условной схемы линейного ряда скважин, расположенных вдоль уреза водоема. Входящие в балансовые уравнения (3, 4) величины естественных ресурсов, естественных и искусственных запасов приняты в соответствии с вышеизложенными результатами наших исследований.

В основу гидродинамического метода положена известная формула Маскета—Лейбензона. Значения входящих в нее параметров k , h , s_{\max} и L заданы в соответствии со схемой районирования побережья Кременчугского водохранилища. Радиус водозаборных скважин принят равным 0,1 м, а расстояние между ними в ряду 100 м. Расчетное расстояние между водозабором и водохранилищем L определялось суммированием величины линейной переработки берега l' за срок амортизации эксплуатационных скважин, расстояния ΔL , эквивалентного фильтрационному сопротивлению ложа водоема, величины сезонного отступления береговой линии от ее положения при НППГ l'' и расстояния l , обеспечивающего естественное бактериологическое обеззараживание поверхностных вод при их фильтрации к водозабору. Отметим, что параметр l' определялся нами экстраполяцией по фактической переработке берегов, а l'' — по картам мелководий Кременчугского водохранилища. Величина l по опытным данным принята равной 50 м.

Величина ΔL рассчитывалась по данным режимных наблюдений с использованием формул установившейся и не установившейся фильтрации [93, 95]. Для повышения достоверности расчетов путем применения аналитических методов и математического моделирования выполнен численный анализ возможных погрешностей определения ΔL в некоторых типичных случаях. В результате установлено [81]:

а) в условиях нестационарного подпора или дренирования полуограниченного грунтового потока для определения ΔL можно пользоваться формулами не только нестационарной, но и установившейся фильтрации, причем последние в ряде случаев позволяют получить более точные результаты;

б) при несовпадении направления створа наблюдательных скважин с направлением потока подземных вод расчеты по формулам установившейся фильтрации могут привести к существенному завышению получаемых значений ΔL ;

в) в условиях нестационарного подпора в полуограниченном грунтовом потоке, вызванном практическим мгновенным подъемом уровня водоема, резким (на сотни метров) смещением его уреза и последующим насыщением отложений прибрежной отмели, расчеты величины ΔL приводят к завышению этого параметра при

использовании формул неустановившейся фильтрации и к ошибкам разного знака при использовании формул установившейся фильтрации. В связи с этим в таких условиях лучше пользоваться формулами неустановившейся фильтрации, хотя их применение ставит жесткие требования к точности определения коэффициента уровня неперводности;

г) во всех случаях точность определения величины ΔL по данным режимных наблюдений повышается с уменьшением расстояния между расчетными пьезометрами и урезом водоема. Наиболее достоверные результаты можно получить, если ближний к водоему пьезометр расположен от него на расстоянии, не превышающем 100 м, а дальний 200 м.

Проведенный анализ вероятных ошибок определения ΔL [81] позволил сделать более обоснованный выбор расчетных формул и режимных створов, что повысило достоверность оценки величины фильтрационного сопротивления ложа и всей расчетной схемы побережья Кременчугского водохранилища в естественных и нарушенных условиях.

В результате выполненных расчетов установлено, что общие эксплуатационные ресурсы грунтовых вод после создания водохранилища уменьшились от 105 320 до 47 450 л/с (балансовый метод) и от 93 750 до 35 880 л/с (гидродинамический метод). Указанное уменьшение связано главным образом с резким уменьшением привлекаемых ресурсов в результате увеличения расчетного расстояния L от ряда скважин до уреза водоема. Эксплуатационные ресурсы подземных вод, вычисленные разными методами, близки по величине. Это объясняется тем, что дебит береговых водозаборов формируется в основном за счет привлекаемых из реки ресурсов.

Картирование эксплуатационных ресурсов подземных вод (рис. 25) выполнено с помощью линейного модуля, выражающего расход подземных вод (в л/с), который можно получить с одного километра длины побережья водохранилища. Кроме того, для небольших водопотребителей на карте приведена максимальная производительность одиночной скважины, а для крупных — дебит одной скважины линейного ряда. Линейные модули эксплуатационных ресурсов на различных участках изменяются от 10 до 460 л/с с 1 км, но чаще составляют 50—150 л/с с 1 км. Особенно значительными линейными модулями характеризуется прибрежная зона Золотоношского и Будище-Свидовского защищаемых массивов левобережья нижней части водохранилища. Дебиты одной скважины линейного ряда изменяются от 100 до 4000 м³/сут при средних значениях 700—1500 м³/сут. Выделены перспективные участки, где предлагается заложить мощные береговые водозаборы для водоснабжения Черкасс, Кременчуга, Светловодска и Золотоноши. Модули эксплуатационных ресурсов подземных вод на этих участках колеблются от 130 до 360 л/с с 1 км.

Оценка ущерба, который нанесет естественному стоку Днепра одновременный отбор рассчитанных эксплуатационных ресурсов

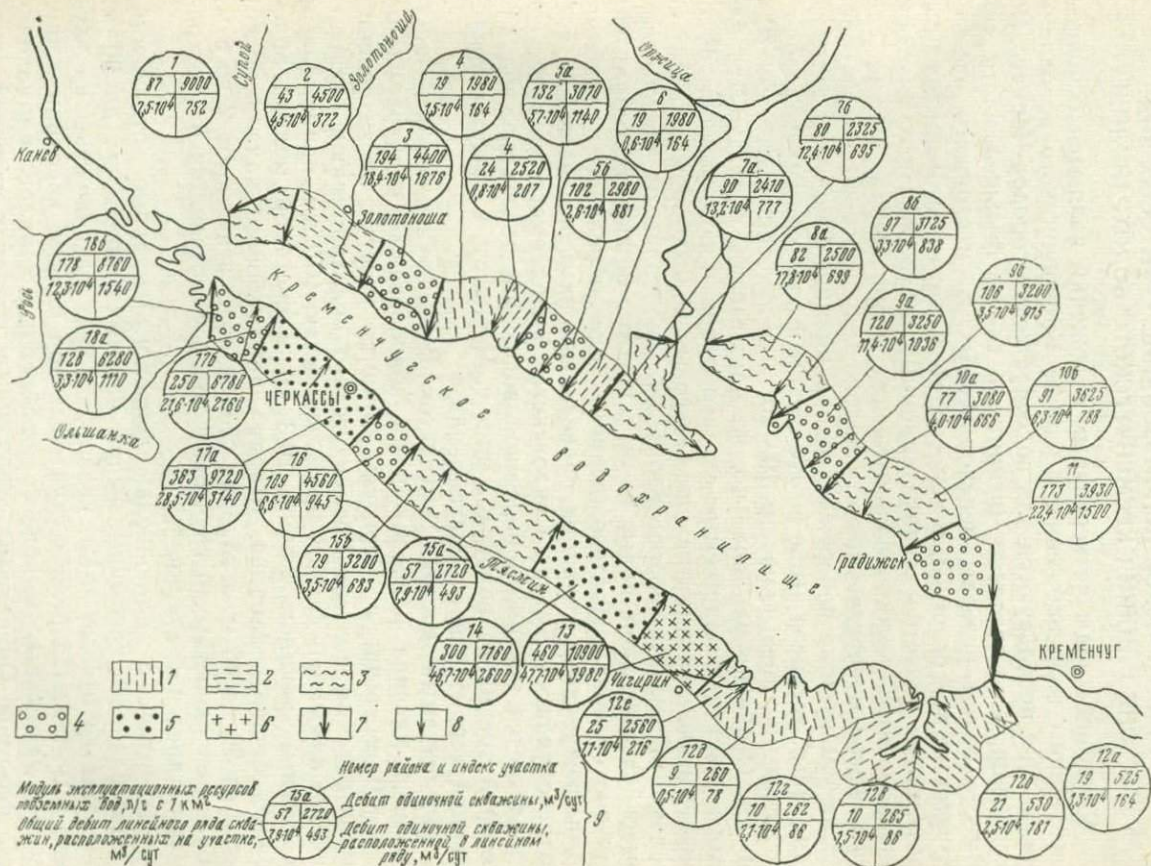


Рис. 25. Карта эксплуатационных ресурсов подземных вод четвертичного отложения района Кременчугского водохранилища.

Районы со значением модулей эксплуатационных ресурсов подземных вод (в л/с с 1 км²): 1 — 0-25, 2 — 25-50, 3 — 50-100, 4 — 100-200, 5 — 200-400, 6 — >400; 7 — границы районов, выделенных по значениям модулей эксплуатационных ресурсов подземных вод; 8 — границы расчетных участков

подземных вод, сделана по методике Е. Л. Минкина [68]. Установлено, что при одновременной работе всех береговых водозаборов величина ущерба составит 4% от среднего 30-суточного расхода Днепра 95%-ной обеспеченности (водпост Кременчуг). Отсюда можно сделать вывод об обеспеченности подсчитанных эксплуатационных ресурсов подземных вод поверхностным стоком.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КРЕМЕНЧУГСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Грунтовые воды четвертичных отложений являются основным источником водоснабжения в районе Кременчугского водохранилища. Они используются для водоснабжения городов Черкассы, Золотоноша, Светловодск, Чигирин, а также большей части сел. Вместе с тем резервы неиспользуемых до настоящего времени грунтовых вод огромны, о чем свидетельствуют вышеприведенные результаты расчетов эксплуатационных ресурсов. Исходя из ориентировочных технико-экономических соображений, можно сделать вывод о перспективности заложения береговых водозаборов на любом участке побережья водохранилища с модулем эксплуатационных ресурсов выше 50 л/с с 1 км и расстоянием до водопотребителя, не превышающем 10—20, а в некоторых случаях 30—50 км. Особенно рационально, на наш взгляд, использовать для этого участки, защищаемые от затопления и подтопления. Заложение и эксплуатация на них береговых водозаборов позволит не только обеспечить водопотребителей необходимым количеством высококачественной воды, но и защитить обширные территории от подтопления. Подтверждением целесообразности подобного комплексирования являются проведенные нами исследования восточного участка Будище-Свидовского защищаемого массива, где предлагается построить береговой водозабор подземных вод для централизованного водоснабжения г. Черкассы и защиты прилегающей территории от подтопления.

Исследуемый восточный участок Будище-Свидовского защищаемого массива расположен на правом берегу водохранилища в 5—20 км выше г. Черкассы. Защита участка от затопления и подтопления водами Кременчугского водохранилища осуществляется намывной дамбой протяженностью 10,7 км, придамбовым дренажным каналом длиной 10,3 км и системой мелких водосборно-сбросных каналов. Ширина придамбового канала колеблется от 20 до 40 м, а глубина столба воды в нем — от 2 до 5 м. Сброс поверхностных и грунтовых вод осуществляется в водохранилище насосной станцией.

Четвертичные аллювиально-флювиогляциальные отложения, представленные преимущественно песками мощностью до 90 м, содержат грунтовые воды, уровни которых расположены на глубине 0,1—4 м. На режим грунтовых вод влияют водохранилище, работы дренажных и водосборно-сбросных каналов, климатические факторы. Он находит отражение в расходах насосной стан-

ции, перекачивающей сток всех водосборно-сбросных и дренажных каналов территории в водохранилище. График изменения расходов во времени тесно увязывается с гидрографом водохранилища, что свидетельствует о доминирующей роли последнего в питании грунтовых вод участка. Учитывая, что расход насосной станции равен суммарному притоку фильтрационных (из водохранилища), грунтовых и поверхностных вод к придамбовому каналу, составлен баланс подземных вод участка за 1972 г. Оценка различных статей баланса выполнена при одной величине водопроводимости, подобранной, исходя из условия наилучшего совпадения суммарного расчетного и фактического притока подземных вод к придамбовому каналу, причем, в качестве последнего принимался действительный расход насосной станции. Притоки подземных вод вычислялись по формуле Дарси, а ширина и градиенты грунтового потока на различных участках территории определялись по картам гидрозогипс, построенным на середину каждого месяца 1972 г. Сопоставление расчетных и фактических притоков проводилось только для пяти месяцев 1972 г. (с мая по сентябрь), когда разгрузка подземного потока происходит только в придамбовый канал (а не в водохранилище) и инфильтрационное питание грунтовых вод, а также поверхностный сток в дренажную сеть минимальны. Подбором установлено, что наилучшее совпадение расчетных и фактических притоков имеет место при средней водопроводимости участка $650 \text{ м}^2/\text{сут}$. Это значение водопроводимости хорошо согласуется с данными опытно-фильтрационных работ, проведенных на площади участка.

Основной целью исследований явился прогноз производительности берегового водозабора, который предлагается заложить на мокром откосе Будище-Свидовской дамбы для расширения водоснабжения Черкасс и защиты массива от подтопления. Водозабор представляет собой линейный ряд скважин с шагом 100 м и общей длиной 10 км, расположенный между урезом водохранилища и придамбовым каналом. Прогноз сделан методом моделирования на сеточном электроинтеграторе БУСЭ-70 для условий полуграниченного пласта с граничным условием 3-го рода на урезе водохранилища. На контуре водозабора задавалось граничное условие 1-го рода, соответствующее постоянному понижению в скважинах ряда (10 м). Прогноз выполнен в двух вариантах: при работе одного берегового водозабора и при одновременной работе водозабора и ряда инфильтрационных бассейнов, которые предлагается разместить в ложе существующего придамбового канала. По литературным источникам [95] с учетом механического состава мелкозернистых аллювиальных песков принято, что средняя скорость инфильтрации из бассейнов равна $0,5 \text{ м}/\text{сут}$. В процессе моделирования учитывались сезонные перемещения уреза водохранилища, вследствие чего расстояние от ряда скважин до уреза водохранилища изменялось во времени от 60 м при НПГ до 240 м в период максимальной сработки. Расстояние от водозабора до ряда инфильтрационных бассейнов равно 80 м. Фильтрационное

сопротивление ложа Кременчугского водохранилища (150 м) определено по данным режимных наблюдений. Коэффициент водопроницаемости грунтового потока принят равным $650 \text{ м}^2/\text{сут}$, коэффициент водоотдачи песков 0,2. Моделирование выполнено методом суперпозиции на 27-летний срок действия водозабора.

Как показали результаты моделирования, при одновременной работе 100 скважин минимальный гарантированный дебит водозабора составит 120 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$. В апреле—июле каждого года, когда уровень водохранилища близок к НПГ, дебит водозабора достигнет 240 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$, т. е. увеличится по сравнению с минимумом в два раза. В условиях искусственного восполнения гарантированный минимальный дебит водозабора составит 210 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$, увеличиваясь до 320 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ в период стояния НПГ водохранилища, совпадающего с периодом наибольшего расхода воды на хозяйственно-бытовые нужды (май—август).

Моделирование показало, что производительность берегового водозабора находится в тесной зависимости от гидрологического режима Кременчугского водохранилища и сезонных смещений его уреза. Для увеличения минимального дебита водозабора предлагается углубить прибрежную отмель на 3—4 м земснарядом. В случае создания такого искусственного углубления урез водохранилища круглый год будет находиться вблизи линейного ряда скважин, а взаимосвязь поверхностных и подземных вод существенно улучшится. Расчет по формулам Маскета—Лейбензона и В. М. Шестакова [95] показал, что при заглублении ложа водохранилища вдоль всего ряда скважин на 3—4 м минимальный дебит водозабора без искусственного восполнения составит 230 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$, а с восполнением 300 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$.

В качественном отношении вода, извлекаемая водозабором, по всей вероятности, будет пригодна для хозяйственно-питьевого водоснабжения по всем компонентам, кроме фтора, содержание которого ниже норм ГОСТа, и, возможно, бактериологических показателей. Некоторое сомнение вызывает концентрация в подземных водах растворенного железа. По данным химического анализа шести проб, среднее содержание железа в воде придамбового канала составляет 1,4 мг/л. Вместе с тем при эксплуатации водозабора следует ожидать уменьшения содержания железа до допустимых пределов, что обосновывается резким увеличением притока поверхностных вод, особенно существенным при искусственном восполнении.

Для оценки эффективности работы берегового водозабора сделано технико-экономическое сопоставление двух различных схем водоснабжения Черкасс на 2000 г., когда потребность города в воде по сравнению с существующим положением увеличится в несколько раз. По первой схеме намечено увеличить мощность действующего в настоящее время водозабора поверхностных вод на недостающую производительность, а по второй — построить инфильтрационный водозабор на мокром откосе Будище-Свидовской дамбы, одновременно углубив побережье водохранилища

вдоль всего ряда скважин. Технико-экономическая оценка обоих вариантов показала, что строительство инфильтрационного водозабора экономически более целесообразно, чем расширение поверхностного водозабора, как по капитальным, так и по эксплуатационным расходам. Это обусловлено меньшей протяженностью сборных водоводов инфильтрационного водозабора, отсутствием в этом варианте дорогостоящих сооружений для забора и очистки воды, сравнительно низким расходом электроэнергии при откачке из неглубоких (до 30 м) скважин и некоторыми другими факторами. Весьма существенным преимуществом инфильтрационного водозабора является возможность ввода его в строй по частям по мере увеличения потребности г. Черкассы в воде, что позволит значительно уменьшить единовременные капитальные затраты.

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
ПО НАИБОЛЕЕ КРУПНЫМ ВОДОХРАНИЛИЩАМ ДНЕПРОВСКОГО
КАСКАДА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

В табл. 15 приведены результаты расчетов естественных ресурсов и запасов, а также эксплуатационных ресурсов подземных вод до и после заполнения четырех крупнейших днепровских водохранилищ — Киевского, Кременчугского, Днепродзержинского

Таблица 15

Ресурсы и запасы подземных вод в районе влияния днепровских водохранилищ

Водохранилище	Площадь района, км ²	Естественные запасы подземных вод V_e , км ³	Естественные ресурсы подземных вод Q_e , л/с	Искусственные ресурсы подземных вод Q_k , л/с	Потери воды на насыщение пород дна водохранилища Потери воды в берега водохранилища (искусственные запасы подземных вод) V_{II} , км ³	Привлекаемые ресурсы подземных вод Q_{II} , л/с	Эксплуатационные ресурсы подземных вод Q_3 (л/с), определенные	
							гидродинамическим методом	балансовым методом
Кременчугское	8 170	40,5 *	7060	—	0,3	87 960	93 750	105 320
		41,4	6600	0	0,6	33 570	35 880	47 450
Днепродзержинское	3 600	4,4	1390	—	0,1	16 200	18 520	19 680
		5,2	930	810	0,7	23 150	24 310	26 620
Киевское	2 000	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	17 360	—
Каховское	12 000	—	460	—	—	—	—	—
		—	350	1160	—	—	46 290	—
Всего							123 840	

* Числитель — величина ресурсов и запасов подземных вод до создания водохранилищ, знаменатель — то же, в нарушенных водохранилищами условиях на февраль 1972 г.

и Каховского. Как видно из табл. 15 в зоне влияния Кременчугского водохранилища произошло резкое уменьшение эксплуатационных ресурсов подземных вод. Это обусловлено соответственным увеличением расчетных расстояний от ряда скважин до водохранилища, что связано с большими сезонными перемещениями его уреза, усилившимися заилением ложа и переработкой берегов. В районе Днепродзержинского водохранилища в связи с подъемом уровня грунтовых вод при практически постоянном положении его уреза произошло увеличение общих эксплуатационных ресурсов на 31 %.

Подсчитанные эксплуатационные ресурсы подземных вод могут быть существенно увеличены путем проведения мероприятий по искусственному восполнению, к которым в первую очередь следует отнести создание инфильтрационных бассейнов и углубление мелководных участков прибрежной зоны земснарядами. С учетом дополнительного привлечения поверхностного стока общие эксплуатационные ресурсы подземных вод в зоне влияния крупнейших днепровских водохранилищ увеличатся в 1,5—2 раза и достигнут $(17-22) \cdot 10^6$ м³/сут, или 197 235 000 л/с. Ущерб поверхностному стоку при одновременной работе всех береговых водозаборов составит 14% от среднего тридцатисуточного расхода Днепра в створе Кременчуга, что свидетельствует об обеспеченности подсчитанных эксплуатационных ресурсов поверхностным стоком.

Подземные воды, приуроченные к четвертичным отложениям на среднем Днепре и неогеновым карбонатным породам в районе Каховского водохранилища, являются основным источником водоснабжения многих городов и сел. Вместе с тем резервы неиспользуемых в настоящее время подземных вод Приднепровья огромны, о чем свидетельствуют вышеприведенные результаты расчетов эксплуатационных ресурсов. Исходя из ориентировочных технико-экономических соображений, можно сделать вывод об эффективности заложения береговых водозаборов на любом участке побережья днепровских водохранилищ с модулем эксплуатационных ресурсов свыше 50 л/с с 1 км и расстоянием до водопотребителя, не превышающим 10—30 км. В результате наших исследований выделены перспективные участки с модулями эксплуатационных ресурсов свыше 100 л/с с 1 км, расположенные вблизи городов Черкассы, Светловодск, Золотоноша (Кременчугское водохранилище), Кременчуг, Днепродзержинск (Днепродзержинское), от с. Лютеж до пос. Вышгород (Киевское), от с. Большая Знаменка до г. Каменка-Днепровская (Каховское).

Особенно рационально можно использовать для заложения береговых водозаборов участки, защищенные от затопления и подтопления. Как показали результаты исследований Будиссе-Свидовского защищаемого массива, заложение на его восточном участке инфильтрационного берегового водозабора позволит не только снабдить г. Черкассы водой на уровень потребления 2000 г., но и обеспечить наиболее эффективную защиту сельскохозяйственных угодий и сел от подтопления.

ГЛАВА IV

ВЛИЯНИЕ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ВОДНЫЙ РЕЖИМ И БАЛАНС РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ОРОШЕНИЯ НА ВОДНЫЙ РЕЖИМ И БАЛАНС РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Интенсивность влияния орошаемого земледелия в целом на водный режим и баланс отдельных речных бассейнов существенно зависит от масштаба мелиораций, определяемого отношением площади, в пределах которой осуществляется орошение к площади всего бассейна, проницаемостью вмещающей толщи пород верхнего яруса подземных вод в плане и разрезе, характером гидравлических границ естественных и искусственно формирующихся потоков при орошении, культурой орошения и др.

Влияние орошаемого земледелия на режим и баланс речных бассейнов осуществляется путем прямых и обратных связей, обуславливающих как непосредственно изменение гидрологического режима рек, так и режима подземных вод. Так, водоотбор воды из реки на орошение и особенно сопутствующее этому в отдельных случаях строительство крупных гидротехнических сооружений на ней, приводит к непосредственному изменению гидрографа реки — прямая связь. Изменение же гидрографа реки обуславливает изменение режима подземных вод в зоне подпора от нее (в районе распространения прибрежного, по Г. Н. Каменскому, или приречного, по А. А. Коноплянцеву, типа режима). Эти изменения режима подземных вод окажутся результатом проявления косвенных связей.

Увеличение инфильтрационного питания грунтовых вод на орошаемых массивах, сопровождаемое их подъемом в районах с исходным глубоким залеганием уровня, естественно обуславливает увеличение подземного стока в гидрографическую сеть. Однако в случае регулирования режима грунтовых вод на орошаемой территории, например, вертикальным дренажем, не исключено, что будет нанесен ущерб речному стоку (пример Волковская оросительная система). И это воздействие окажется следствием косвенной связи между факторами, определяющими режим и баланс речных бассейнов.

Для оценки влияния орошаемого земледелия на режим и баланс речных бассейнов по существу в каждом конкретном случае необходимо рассматривать всю совокупность факторов, определяющих формирование режима подземных вод в естественных и

нарушенных условиях. Для этого создаются модели речных бассейнов, с необходимой или технически возможной детальностью воспроизводящие структуру характеризующих их водообменных систем.

Анализ таких систем и весь опыт орошения свидетельствуют о том, что орошение прежде всего следует рассматривать как фактор, способный изменить питание и разгрузку подземных вод в целом в пределах всего бассейна. На орошаемых участках оно может увеличить инфильтрационное питание, а в зоне подпора гидрографической сети и искусственно не дренируемых местных понижениях рельефа — испарение.

В настоящее время изменения площадного питания грунтовых вод в районах орошения практически неизбежны при любых режимах орошения и технике полива. Они возникают в связи с необходимостью поддерживать влажность в корнеобитаемой зоне не ниже установленной нормы с помощью дискретной во времени подачи воды. При такой технологии полива неизбежны фильтрационные потери, прогноз которых является одной из наиболее сложных задач мелиоративной гидрогеологии. Кстати, необходимо отметить, что даже если каким-то образом удалось бы избавиться от фильтрационных потерь с орошаемых полей, то только изменения водного и теплового режима зоны аэрации в районах распространения грунтовых вод могут привести к нарушению их естественного водного баланса.

Наиболее перспективным способом прогноза режима подземных вод, особенно при отсутствии экспериментальных данных об инфильтрационном питании, может явиться совместный анализ потенциальных полей, определяющих зоны полного и неполного насыщения в условиях орошения. Поля построены в результате моделирования водообменных систем, границами которых в разрезе должны являться с одной стороны поверхность земли с соответствующими в данном районе климатическими условиями и режимом орошения, а с другой — региональный водоупор. Пример такой модели для наиболее распространенного двухслойного строения пласта приведен В. А. Бароном, И. В. Гармановым [9].

В зависимости от сложности и размеров объекта прогноз режима подземных вод осуществляется в несколько этапов. На первом этапе рассматривается модель водообменной системы в таком масштабе, который можно осуществить только с помощью имеющихся моделирующих средств. Затем отдельные фрагменты модели с полученными на ней граничными условиями рассматриваются в более крупном масштабе. Далее внутри этих фрагментов можно выделить еще более мелкие модели и рассмотреть их изолированно и т. д. При таком подходе оказывается возможным выполнить прогноз режима подземных вод с необходимой детальностью в самых сложных условиях.

На первом этапе прогноза определяются возможные изменения режима подземных вод в целом на рассматриваемой территории, одной из границ которой является берег водохранилища. По су-

ществу, это региональный прогноз, если даже он проводится на основе крупномасштабных карт.

На следующем этапе выполняется локальный прогноз, направленный на предсказание режима подземных вод в пределах отдельных участков рассматриваемой территории (например, между берегом водохранилища и дренай, каналом и дренай, между двумя какими-то дренай в пределах небольшого водораздела).

При региональных прогнозах, когда моделируется только поток подземных вод в зоне полного насыщения, влияние каждого из режимобразующих факторов, определяющих увеличение или уменьшение эффективного инфильтрационного питания (разница между величиной инфильтрационного питания грунтовых вод и испарением за расчетный период времени), подпор от рек и водохранилищ, ввод в действие дренажа и т. д., может рассматриваться отдельно. А в последующем комплексное влияние оценивается путем суммирования результатов воздействия на режим каждого из факторов, в чем и заключается известный принцип суперпозиции, широко используемый в гидрогеологии.

Для прогноза на основании анализа природных и ирригационно-хозяйственных условий объекта составляется расчетная схема, которая схематизирует строение района исследований в разрезе, граничные условия и условия питания грунтовых вод. При схематизации литологического разреза области фильтрации устанавливается сложность литологического строения водовмещающей толщи пород с целью определения пласта как однослойного, двухслойного или многослойного и выявления для него регионального водоупора.

По характеру неоднородности пласта различаются неупорядоченная неоднородность, характерная для субаэральных дельт, периферических частей конусов выноса и др., и упорядоченная неоднородность, выражаемая слоистым строением или предельным случаем слоистого строения — анизотропией в вертикальном и горизонтальном направлениях. Если неоднородность пласта в разрезе имеет стохастический характер, то такой водоносный пласт можно рассматривать как однослойный. При этом нецелесообразно характеризовать его обобщенной эпюрой литологических разностей или комплексов и ставить им в соответствие средневзвешенный по разрезу коэффициент фильтрации, так как такая методика схематизации может привести к искусственному увеличению эффективной проницаемости пласта и тогда ошибка схематизации оказывается тем больше, чем больше несовершенство дренай по степени вскрытия пласта.

Более обоснованным является представление пласта наиболее вероятными фациями в разрезе. Гидрогеологические параметры, характеризующие такой пласт, должны быть получены таким методом, при котором они окажутся обобщенными в целом для всей толщи пласта. В случае анизотропного строения при расчетах горизонтального дренажа пласт относительно небольшой мощности можно представить как однородный с коэффициентом фильтрации,

характеризующим его проницаемость в горизонтальном направлении.

Если неоднородность имеет детерминированный характер и выражается выдержанной в разрезе слоистостью строения водовмещающей толщи пород, то методика его схематизации зависит от мощности отдельных слоев, их фильтрационных свойств, глубины залегания и граничных условий. Поэтому схематизация многослойного пласта, в котором неоднородность выдержана в плане, должна проводиться в соответствии с предварительной оценкой влияния каждого вводимого в расчет слоя на результаты прогноза режима уровня грунтовых вод.

Границами рассматриваемой области фильтрации, как правило, являются крупные поверхностные водотоки — контуры с заданными напорами, линии контакта хорошо проницаемых с менее проницаемыми породами, тектонические нарушения, через которые может происходить интенсивное питание или разгрузка водоносного горизонта. Дальность влияния таких границ зависит от режима уровня на них.

Если фильтрационный расход на них или напор в расчетный период времени t практически постоянен, то их влияние распространяется на расстояние $l \approx (1-1,5)\sqrt{at}$. В этой связи, если орошаемый массив находится на расстоянии больше l , то по отношению к такой границе водоносный горизонт можно рассматривать как неограниченный. Хотя естественно, что с увеличением расчетного периода времени может оказаться необходимым принять во внимание ранее не учитываемые границы. Этим границы с постоянным напором или расходом принципиально отличаются от границ с периодически меняющейся величиной напора. К числу последних могут быть отнесены границы периодически заполняемых и срабатываемых водохранилищ. При заполнении водохранилища и периодической его сработке подпор от водохранилища для достаточно общего случая режима уровня в нем может быть описан следующим выражением

$$\Delta h(x, t) = \Delta H_0 \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{at}} + \Delta H_1 \exp\left(-x \sqrt{\frac{\pi}{2at}}\right) \times \\ \times \sin\left(\frac{\pi t}{T} - x \sqrt{\frac{\pi}{2T}}\right), \quad (33)$$

где $\Delta H_0 + \Delta H_1 \sin \frac{\pi t}{T}$ — функция, определяющая изменение режима уровня воды в водохранилище; ΔH_1 — амплитуда колебаний уровня в нем; T — период колебаний уровня (180 сут); $\Delta H_0 + \Delta H_1$ — максимальное приращение уровня в водохранилище.

Из выражения (33) следует, что при указанном режиме водохранилища подпор от него распространяется в виде двух волн. Первая распространяется как при мгновенном подъеме уровня на границе пласта на величину ΔH_0 , а вторая — как при синусоидаль-

ном изменении напора. Причем с ошибкой до 1% дальность распространения второй волны определяется формулой

$$\Delta x = 50 \sqrt{at}. \quad (34)$$

Таким образом при $t \rightarrow \infty$ (условие, соответствующее моделированию фильтрации при установившемся режиме уровня) подпор от величины ΔH_0 будет распространяться теоретически на бесконечность, а от ΔH_1 — только на расстояние Δx .

При прогнозах режима грунтовых вод в орошаемых районах особые трудности возникают при попытке отразить в граничных условиях ирригационную сеть различного порядка. Такая попытка практически нереальна и нецелесообразна. Поэтому при расчетах следует учитывать сосредоточенное питание только от крупных поверхностных водотоков для данного масштаба прогноза, а фильтрационные потери из мелких оросительных каналов и временной сети так же, как и фильтрацию с орошаемых полей, можно учитывать в виде дополнительного питания грунтовых вод равномерно распределенного по всей орошаемой площади. При этом, когда в расчетную область фильтрации вводится сосредоточенное питание грунтовых вод, обусловленное фильтрацией из отдельных, несовершенных по степени вскрытия пласта водотоков, последние могут быть заданы линией равных напоров (с учетом дополнительного сопротивления на несовершенство) только в том случае, когда они совпадают с границами рассматриваемой области. В противном же случае на границах водотока должны быть заданы условия второго или третьего рода.

Инфильтрационное питание грунтовых вод, определяемое атмосферными осадками и орошением, практически осуществляется периодически. Учет фактического пополнения запасов грунтовых вод во времени усложняет прогнозы. Поэтому для упрощения прогнозов режима уровня целесообразно осреднять инфильтрационное питание грунтовых вод во времени. Это естественно приводит к тому, что прогнозный уровень каким-то образом отличается от фактического. Однако выполненные расчеты свидетельствуют о том, что в широком диапазоне изменений водопроницаемости пласта ($10 \text{ м}^2/\text{сут} \leq a \leq 1000 \text{ м}^2/\text{сут}$) ошибка, вызванная осреднением инфильтрационного питания грунтовых вод во времени, оказывается не более 10—15% на 20—25 расчетный год. Поэтому при долгосрочных прогнозах режима грунтовых вод вполне допустимо осреднение инфильтрационного питания во времени.

Помимо инфильтрационного питания на формирование режима уровня грунтовых вод могут оказывать непосредственное влияние испарение и перетекание межпластовых вод, методика учета которых в расчетах зависит от того, как получены их количественные характеристики и масштаба прогнозируемого процесса. Если инфильтрационное питание грунтовых вод и данные о испарении получены независимыми методами, то информация об этих факторах вводится в расчет в виде эффективного питания грунтовых

вод, представляющего собой их алгебраическую сумму для расчетных периодов времени.

При моделировании отдельных потоков подземных вод (региональный прогноз) величина перетекания межпластовых вод, обусловленная взаимодействием рассматриваемых водоносных горизонтов, на модели должна определяться только ее граничными условиями. В случае трудностей в моделировании всего потока (вплоть до его региональных границ) на локальных участках модели в процессе прогноза можно принимать постоянной разность между уровнем грунтовых вод и пьезометрическим напором, имевшую место до начала орошения, если рассматриваемый подъем обусловлен увеличением инфильтрационного питания грунтовых вод. Если в указанном случае принимать постоянным напор в нижнем слое (а не разность напоров!), как это распространено в практике, то в расчетах может быть допущена существенная ошибка, обусловленная искусственным увеличением дренирующего эффекта нижних хорошо проницаемых слоев пород при многослойном строении пласта.

При расчетах систематического горизонтального дренажа перетекание может быть учтено путем соответствующего изменения эффективного питания грунтовых вод, которое в этом случае должно рассматриваться как алгебраическая сумма величин инфильтрационного питания, испарения и перетекания.

В начальный период орошения, длительность которого определяется размером участка и водопроницаемостью пласта, интенсивность подъема уровня происходит, как в неограниченном пласте. Период этот при прочих равных условиях тем больше, чем дальше удален участок от реки. С ошибкой, не превышающей 3—4%, это время может быть определено как

$$t_0 = \frac{0,14 (b_1 + \Delta l)^2}{a}, \quad (35)$$

где b_1 — расстояние до реки; Δl — дополнительное сопротивление на несовершенство реки по степени вскрытия пласта.

В последующем влияние реки проявляется в замедлении скорости подъема уровня на орошаемой и прилегающей территории и уменьшении оттока грунтовых вод.

Относительно длительный период времени, гораздо больший, чем t_0 , на интенсивность оттока грунтовых вод за пределы орошаемой территории не оказывает влияния наличие регионального базиса эрозии, если он находится за пределами орошаемого массива. Поэтому для оценки роли оттока подземных вод за пределы орошаемой территории в первые годы орошения можно представить ее участком полосовой инфильтрации и при этом отток подземных вод за пределы орошаемого массива сопоставить с интенсивностью подъема.

В центре орошаемого массива

$$\Delta h = \frac{4\epsilon t}{\mu} \left(0,25 - i^2 \operatorname{erfc} \frac{l}{2\sqrt{at}} \right), \quad (36)$$

где l — ширина орошаемого массива;

ϵ — инфильтрационное питание грунтовых вод.

Отток подземных вод за пределы массива

$$Q = 8b\epsilon t i^2 \operatorname{erfc} \frac{l}{\sqrt{at}}. \quad (37)$$

Отток подземных вод за пределы массива в процентах от суммарной величины инфильтрации $2\epsilon b t$ определяется формулой

$$Q = 4i^2 \operatorname{erfc} \frac{l}{\sqrt{at}}, \quad \%. \quad (38)$$

При интенсивном подъеме уровня грунтовых вод, что характерно для орошаемых территорий, роль подземного оттока в водном балансе оказывается относительно небольшой (табл. 16). Она тем меньше, чем больше размеры орошаемого участка. Поэтому для ряда случаев, когда ширина орошаемого массива $2l > 2\sqrt{at}$, величину подземного оттока можно вообще не учитывать в расчетах. При этом ошибка расчетов водного баланса не будет превышать 1—3%. (В приведенном выражении t — время подъема уровня грунтовых вод до критических отметок*.)

* Критическая отметка (глубина) определяет уровень, на котором необходимо поддерживать грунтовые воды в эксплуатационный период работы системы. Обычно он равен 2,5—3 м от поверхности земли.

Таблица 16

Динамика оттока подземных вод за пределы орошаемого массива в зависимости от интенсивности подъема уровня

$\frac{\epsilon}{\mu}$, м/год	b , м	a , м ² /сут	10 лет		20 лет		30 лет		50 лет	
			Δh , м	Q , %	Δh , м	Q , %	Δh , м	Q , %	Δh , м	Q , %
0,5	1000	10	5	0	10	0	15	0	25	0
		100	4,45	0	7,8	2,7	10,6	7,0	14,8	13
		1000	2,22	28	3,46	40	4,45	48,3	6,09	57,8
	2000	10	5	0	10	0	15	0	25	0
		100	5	0	9,73	0	14,1	0	21,5	0
		1000	3,6	5,7	6,0	13,0	7,77	20,9	10,5	30,0
1,0	1000	10	10	0	20	0	30	0	50	0
		100	8,88	0	15,6	2,7	21,1	7,0	29,5	13
		1000	4,65	28	6,92	40	8,7	48,3	12,2	57,8
	2000	10	10	0	20	0	30	0	50	0
		100	9,92	0	19,5	0	28,1	0	43,0	0
		1000	7,2	5,7	12,0	13,0	15,5	20,0	31,1	30,0

В пределе при $t \rightarrow \infty$ максимальный отток подземных вод с орошаемого массива в реку

$$Q = 1 - \frac{kmH_0}{2\epsilon I b}, \quad \%, \quad (39)$$

где m — средняя мощность грунтового потока; k — коэффициент водопроводимости пласта; H_0 — превышение поверхности земли на границе орошаемого массива над уровнем воды в реке; b — расстояние от орошаемого массива до реки.

Однако практически подземный отток в реку всегда оказывается существенно меньше, чем это следует из формулы (38), что обуславливается влиянием рельефа. При расположении орошаемого массива со стороны низкой пойменной террасы величина подземного стока в реку может вообще не измениться, так как в этом случае он увеличит только площадь заболоченной территории, но не изменит условия подземного оттока в реку.

Таким образом, в каждом конкретном случае влияние орошаемого земледелия на режим и баланс подземных вод должно устанавливаться путем соответствующих исследований и расчетов. Но если касаться качественной стороны изменений гидрогеологических процессов, то общим для них является следующее. В районах с хорошей существующей дренированностью, по отношению к формирующемуся с учетом орошения площадному питанию грунтовых вод, увеличивается амплитуда колебаний уровня и напоров ниже лежащих водоносных горизонтов. В районах с недостаточной дренированностью происходит многолетний подъем уровней и напоров до их стабилизации. Причем в условиях отсутствия дренажа последний осуществляется главным образом не за счет подземного оттока и разгрузки в поверхностные водотоки, а за счет испарения и транспирации. При этом происходят следующие изменения с гидрохимическим режимом подземных вод.

В дренированных и слабодренированных областях с исходно глубоким залеганием грунтовых вод и полностью опресненной зоной аэрации усиление инфильтрационного потока практически не приводит к изменению гидрохимического режима грунтовых вод, по крайней мере до тех пор, пока грунтовые воды не поднимутся близко к поверхности земли. Для указанного периода времени можно считать гидрохимический режим грунтовых вод не изменяющимся и поэтому не требующим каких-либо расчетов в связи с его прогнозом.

В районах, характеризующихся наличием растворимых солей в породах зоны аэрации и глубоким залеганием грунтовых вод до начала орошения, усиление инфильтрационного потока сопровождается растворением солей, сорбционными процессами, в некоторой степени обменными реакциями и др. Под влиянием указанных факторов минерализация грунтовых вод повышается и в первую очередь за счет хлоридов и сульфатов.

После вытеснения из зоны аэрации наиболее растворимых солей минерализация верхних слоев грунтовых вод начинает пони-

жаться. При этом происходит смена типов химического состава грунтовых вод за счет уменьшения в них хлоридов и увеличения сульфатов и гидрокарбонатов. В течение этого периода эффективность процессов растворения снижается и увеличивается роль обменных реакций. В областях с недостаточной естественной дренированностью в результате орошения грунтовые воды могут приблизиться на столько близко к поверхности земли, что в их балансе значительную роль начнут играть процессы испарения, т. е. начнется вторичное засоление. Под влиянием испарения происходит упаривание поровых вод, что приводит к увеличению их минерализации и накоплению хлоридов и сульфатов. При значительной интенсивности указанных процессов в этот период может происходить кристаллизация солей и насыщение пород обменным натрием и магнием за счет вытеснения в раствор ионов кальция и калия [8].

За счет искусственного увеличения оттока грунтовых вод за пределы рассматриваемой территории (например, в результате строительства дренажа) в последующем может снова начаться снижение минерализации грунтовых вод. Все определяется конкретными гидрогеологическими и ирригационно-хозяйственными условиями объекта, анализ которых позволяет выявить наиболее существенные стороны процесса формирования гидрохимического режима грунтовых вод, необходимые для прогнозных расчетов. В описанных изменениях гидрохимического режима подземных вод выделены только многолетние закономерности, не учитывающие сезонную цикличность, которая в орошаемых районах при близком залегании грунтовых вод проявляется чрезвычайно интенсивно.

Общая методика прогноза гидрохимического режима грунтовых вод и порового раствора зоны аэрации приведена в работе В. А. Барона, Ю. Г. Планина [8].

В условиях исходного глубокого залегания уровня в период его многолетнего подъема, вызванного орошением, приближенный прогноз мелиорации грунтовых вод может быть осуществлен балансовым методом. При этом средняя минерализация верхних слоев грунтовых вод в процессе подъема уровня может быть найдена по следующей формуле:

$$C_i = \frac{h_0 \bar{C}_i + h_n \bar{C}_{i-1}}{h}, \quad (40)$$

где C_i — минерализация верхнего слоя грунтовых вод в i -ом году после начала орошения; \bar{C}_i и \bar{C}_{i-1} — соответственно средняя минерализация порового раствора в зоне аэрации в i -ом и $i-1$ -ом году; $h = \frac{V_0}{\mu}$ — высота подъема уровня грунтовых вод за год; V_0 — годовое инфильтрационное питание грунтовых вод; μ — недостаток насыщения (разница между пористостью n и средней объемной

влажностью пород W в зоне аэрации выше сезонных колебаний уровня);

$$h_0 = \frac{W - (10 - 15)}{n} \quad (41)$$

$$\bar{C}_1 = \bar{C}_0 - \frac{V_0(\bar{C}'_0 - C_0)}{H\bar{W} + V_0}, \quad C'_1 = \frac{\alpha\bar{W}}{10} \bar{C}_1 + \alpha(1-\alpha)\bar{C}_0;$$

$$\bar{C}_2 = C'_1 - \frac{V_0(C'_1 - C_0)}{(H-h)\bar{W} + V_0}, \quad C'_2 = \frac{\alpha\bar{W}\bar{C}_2}{10} + \alpha(1-\alpha) \times$$

$$\times \frac{\bar{W}\bar{C}_1}{10} + \alpha(1-\alpha)^2 \bar{C}_0;$$

$$\bar{C}_3 = \bar{C}_2 - \frac{V_0(C'_2 - C_0)}{(H-2h)\bar{W} + V_0}, \quad C'_3 = \frac{\alpha\bar{W}}{10} \bar{C}_3 + \alpha(1-\alpha) \times$$

$$\times \frac{\bar{W}\bar{C}_2}{10} + \alpha(1-\alpha)^2 \frac{2\bar{W}}{10} \bar{C}_1 + \alpha(1-\alpha)^3 \bar{C}_0;$$

$$\bar{C}_4 = \bar{C}_3 - \frac{V_0(C'_3 - C_0)}{(H-3h)\bar{W} - V_0},$$

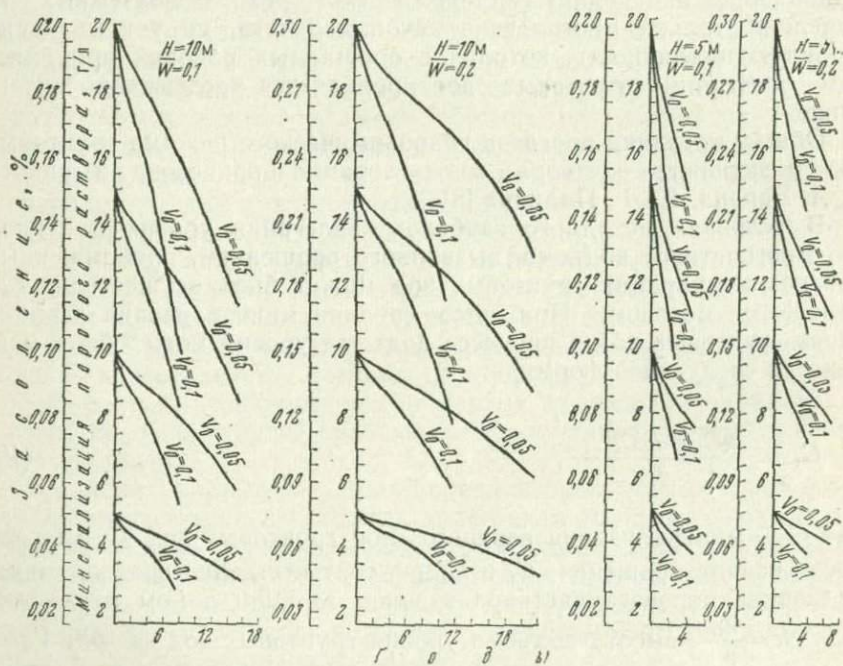


Рис. 26. Изменение засоления пород зоны аэрации и минерализации верхних слоев грунтовых вод в процессе их подъема

$$\bar{C}_i = C'_{i-1} - \frac{V_0(C_{i-1} - C_0)}{[H - (i-1)h] \bar{W} + V_0}, \quad C'_{i-1} = \frac{\alpha \bar{W}}{10} \bar{C}_{i-1} + \\ + \alpha [(1-\alpha) \bar{C}_{i-2} + (1-\alpha)^2 \bar{C}_{i-3} + \dots + (1-\alpha)^{i-1} \bar{C}_0] \frac{\bar{W}}{10}. \quad (42)$$

где \bar{C}_0 — средняя эффективная минерализация порового раствора в зоне аэрации до орошения; \bar{C} — начальное среднее содержание легко и среднерастворимых солей в зоне аэрации по данным водной вытяжки, %; C_0 — средневзвешенная минерализация оросительной воды и осадков, пополняющих грунтовые воды; H — начальная глубина залегания грунтовых вод; α — коэффициент, определяющий разницу между результатами химических анализов водной вытяжки и порового раствора ($\alpha \approx 0,3-0,5$);

$\bar{W} = W - W_2$ (W_2 — гигроскопичная влажность).

На рис. 26 приведены графики, характеризующие максимально возможную минерализацию верхних слоев грунтовых вод и засоление пород зоны аэрации в процессе подъема уровня, рассчитанные по приведенным формулам.

ЕСТЕСТВЕННЫЙ РЕЖИМ И БАЛАНС ГРУНТОВЫХ ВОД ЛЕВОБОЕРЕЖЬЯ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. ВОЛГИ

В качестве примера влияния орошения на водный режим и баланс речных бассейнов рассмотрим отдельные водосборы в пределах среднего течения р. Волги. Эта территория расположена в зоне острозасушливых степей и полупустынь. Климатические условия ее характеризуются резко континентальным климатом с разницей между средней температурой наиболее теплого и холодного месяцев в 32,6—36,8°. Максимальная температура воздуха (41°C) по многолетним данным зарегистрирована в июле на юге Заволжья. Лето отличается большим количеством ясных, знойных дней с весьма низкой влажностью воздуха, не превышающей 36%, иногда влажность снижается до 30%. Самые жаркие месяцы со среднемесячной температурой 20—22,7°C июль и август. Наибольшее количество атмосферных осадков приходится на летний период (170—200 мм). Но так как испарение за лето в 2—2,5 раза превышает количество выпадающих осадков, почвы иссушаются, что неблагоприятно сказывается на условиях жизни сельскохозяйственных культур. Большой вред посевам приносят суховеи и горячие ветры, приходящие с юго-востока и юга. В летний период с суховеями бывает до 35 дней, иногда суховеи продолжаются 3—5 дней, при этом температура воздуха возрастает до 42°C, а влажность его резко снижается.

Распределение атмосферных осадков при остром дефиците влаги неравномерное. Наибольшее количество их (372—322 мм) выпадает в долине р. Волги, в меньшем количестве (315—304 мм) в долинах рек Большой Иргиз, Большой Узень, а в степных районах количество осадков по среднеголетним данным не превышает 300 мм.

В геологическом строении описываемой территории принимают участие породы каменноугольной, пермской, юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем. На преобладающей части территории на дневную поверхность выходят отложения четвертичной и неогеновой систем и лишь на отдельных небольших участках выходят палеогеновые, верхне- и нижнемеловые породы, представленные разрушенной опокой, мергелем и глиной. Выдержанный в пространстве региональный водоупор для первого от поверхности водонасыщенного комплекса пород приурочен к неогеновым отложениям [39].

Характерной закономерностью естественного режима грунтовых вод бассейна среднего течения р. Волги является весенний подъем, обусловленный инфильтрацией талых вод, и летний спад уровня. Последний происходит под влиянием испарения (при неглубоком до 5 м залегании грунтовых вод) и разгрузки в естественные дрены.

В годы с обильными осенними осадками наблюдается второй максимум уровня в октябре—ноябре. Как правило в летний период не наблюдается зависимости между колебаниями уровня и сроками и интенсивностью выпадения осадков.

По данным Я. С. Токарева, В. И. Дугинова, В. А. Коробейникова и других, на территории Поволжья отмечается ритмичность многолетних колебаний уровня грунтовых вод с 3—4-летними и 10—11-летними циклами, соответствующая периодическим изменениям солнечной активности.

По классификации А. А. Коноплянцева [58], грунтовые воды на рассматриваемой территории относятся к типу сезонного, преимущественно весеннего и осеннего питания с сезонным промерзанием поверхности земли. Поэтому зимние осадки пополняют подземные воды только в период снеготаяния весной. Правда, не исключено что весенний подъем уровня в какой-то степени обусловлен и оттаиванием поровых вод, подтянутых к промерзающей зоне снизу в зимний период.

Тип сезонного питания подразделяется на умеренный, характеризующийся коэффициентом водного баланса 0,8—1,6, и гидрологический подтипы. Гидрологический подтип режима подземных вод распространен в пойме и частично в надпойменной террасе р. Волги, влияние паводка от которой наблюдается на расстоянии до 2 км от русла реки, волжских притоков и степных рек.

Выделенные типы и подтипы подразделяются на виды режима: приречный, террасовый и междуречный.

Приречный вид режима характерен тем, что при нем основными приходными статьями являются инфильтрация речных вод в период паводка, инфильтрация зимних осадков в весенний период, приток подземных вод с более высоких террас. Расходные части баланса — отток подземных вод в реку в меженный период и испарение.

Террасовый вид режима характеризуется водным балансом, основная роль в котором принадлежит инфильтрации атмосферных

Таблица 17

Водный баланс территории среднего течения р. Волги до орошения, мм

Элементы баланса	Месяцы												Среднее за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Осадки													
г. Маркс	28,0	17,9	21,2	24,1	30,4	21,4	36,7	38,2	27,3	32,9	26,9	24,9	339,9
г. Энгельс	36,8	29,9	21,2	21,9	38,4	32,8	33,1	42,8	25,8	35,8	33,0	30,6	376,6
среднее	32,4	23,9	21,2	23,0	31,9	32,1	34,9	40,5	28,0	34,3	30,0	27,7	357,7
Суммарное испарение	—	1,2	15,7	40,4	67,2	61,0	64,3	51,5	28,2	15,2	2,1	—	346,8
Поверхностный сток	—	—	32	10	—	—	—	—	—	—	—	—	42

Таблица 18

Прогнозный водный баланс территории Приволжской оросительной системы

Элементы баланса, мм	Месяцы												Сумма за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Атмосферные осадки *	43	33,5	34	6,2	5,6	4,4	8,7	9,2	3,4	40,5	44	42,5	277
Водоподача на орошение	26	21	25	6,2	5,6	4,4	8,7	9,2	3,4	33	34	25	202
Фильтрация из внутрихозяйственной сети	—	—	—	4	100	114	51	74	48	15	—	—	456
Суммарное испарение	—	—	—	—	2	2	1	2	2	—	—	—	9
Поверхностный сток	1	1	16	46	92	130	120	97	41	15	2	1	562
Подземный сток													27
Питание грунтовых вод *													13
													140
													65

* Первая строка с поправками к осадкомерам, вторая — без поправок.

осадков и в незначительной степени притоку с более высоких террас. Характерная для него кривая колебаний уровня качественно соответствует приречному типу режима, но весенние и осенние максимумы в террасовом виде режима существенно меньше, чем у приречного. При неглубоком залегании грунтовых вод амплитуда колебаний уровня достигает 1,6 м, а при глубоком залегании (более 10 м) она уменьшается до 0,5—0,2 м. К данному типу режима относится территория, приуроченная к надпойменным террасам долин р. Волги, ее притоков и степных рек.

Междуречный вид режима подземных вод распространен в пределах Сыртовой равнины. Источником питания их является незначительная инфильтрация атмосферных осадков, а разгрузка подземных вод осуществляется подземным оттоком. Колебания уровня здесь незначительны. Наибольший подъем отмечается в мае—июне, спад—сентябре—декабре. В пределах Сыртовой равнины выдержанный водоносный горизонт залегает на глубине 40—70 м. Но на глубине 10—20 м встречаются воды спорадического распространения типа верховодки. Кстати, верховодка встречается и на бакинской террасе.

Водный баланс в целом для среднего Заволжья характеризуется табл. 17. Осредненные за 1946—1971 гг. данные по осадкам приведены в ней по материалам наблюдений метеорологических станций, расположенных в городах Энгельс и Маркс. Суммарное испарение рассчитано Л. П. Лапшовой по методике А. Р. Константинова [63].

Приведенные в табл. 17 величины не следует рассматривать как абсолютные, отражающие динамику баланса влаги в зоне аэрации, так как ошибки в расчетах суммарного испарения могут достигать 10—20%. Они отражают скорее качественную структуру баланса, из которой следует, что пополнение запасов грунтовых вод на рассматриваемой территории может происходить в основном в весенний период, т. е. в марте—апреле. В последующем суммарное испарение существенно превышает величину атмосферных осадков и поэтому практически отсутствуют условия для пополнения запасов грунтовых вод. В период же декабря—марта верхняя часть зоны аэрации промерзает и подтягивает к себе грунтовые воды. Поэтому в этот период также отсутствуют условия для пополнения запасов грунтовых вод.

Из анализа режимных наблюдений следует, что в рассматриваемых условиях среднегодовая величина питания грунтовых вод составляет 5—15 мм.

ПРОГНОЗНОЕ ПИТАНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

Для рассматриваемой территории прогнозное питание грунтовых вод определено методом водного баланса. При этом атмосферные осадки рассчитывались следующим образом. Для вегетационного периода они взяты соответствующими году 95%-ной

обеспеченности, так как оросительные нормы для комплексного гектара рассчитаны также для года с 95%-ной обеспеченностью атмосферными осадками. Для невегетационного периода осадки приняты соответствующими году 50%-ной обеспеченности. Полученные при этом данные приведены в табл. 18. Следует отметить, что обычно в таких расчетах принимается для каждого календарного года 95%-ная ежемесячная обеспеченность осадками, что делает их в принципе нереальными. Вероятность такого года 10^{-4} — 10^{-5} . А в результате искусственно занижается инфильтрационное питание грунтовых вод.

Существенным для повышения точности гидрогеологических расчетов является решение вопроса о необходимости использования поправочных коэффициентов для показаний осадкомеров, которые рекомендуются «Климатическим справочником», но в настоящее время отвергаются производителями. Приведенные же в табл. 18 результаты расчетов свидетельствуют о том, что возникающая при этом разница практически удваивает прогнозное питание грунтовых вод.

Наибольшие сложности в настоящее время для Поволжья вызывает определение суммарного испарения, которое практически полностью обуславливает точность гидрогеологических расчетов. Определялась она Л. П. Лапшовой [63] путем оценки энергетических ресурсов территории и «биологической» активности (биологических коэффициентов) для отдельных сельскохозяйственных культур, рассчитываемой по методике С. А. Алпатьева.

Испарение за невегетационный период, т. е. за время от исчезновения снежного покрова до начала весеннего сева и от сбора урожая до установления снежного покрова, рассчитывалось по методике А. Р. Константинова.

Неопределенность в правомерности использования поправочных коэффициентов к показателям осадкомеров определяет необходимость использования логических построений для оценки прогнозного инфильтрационного питания грунтовых вод. В этой связи следует отметить, что при близком залегании грунтовых вод на территории Приволжской оросительной системы наблюдается ежегодный весенний подъем уровня в среднем на 0,35 м. При недостатке насыщения песков, равном 0,1—0,15, такой подъем определяет 40—50 мм инфильтрационного питания. Оно соответствует и результату расчета водного баланса для зимне-весеннего периода (декабрь и март): осадки за зимний период 97 мм; испарение 19 мм; поверхностный сток 27 мм; питание грунтовых вод 51 мм.

Нет оснований предполагать, что при орошении инфильтрационное питание окажется меньше. Наоборот, в связи с подъемом уровня оно может стать только больше. Кроме того, осенние влагозарядные поливы со средней нормой 57 мм на комплексный гектар практически следует рассматривать как дополнительное атмосферное питание в зимний период, так как полив проводится перед самыми заморозками. Поэтому с учетом поливов инфильтрационное

питание грунтовых вод, следуя приведенным рассуждениям, может достигнуть 100 мм/год.

Предположение о том, что планируемые 500 м³/га поливы не могут привести к пополнению запасов грунтовых вод, не подтверждается имеющимися экспериментальными данными даже при тяглом глинистом разрезе зоны аэрации.

Динамика почвенного давления и влажности в пределах опытного участка на Сыртовой равнине (в районе пос. Гражданского уровень грунтовых вод более 15 м), где в 1971 г. В. В. Байлиным был проведен ряд экспериментальных поливов, свидетельствует о том, что в интервале глубин 0,9—1,5 м находится «мертвый» горизонт, из которого влага практически не поступает к дневной поверхности. В этом интервале градиент почвенного давления в течение всего летнего периода наблюдений направлен вниз и поэтому порывая вода из него может двигаться только вниз (естественно это не касается парообразной влаги).

В табл. 19 приведены данные расчетов по количеству влаги, поступающей за счет отдельных поливов или дождей в рассматриваемый период времени, полученные исходя из условия, что вся влага ниже «мертвого» горизонта пополняет грунтовые воды.

Таблица 19
Результаты определения инфильтрации грунтовых вод

Показатель	1—4/VI	11—14/VI	10—12/VII	14—18/X	12—22/XI
Поливная норма, м ³ /га	600—650	650—700	500	600	750
Питание грунтовых вод, м ³ /га	110	170	60	200	200

Из данных табл. 19 следует, что даже при поливах 500 м³/га в грунтовые воды может поступить 60 м³/га от каждого полива. Хотя, естественно, эта цифра не может быть стабильной. В зависимости от распределения осадков и их количества в предполивной период она может увеличиться или уменьшиться.

Только при наличии многолетних подобных наблюдений можно будет уточнить приведенные предварительные сведения. Если же опираться на данные табл. 19, то среднегодовое дополнительное питание грунтовых вод за счет орошения в вегетационный период даже на Сыртовой равнине может составить 40—45 мм/год.

Таким образом, в соответствии с балансовыми расчетами (см. табл. 18) годовое инфильтрационное питание грунтовых вод может достигнуть 65—140 мм. Логические рассуждения приводят к тому, что оно не может оказаться меньше 100 мм/год. Последнее значение и является расчетным для прогнозов режима уровня. На отдельных засоленных участках, где планируются периодические профилактические поливы инфильтрационное питание грунтовых вод естественно увеличивается.

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА РЕЖИМ И БАЛАНС ГРУНТОВЫХ ВОД МАЛЫХ ВОДОСБОРОВ (НА ПРИМЕРЕ ПРИВОЛЖСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ)

Природные условия и их схематизация*. Приволжская оросительная система (ПОС) располагается в пределах Марковского, Советского и Энгельсского районов Саратовского Заволжья. Территория ограничена левыми притоками р. Волги: с севера и востока р. Малой Караман, с юга и запада — р. Большой Караман. Низменная равнина, плавно поднимающаяся в сторону р. Волги, пересекается правыми притоками р. Большой Караман: Лизень, Суслы, Мечетки. Рельеф территории сформирован в результате новейших тектонических движений, вызвавших колебания уровня Каспийского моря и активную аккумулятивно-эрозионную деятельность р. Волги и ее притоков в неоген-четвертичное время [39]. В долине р. Волги, где располагается основная площадь рассматриваемой оросительной системы, выделяются современная пойма и пять надпойменных террас. На юго-востоке территории расположен участок эрозионной поверхности Сыртовой равнины (рис. 27). В ее пределах вся неоген-четвертичная толща представлена чередованием глины, суглинков, супесей и песков и характеризуется отсутствием выдержанного регионального водоупора (рис. 28). Поэтому она объединяется в единый плиоцен-четвертичный гидрогеологический ярус.

Анализ изменчивости литологического состава вмещающих пород и их проницаемости позволяет в пределах рассматриваемой территории моделировать гидрогеологические процессы на базе однослойной и двухслойной моделей. При этом в качестве водоупора приняты неогеновые глины.

Территория современной поймы, хвалыньских, хазарских и частично бакинской террас, где на мощной толще четвертичных песков лежат супесчано-суглинистые отложения с коэффициентом фильтрации 0,1—0,7 м/сут, схематизировалась как однослойный пласт с проводимостью 40—300 м²/сут (см. рис. 27). Недостаток насыщения выбирался в зависимости от литологического состава пород, в пределах которых происходил подъем уровня. При этом для суглинков он принимался равным 0,08, а для песков 0,2.

Озерно-аллювиальная хазарская терраса и Сыртовая равнина, представленные здесь с поверхности 5—10-метровой толщиной суглинков, подстилаемых слабопроницаемыми глинами с коэффициентом фильтрации 10^{-4} — 10^{-5} м/сут также схематизировались как однослойный пласт. Кстати, анализ профильных моделей показал, что если бы при расчетах проницаемость глин учитывалась и в модель были включены апшеронские пески, то это привело бы

* Раздел написан совместно с А. Ф. Савельевым.

к уменьшению расчетной скорости подъема уровня грунтовых вод на 5—15%.

Большая часть бакинской террасы, где во вмещающей толще пород встречается слой глин мощностью до 10 м, схематизируется как двухпластовая система с коэффициентом фильтрации разделяющего слоя равным 10^{-4} м/сут (см. рис. 28).

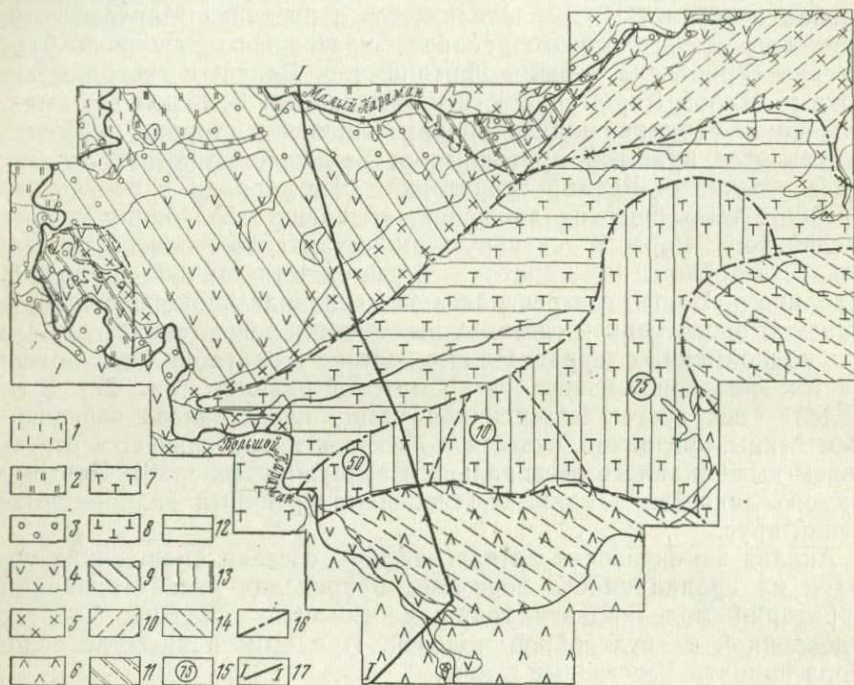


Рис. 27. Геоморфологическая карта Приволжской оросительной системы с характеристикой водопроводимости первого от поверхности водоносного горизонта.

1 — aQ_{IV} , пойма р. Волги; 2 — $aQ_{III}hv_3$, первая надпойменная терраса; 3 — $aQ_{III}hv_2$, вторая надпойменная терраса; 4 — $aQ_{III}hv_1$, третья надпойменная терраса; 5 — $aQ_{II}hz$, четвертая аллювиальная терраса; 6 — $laQ_{II}hz$, четвертая озерно-аллювиальная терраса; 7 — aQ_Ib , пятая надпойменная терраса; 8 — *Nzap*, Сыртовая равнина. Водопроводимость: 9 — 300 м²/сут; 10 — 150 м²/сут; 11 — 100 м²/сут; 12 — 40 м²/сут; 13 — 10 м²/сут; 14 — 5 м²/сут; 15 — водопроводимость водоносного горизонта четвертичных отложений, залегающего под слабопроницаемым слоем с $k=10^{-4}$ м/сут; 16 — границы зон с разной водопроводимостью; 17 — линия геолого-гидрогеологического разреза

В качестве границ рассматриваемой области в плане приняты реки Большой и Малый Караман и Суслы, которые являются границами первого рода. Несовершенство их ложа по степени вскрытия пласта определяется дополнительным сопротивлением в 250—750 м.

Ниже приведены результаты прогноза уровня грунтовых вод, полученные в результате решения плановой нестационарной задачи на интеграторе УСМ и профильных нестационарных задач.

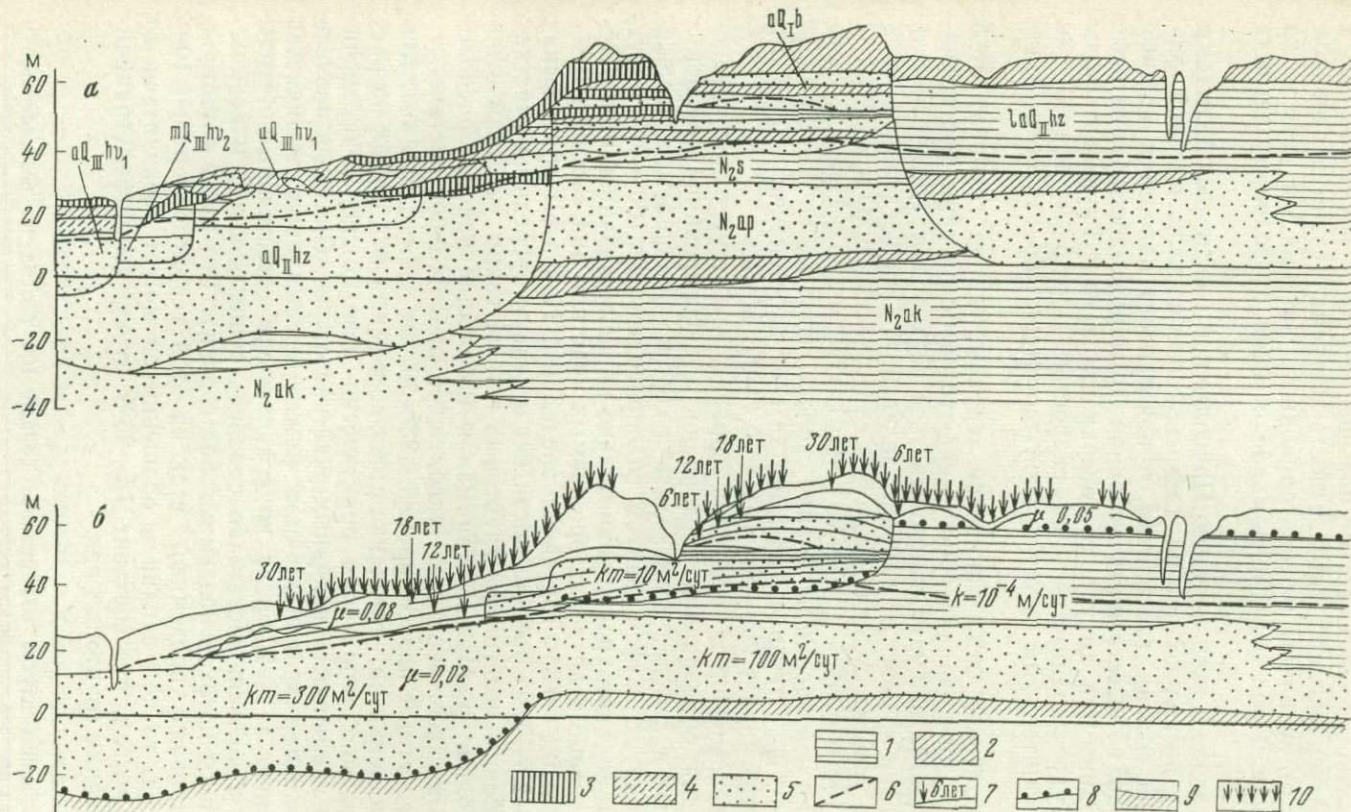


Рис. 28. Фактический (а) и схематизированный (б) геолого-гидрогеологические разрезы по линии 1—1.

1 — глины; 2 — суглинки тяжелые; 3 — суглинки легкие; 4 — супеси; 5 — пески; 6 — уровень грунтовых вод и верховодки в естественных условиях; 7 — прогнозный уровень грунтовых вод и верховодки; 8 — поверхность, принятая за водоупор в плановой задаче; 9 — поверхность, принятая за водоупор в профильных задачах; 10 — искусственное инфильтрационное питание

В существующих условиях дренированности под влиянием орошения начнется повсеместное повышение уровня грунтовых вод и развитие верховодки. Интенсивность подъема уровня в основном зависит от величины инфильтрационного питания* и недостатка насыщения пород и в очень малой степени от водопроницаемости пласта.

При вводе в эксплуатацию Приволжской оросительной системы в первые несколько лет на хазарской озерно-аллювиальной террасе и на сыртах, где близко от поверхности находятся мощные слои глин в естественных условиях дренированности, грунтовые воды поднимутся до уровня поверхности земли. Грунтовые воды здесь будут подниматься со скоростью 1—1,5 м в год, так как горизонтальный отток на этой территории практически отсутствует.

На большей части бакинской террасы, где на глубинах от 5 до 20 м в зоне аэрации прослеживаются прослои глин, под поливными участками будет образовываться верховодка. Интенсивность ее развития зависит от глубины залегания. При неглубоком залегании ее уровень будет повышаться со скоростью порядка 1,3 м/год при $\epsilon=100$ мм/год и до 2 м/год при $\epsilon=140$ мм/год. При глубоком залегании верховодки начальная скорость подъема ее уровня будет такой же, но с течением времени за счет перетекания и бокового растекания начнет уменьшаться до 0,4—0,6 м/год.

На хвалынской и хазарской террасах, где отсутствуют предпосылки для образования верховодки и формирование горизонта грунтовых вод будет происходить в хорошо проницаемых отложениях пласта с коэффициентом водопроницаемости 100—300 м²/сут, скорость подъема уровня значительно меньше указанной выше. Непосредственно в пределах орошаемых участков она составит 0,3—1 м/год и 0,1—0,3 м/год за их пределами. При этом критических глубин (2,5—3 м) уровень достигнет в первую очередь на участках с неглубоким залеганием грунтовых вод. К таким участкам относятся долина р. Малый Караман и небольшие районы, расположенные на северо-востоке Приволжской оросительной системы.

В расчетный период времени 25—30 лет проследить за влиянием орошения на увеличение стока подземных вод в реки на рассматриваемой территории практически невозможно из-за значительной удаленности поливных участков от рек. Однако в пределе (при больших временах) сток может максимально увеличиться всего лишь в 2—2,5 раза по сравнению с естественным (чтобы в этом убедиться, достаточно сравнить существующие и возможные уклоны потоков подземных вод в реки). Так как в естественных условиях подземный сток на этой территории равен 10—15 мм/год, то под влиянием орошения он может увеличиться до 20—30 мм/год, что составит 15—20% от суммы инфильтрационного питания грунтовых вод.

* В данном случае она принята равной 100 мм/год на незасоленных и 150 мм/год на засоленных участках.

Зависимость оттока подземных вод от скорости подъема уровня при $b=4000$ м

$\frac{e}{\mu}$, м/год	a , м ² /сут	5 лет		10 лет		15 лет		20 лет	
		Δh , м	Q , %	Δh , м	Q , %	Δh , м	Q , %	Δh , м	Q , %
0,5	10	2,5	0	5,0	0	7,5	0	10,0	0
	100	2,5	0	5,0	0	7,25	0	9,6	0,01
	1000	2,5	0	3,5	6,0	4,65	13,0	5,76	17,0
1,0	10	5,0	0	10,0	0	15	0	20	0
	100	5,0	0	10,0	0	14,7	0	19,2	0,01
	1000	5,0	0	7,0	6,0	9,3	13,0	11,52	17,0

Обусловлено указанное положение тем, что на поливных участках, как правило, занимающих большие площади (500—1000 га и более), подземный отток составляет небольшую долю от общей величины площадного питания грунтовых вод (табл. 20). Так, расчеты по уравнениям (36) и (37) показывают, что при супесчано-суглинистом и тем более глинистом строении водоносного пласта, к моменту подъема уровня до критических отметок (2—3 м от поверхности земли), за пределы орошаемой территории успевает вытечь только небольшая часть инфильтрационного питания грунтовых вод. В рассматриваемом случае при водопроницаемости пласта 100—150 м²/сут и ширине хвалыных и хазарских террас 8—10 км получается, что при $\frac{e}{\mu} = 0,6—0,7$ м в средней части орошаемого

массива подъем уровня на 10—15 год орошения составит соответственно 6—7 и 19—22 м, а отток подземных вод на эти сроки окажется равным 0,1 и 11%. Но, как видно из рис. 28, уровни гораздо скорее достигнут дневной поверхности (на большей части территории через 20—25 лет), и к этому времени $\bar{Q} \approx 0,98\%$, т. е. только примерно 2% от площадного инфильтрационного питания успеет профильтроваться за пределы орошаемого массива к этому моменту.

Как только уровни достигнут критических глубин, так их необходимо будет регулировать с помощью дренажа. Иначе начнутся процессы заболачивания и засоления территории. В этой связи дальнейший рост потерь с орошаемых массивов в стороны прекратится и отток в стороны составит в пределе (при больших временах) максимум

$$\bar{Q} = \frac{kTH_0}{\varepsilon l (b_1 + \Delta l)}, \quad \% \text{,} \quad (43)$$

где H_0 — превышение уровня грунтовых вод на орошаемом массиве над горизонтом воды в реке; Δl — дополнительное сопротивление на несовершенство реки по степени вскрытия пласта.

В качестве примера можно указать, что если бы рельеф территории хвальнской и хазарской террас был ровным, то в конечном счете в реку Малый Караман попадало бы $\sim 30\%$ от инфильтрационного питания с орошаемых полей (при $kt = 300 \text{ м}^2/\text{сут}$), а с бакинской террасы в р. Суслы $\sim 5\%$. На самом же деле из-за неровной поверхности земли и интенсификации процессов испарения этот расход оказывается существенно меньше. Расчеты показывают, что при увеличении инфильтрационного питания грунтовых вод всего лишь на 30 мм/год только 10% территории окажутся обеспеченными естественным оттоком, а на всей остальной площади увеличивающееся питание грунтовых вод должно перехватываться систематическим дренажем и поэтому не может попасть в виде подземной составляющей в речной сток. При увеличении инфильтрации площадь обеспеченная естественным оттоком подземных вод существенно сократится. Поэтому в большинстве случаев увеличение выклинивания подземных вод в реки за счет орошения практически соизмеримо с точностью гидрогеологических расчетов.

Из изложенного следует, что орошение на рассматриваемой территории приведет к существенному изменению режима уровня грунтовых вод. В первые годы под влиянием увеличивающегося инфильтрационного питания уровни начнут повсеместно подниматься, сохраняя элементы небольших сезонных колебаний. При подходе уровней к отметкам заложения систематического дренажа режим стабилизируется. Среднегодовые отметки уровня в зоне влияния горизонтального дренажа окажутся на глубинах $2,5 \text{ м}$, с подъемом их в весенний период до $1,5\text{--}2,0 \text{ м}$ и снижением к осени—зиме до $2,2\text{--}2,4 \text{ м}$. Динамика минерализации верхних слоев грунтовых вод и засоления пород зоны аэрации определена графиками, приведенными на рис. 26.

Таким образом орошение на рассматриваемой территории приведет к существенному изменению режима и баланса подземных вод. Увеличение инфильтрационного питания грунтовых вод не приведет к существенному увеличению подземного стока. Он может увеличиться максимум на $10\text{--}20 \text{ мм}$ в год с 1 га . Остальная часть инфильтрационного питания должна отводиться дренажем. Дренажные воды в количестве $100\text{--}130 \text{ мм/год}$ с 1 га в случае сброса их в реки естественно можно рассматривать как дополнительные водные ресурсы, но эти воды будут характеризоваться повышенной минерализацией до $2\text{--}3 \text{ г/л}$.

Неизбежным последствием орошения является подъем грунтовых вод, который обуславливает увеличение статических запасов подземных вод. Величина их может быть определена как разность между суммарным площадным питанием грунтовых вод и оттоком в гидрографическую сеть. В условиях Приволжской оросительной системы, в частности, увеличение статических запасов составило $(1\text{--}1,5) \cdot 10^8 \text{ м}^3$ воды.

Укажем ниже объемы дренажа, необходимые для регулирования уровня грунтовых вод в рассматриваемых условиях.

Природные условия большей части территории, где в первую очередь следует ожидать быстрого подъема уровня грунтовых вод и верховодки до критических отметок, исключают возможность применения вертикального дренажа в силу приуроченности грунтовых вод к породам с очень низкой водоотдачей. Этим определяется необходимость строительства здесь систематического горизонтального дренажа. Результаты расчета горизонтального дренажа приведены в табл. 21.

Таблица 21

Результаты расчета систематического горизонтального дренажа на территории Приволжской оросительной системы

Водопроницаемость слоя, м ² /сут		Расстояния между дренами, м, при режиме		Водопроницаемость слоя, м ² /сут		Расстояния между дренами, м, при режиме	
(km) ₁	(km) ₂	стационарном	нестационарном	(km) ₁	(km) ₂	стационарном	нестационарном
2,45	—	60	80	0,1	3	115	120
2,8	40	310	350	1,5	—	80	100
7,2	—	280	300	4,5	—	200	250
1,3	—	80	100	0,2	45	80	60
5,2	—	240	150	1	25	370	400
0,6	16	160	190	1,4	—	80	100

При этом для условий стационарной фильтрации величина действующего напора принималась равной 0,4 м, а величина инфильтрационного питания задавалась $2,97 \cdot 10^{-4}$ м/сут на участках, где дополнительные промывки не планируются, и $4,52 \cdot 10^{-4}$ м/сут на участках с дополнительными промывными поливами, глубина дрен 3 м.

Поскольку из указанных величин питания большая часть расхода планируется в сравнительно короткие промежутки времени, то оценена эффективность работы дренажа в экстремальные периоды. В этой связи рассмотрена интенсивность сработки уровня грунтовых вод за период с конца марта до начала июля после его весеннего подъема за счет инфильтрационного питания в количестве 50 мм слоя воды. На участках с планируемыми промывками дополнительно рассмотрена сработка уровня грунтовых вод при 100 мм питания за три осенних месяца. Расчет производился по формулам С. Ф. Аверьянова (для однородного пласта) и А. Я. Олейника (для двухслойного пласта).

Оказалось, что в большинстве случаев сработка уровня за экстремальные периоды может происходить при больших значениях междренних расстояний, чем те, которые рассчитаны для постоянного среднегодового питания. Однако при этом в среднегодовом разрезе дренажи будут обеспечивать проектный дренажный модуль при больших значениях действующего напора ($\Delta h = 0,8$ м для схемы однородного пласта и 0,5 м для схемы двухслойного пласта), принятых при расчетах междренних расстояний для стационарной фильтрации.

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА РЕЖИМ И БАЛАНС ГРУНТОВЫХ ВОД В ПРЕДЕЛАХ ЧАСТИ ВОДОСБОРА р. ВОЛГИ *

Волковская оросительная система расположена в пределах Саратовского Заволжья в междуречье Волги, Большого Иргиза, Большого и Малого Караманов и Большого Кушума, в пределах хвалынской, хазарской и бакинской террас р. Волги, сложенных современными и древними аллювиальными песчано-глинистыми отложениями, и на сыртовой равнине, сложенной неогеновыми глинами.

В естественных условиях в пойме и на первых надпойменных террасах грунтовые воды находятся на глубинах 3—5 м, а на бакинской террасе и сыртах — 20—40 м. На бакинской террасе и особенно сыртах встречается верховодка на глубине от 2 до 10—12 м. В естественных условиях фильтрационное питание грунтовых вод составляет 10—20 мм/год.

Орошение рассматриваемой территории планируется осуществить в три очереди водой из р. Волги, водозабор из которой должен быть реализован магистральным каналом длиной 85 км, глубиной 4 м и шириной по дну 8 м.

Вся распределительная внутрихозяйственная сеть осуществляется закрытыми трубопроводами диаметром 200 мм с расходом 70 л/с. Продолжительность работы оросительной сети 138—169 сут в году. Полив планируется осуществлять дождевальными установками «Фрегат» и «Волжанка». Средневзвешенная оросительная норма для различных севооборотов (пшеница, ячмень, кукуруза, травы, кормовая свекла) изменяется от 4000 до 5000 м³/га, включая влагозарядковый полив 700—1000 м³/га.

Соответствующий принятому режиму орошения водный баланс с учетом поправок к показаниям осадкомера приведен в табл. 18.

Гидрогеологические условия территории Волжской и Приволжской оросительных систем аналогичны. Общее представление о них можно получить из гидрогеологического профиля I—I (рис. 29—30). Неоднородность вмещающих пород на рассматриваемой территории в разрезе схематизируется путем представления водоносного горизонта в виде однопластовой или двухпластовой системы.

1. Двухпластовая система с отдельным слоем, представленным глинами апшеронского яруса неогена с коэффициентом фильтрации $3,5 \cdot 10^{-5}$ м/сут. Эти глины отделяют покровную суглинистую толщу и заключенные в ней спорадически распространенные грунтовые воды от основного водоносного горизонта проводимостью 100—300 м²/сут. В плане этот тип гидродинамической структуры приурочен к контуру распространения апшеронских глин (бакинская терраса и Сыртовая равнина, см. рис. 30).

2. Однопластовая двухслойная система. В этом случае верхняя часть разреза сложена преимущественно легкими и средними

* Раздел составлен совместно с А. Ф. Савельевым.

суглинками. К нижней части покровной толщи они замещаются тяжелыми суглинками с прослоями глин. Средняя проницаемость их характеризуется коэффициентом фильтрации 0,05 м/сут. Основной водоносный горизонт с уровнем в пределах менее проницаемой покровной толщи, приурочен к хазарским пескам, коэффициент фильтрации которых изменяется в пределах 7,8—6,3 м/сут. Еще

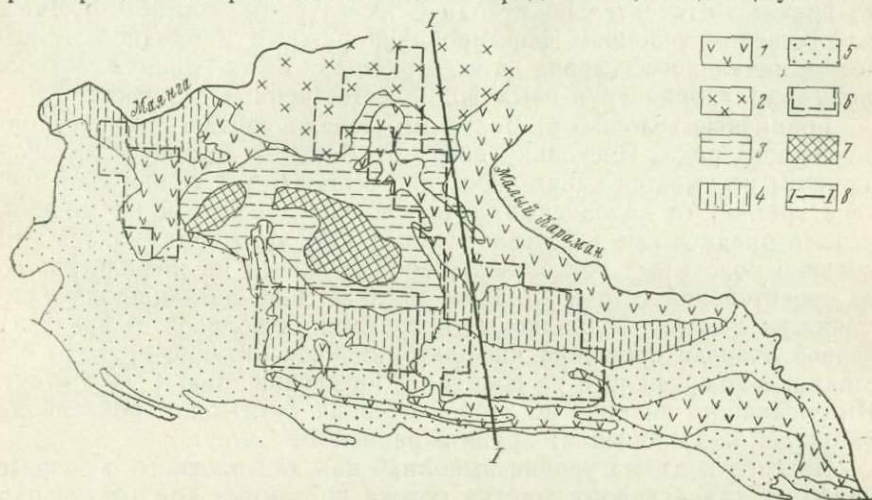


Рис. 29. Схематическая карта водопроводимости покровных отложений Волковской оросительной системы.

Водопроводимость: 1—3,5 м²/сут; 2—7,0 м²/сут; 3—15,5 м²/сут; 4—30 м²/сут; 5—44 м²/сут; 6—контуры орошаемых участков (схематизированные); 7—непроницаемые отложения; 8—гидрогеологический профиль

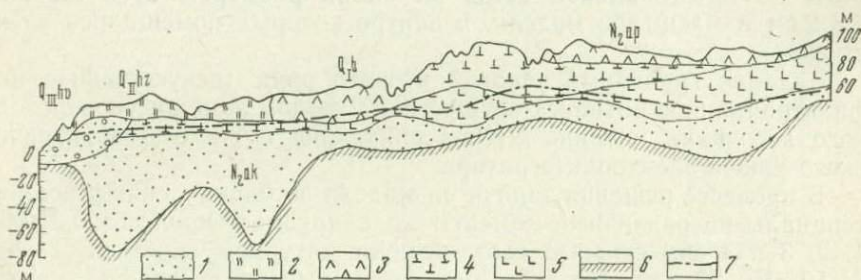


Рис. 30. Гидрогеологический профиль I—I.

Коэффициенты фильтрации и литология пород: 1—7 м/сут, пески; 2—0,5 м/сут, суглинки легкие; 3—0,1 м/сут, суглинки средние; 4—0,05 м/сут, суглинки тяжелые; 5— $3,3 \cdot 10^{-4}$ м/сут, глины; 6—кровля водоупора; 7—естественный уровень грунтовых вод

ниже по разрезу залегают пески акчагыла с коэффициентом фильтрации 1,7—10 м/сут. Общая мощность водоносного горизонта 50—70 м.

3. Однородная система. К ней отнесен безнапорный водоносный горизонт, распространенный преимущественно в пределах низких террас долины Волги. Грунтовый поток здесь заключен

в песчаных отложениях хазарского возраста. Коэффициент фильтрации песков 7—20 м/сут, перекрывающих их суглинков 0,8—1,0 м/сут.

Прогноз изменения глубин залегания грунтовых вод под влиянием орошения осуществлен методом суперпозиции. Поэтому на модели воспроизводились только изменения уровня грунтовых вод во времени относительно исходной их глубины, соответствующей до орошения условиям формирования режима и баланса. В качестве начального условия по всей площади была принята глубина залегания уровня грунтовых вод в естественных условиях.

Граничные условия: р. Волга на модели соответствует границе первого рода. Поскольку вверх от Волги в сторону Сыртовой равнины не имеется каких-либо явно выраженных гидрогеологических границ, то водоносный пласт, воспроизведенный на модели, рассматривался как полуограниченный. При этом принималось, что питание подземных вод определялось потерями на инфильтрацию из оросительной сети и каналов, а также инфильтрационного питания за счет влагозарядковых и промывных поливов. В пределах первой очереди орошения инфильтрационное питание принято постоянным по профилю и во времени с интенсивностью $4 \cdot 10^{-4}$ м/сут. Интенсивность питания по второй очереди (учитывая сроки ввода площадей под орошение) принята равной 10^{-4} м/сут.

Прогноз подъема уровня выполнен как для плоского в разрезе наиболее характерного участка потока подземных вод (отдельная линия тока по направлению $I-I$), так и в целом для всей рассматриваемой территории.

При моделировании плановой задачи искусственное питание на участках орошения задавалось дискретно. Для этого они были разбиты по ортогональной сетке на блоки размером 2×2 км или 4×4 см в масштабе модели, в центре которых помещались электроды.

Задание граничных условий второго рода (искусственное инфильтрационное питание) осуществлялось при помощи универсального источника питания УИП-1 синхронно с работой электрического ключа электроинтегратора.

В процессе решения задачи на модели по блокам снимались потенциалы на различные моменты моделируемого процесса 0,2 мкс, 1, 2, 3 и 4 мл. сек, что соответствует натурному времени 1 год, 5, 10, 15, 20 лет. По этим результатам были построены карты повышения уровня грунтовых вод, вызванного орошением на соответствующие сроки.

Отличие в фильтрационных схемах рассмотренных планового и профильного потоков заключается в различной детализации моделируемой изменчивости хорошо проницаемой части водоносного горизонта.

При моделировании потока по линии $I-I$ водопроводимость нижнего песчаного слоя задавалась в пределах 140—900 м²/сут (см. рис. 30) в соответствии с наблюдаемой изменчивостью. А при моделировании плановой фильтрации она была принята постоян-

ной во всей области, равной $500 \text{ м}^2/\text{сут.}$ (Эта величина примерно соответствует средней водопроницаемости пласта). Несмотря на указанное различие в фильтрационных схемах результаты расчетов оказались сопоставимыми между собой. Отклонения в уровнях при моделировании планового и одномерного потока в сопоставимых точках территории не превышали 30%.

Анализ полученных материалов свидетельствует о том, что орошение на рассматриваемой территории обуславливает повсеместный подъем уровня (рис. 31, 32).

Благодаря дренирующему влиянию р. Волги подъем грунтовых вод до критических глубин залегания на территории первой очереди орошения в первые 20 лет наблюдаться не будет. Исключением должны явиться области с наличием или возможным образованием верховодки, где в первые 10—15 лет орошения уровни грунтовых вод могут достигнуть критических отметок.

В пределах орошаемой территории Бакинской террасы и Сыртовой равнины скорость подъема уровня будет полностью зависеть от интенсивности инфильтрации и исходной глубины залегания уровня грунтовых вод. Наличие постоянного горизонта грунтовых вод спорадического распространения и неблагоприятные условия для оттока грунтовых вод могут обусловить повсеместный подъем

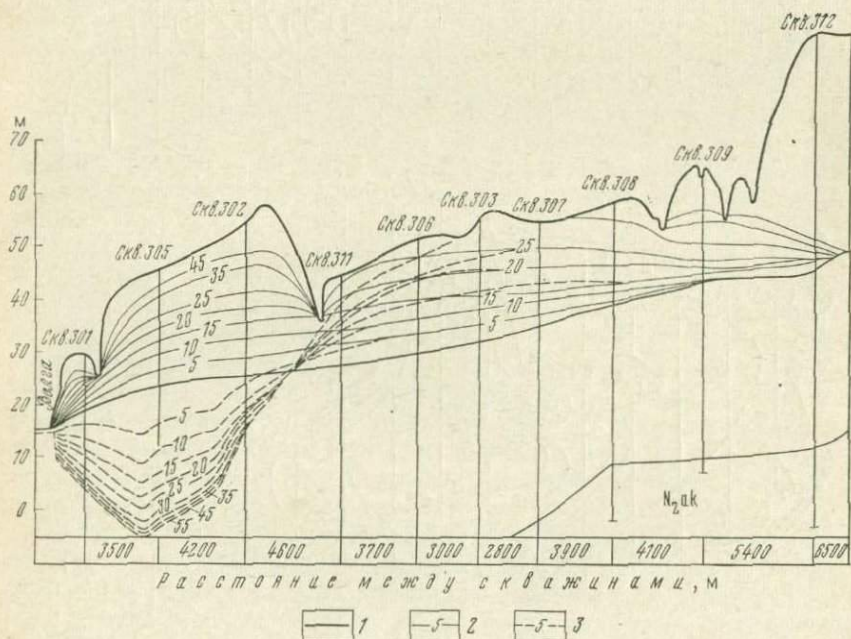


Рис. 31. Изменение уровня грунтовых вод по профилю I—I.

1 — исходное залегание уровня грунтовых вод; 2 — повышение уровня грунтовых вод под влиянием орошения за 5 лет; 3 — понижение уровня грунтовых вод под влиянием водозабора за 5 лет

уровня грунтовых вод до критической глубины в первые 5—10 лет, что вызовет необходимость ввода дренажа.

На хвалынских и хазарских террасах р. Волги, в пределах которых прослеживается единый водоносный горизонт, подъем уровня грунтовых вод будет происходить со скоростью 0,6—0,7 м/год и на отдельных участках до 1—1,2 м/год (в зависимости от величины недостатка насыщения обводняемой толщи пород). Скорость подъема уровня грунтовых вод на бакинской террасе и Сыртовой равнине практически не зависит от горизонтальных составляющих формирующихся потоков. В основном она определяется только ве-

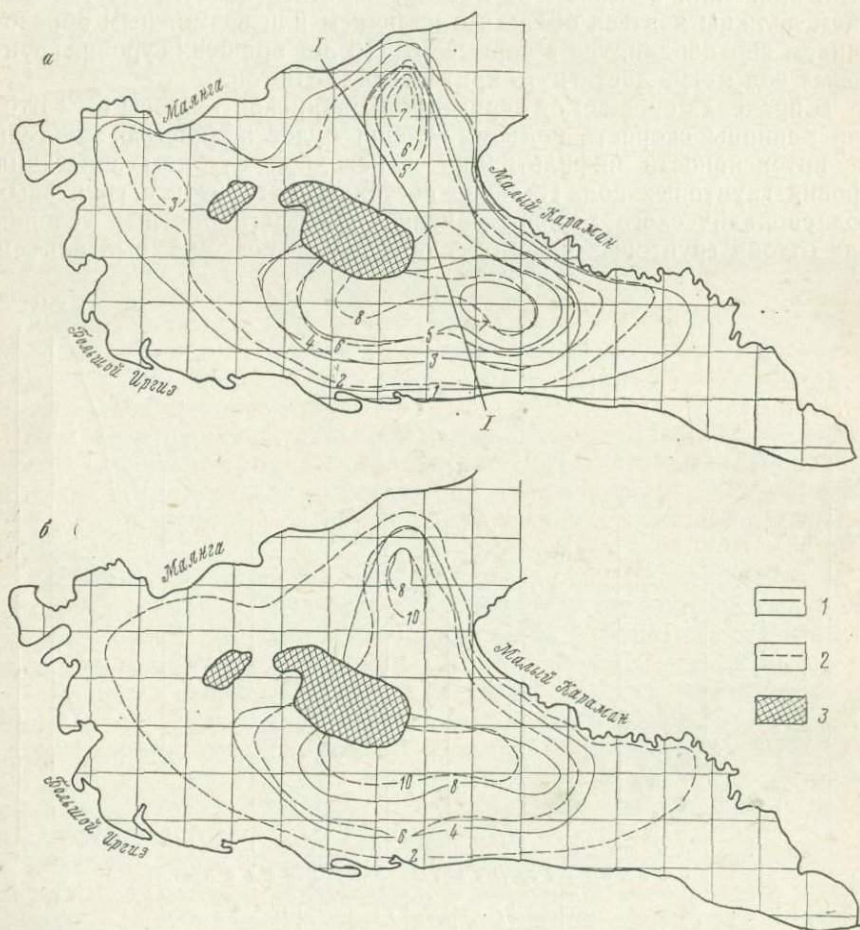


Рис. 32. Динамика подъема уровня грунтовых вод в пределах Волковской оросительной системы.

1 — гидроизогипсы подъема уровня грунтовых вод (в м) через 5 лет (а) и через 15 лет (б) после начала орошения; 2 — то же, через 10 лет (а) и через 20 лет (б); 3 — непроницаемые отложения

личинной инфильтрационного питания и недостатком насыщения пород зоны аэрации, при определении которой следует учитывать «защемленный» воздух, составляющий 4—6% от объема породы.

Несмотря на интенсивный подъем грунтовых вод, на рассматриваемой территории существенного увеличения подземного стока в гидрографическую сеть ожидать не следует. Об этом убедительно свидетельствуют например, данные, приведенные на рис. 31.

Очевидно, что в данных условиях максимальное дренирующее влияние на поток подземных вод оказывает р. Волга, уклоны грунтовых вод к которой до орошения составляют около одной тысячной. При максимально возможном подъеме уровня здесь в результате орошения градиенты потока увеличатся не более чем в 1,5—1,7 раза. Следовательно, на такую же величину максимум может увеличиться и подземный сток. Таким образом, если в естественных условиях величина подземного стока в долине р. Волги была равной 5—10 мм/год с 1 га, то в условиях орошения она увеличится всего лишь до 10—15 мм/год. При этом указанное увеличение произойдет в том случае, если на орошаемой территории для регулирования режима подземных вод будет использован не вертикальный, а систематический горизонтальный дренаж.

Гидрогеологические условия хвалыньских и хазарских террас р. Волги оказываются благоприятными для строительства в их пределах скважин вертикального дренажа и одновременного использования дренажных вод на орошение. При этом максимальный дебит этих скважин может достигнуть 80 л/с на 1 км фронта дренирования по долине и средней продолжительности работы водозаборов по 130—150 дней в году. Увеличение водоотбора невозможно из-за осушения пласта и отрыва кривой депрессии от русла реки.

Наиболее эффективным оказывается размещение скважин в виде двух рядов с расстояниями между рядами 1,5 км (см. рис. 31). При их работе уровень грунтовых вод в долине р. Волги начнет интенсивно понижаться. Максимальное понижение уровня за первые пять лет работы водозабора достигнет 8,5 м, за 20 лет — около 20 м, за 35 лет — более 25 м. Однако, несмотря на непрерывное снижение уровня грунтовых вод и дальнейшее развитие депрессионной воронки, истощения водоносного горизонта ожидать не следует, так как большую роль в восполнении запасов будут играть перетоки со стороны р. Волги.

В то же время влияние водозабора на формирование режима уровня грунтовых вод в пределах второй и третьей очередей орошения (бакинская надпойменная терраса и Сыртовая равнина) не проявится. Таким образом, в случае строительства водозаборов на хвалыньских и хазарских террасах, территории которых входят в первую очередь орошения, дренаж не требуется. Исключением могут явиться области орошения, гидрогеологические условия которых благоприятны для образования верховодки.

Подъем уровня будет отмечаться также в районах первой очереди орошения, расположенных восточнее гор Три-Мара и Урас. Ежегодный подъем здесь будет составлять 0,6—0,7 м.

Однако при дренировании подземных вод с помощью вертикального дренажа им будет не только перехвачен подземный сток в реку, но и захвачена часть речного стока. Дебит скважин окажется состоящим соответственно на 15—20% из подземного притока со стороны бакинской террасы, 30—40% из местного инфильтрационного питания, а остальная часть — приток воды из р. Волги.

Динамика минерализации грунтовых вод и засоления пород зоны аэрации в процессе подъема уровня при орошении определена графиками, приведенными на рис. 26.

ГЛАВА V

ВЛИЯНИЕ ГОРНОРУДНЫХ РАБОТ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И МЕТОДЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Горнорудные работы как в Советском Союзе, так и в мировом масштабе непрерывно развиваются. Известно, что в настоящее время ежегодный прирост мировой горной промышленности составляет в среднем 5—8%. За каждые 15 лет объем добычи полезных ископаемых увеличивается примерно вдвое. В СССР прогнозы развития горной промышленности до 2000 г. показывают, что объемы горного производства будут возрастать несколько быстрее. При этом намечается заметный рост открытых работ.

Развитие горнорудных работ вызывает изменение природной обстановки в районах этих работ и в частности существенное изменение гидрогеологических условий.

ПРОЦЕССЫ, РАЗВИВАЮЩИЕСЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И В УСЛОВИЯХ КРУПНОГО ОТБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Особенности изменения природных условий при эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых. Освоение и эксплуатация крупных месторождений и целых бассейнов полезных ископаемых всегда ведет к существенному нарушению естественной природной обстановки. В ряде случаев эти изменения имеют региональный характер, в особенности когда глубины разработок характеризуются десятками и сотнями метров, а производительность водоотбора исчисляется сотнями литров в секунду, а в ряде случаев и кубическими метрами в секунду.

При открытых горных работах из недр земли извлекаются большие количества грунта. Образуются выемки и отвалы вокруг них, которые резко меняют рельеф дневной поверхности, причем эти изменения обычно соизмеримы с площадью разработок. Отмеченные изменения сопровождаются повышением фильтрационных свойств водоносных пород и разделяющих их относительно малопроницаемых пород.

Воздействие карьерных разработок на изменение гидрогеологической обстановки вокруг них имеет более широкое развитие

по площади, чем размеры самого карьера. Это связано с тем, что карьерами вскрываются все водоносные горизонты, располагающиеся выше полезного ископаемого, а в ряде случаев имеется необходимость в существенном снижении напоров водоносных горизонтов, лежащих под полезным ископаемым, во избежание прорывов подземных вод в карьер снизу. Водопонизительными работами в виде систем дренажных скважин и непосредственным водоотливом из карьера (зумпфов) производится осушение водоносных горизонтов в районе разработок. Вследствие этого вокруг карьера на площадях, обычно значительно превышающих размеры самого карьера, формируются депрессионные и пьезометрические воронки, оказывающие определенное влияние на дренируемую толщу горных пород. Формирование воронок обычно отрицательно влияет на располагающиеся в районе их действия водозаборы подземных вод.

Серьезным фактором, связанным с развитием горнорудных работ, является загрязнение подземных вод в районе действия этих предприятий. При этом в областях с недостатком пресных вод необходимо учитывать то обстоятельство, что воды, получаемые из водоотливных устройств на карьерах, существенно загрязнены и без предварительной их очистки они непригодны для питья. Подземные воды, извлекаемые водопонизительными устройствами, если не принять соответствующих мер, также могут в той или иной мере загрязняться. Отсюда следует, что в районах развития горнорудных работ наблюдается процесс общего загрязнения и изменения химического состава имеющихся в районе пресных подземных вод, что приводит к необходимости разработки комплекса мероприятий по охране подземных вод от загрязнения и истощения.

При разработке месторождений открытым способом большие площади бывают заняты под гидроотвалы, а устройство шламохранилищ и гидроотвалов ведет к загрязнению подземных и поверхностных вод в районе разработок. Отсюда следует, что фильтрацию в грунт и сброс отработанных вод в реки и ручьи можно допустить лишь после их предварительной очистки.

Весьма существенные изменения природной обстановки связаны со строительством и эксплуатацией горно-обогатительных комбинатов (ГОК) в районе разработок. Опыт строительства и эксплуатации обогатительных фабрик показывает, что хвостохранилища современных ГОК, рассчитанных на 25—30-летний срок эксплуатации, имеют площадь 10—20 км². При этом потери на фильтрацию являются весьма значительными и исчисляются кубометрами воды в секунду. В таких условиях, если не обеспечить надлежащую очистку сбрасываемых вод, хвостохранилища ГОК могут превратиться в объекты интенсивного загрязнения подземных и поверхностных вод.

При подземном способе разработки месторождений твердых полезных ископаемых, осуществляемой обычно с обрушением пород над выработанным пространством, эти процессы, сопровождаемые явлениями сдвижения горных пород, приводят к деформации по-

верхности земли с образованием в ряде случаев зон крупной трещиноватости. При этом осушение происходит лишь в зоне обрушения и формирования трещин, так как в вышележащих слоях деформация пород носит, как правило, пластический характер.

В данных условиях комплекс водоотливных и водопонизительных работ и их влияние на ресурсы подземных вод, а также процессы загрязнения и истощения подземных вод близки к таковым при открытых горных разработках. Некоторая специфика проявляется в формировании химического состава подземных вод в связи с тем, что изменяются условия инфильтрации атмосферных осадков через зоны обрушения и сдвижения горных пород.

Если разработка месторождения ведется с закладкой выработанного пространства, то деформации пород существенно меньше по сравнению с предыдущим случаем и влияние горных работ может не проявиться на дневной поверхности. Осушение водоносных пород также локализуется собственно участком разработки полезного ископаемого и непосредственно прилегающими к нему водоносными породами. Очевидно, что при таком способе разработки месторождений отрицательное влияние горных работ на природные условия относительно небольшое. Вместе с тем, этот способ разработки месторождений твердых полезных ископаемых во многих случаях значительно более дорогой по сравнению со способом с обрушением пород над выработанным пространством.

Определенную роль в изменении природной обстановки и гидрогеологических условий, в частности в районах эксплуатируемых угольных месторождений, играют терриконы. Они занимают довольно большие площади (до 0,2—0,3 км²) и достигают высоты 100—200 м. Под влиянием инфильтрации в них атмосферных осадков и в первую очередь снеговых вод наблюдается растекание терриконов на значительные площади, что уже не позволяет использовать земли для сельского хозяйства. Кроме того, химический состав атмосферных осадков, фильтруясь через породы терриконов, изменяется и их общая минерализация заметно повышается. В итоге это ведет к загрязнению грунтовых вод. Влияние терриконов на подземные воды в настоящее время по существу не изучено, и этот вопрос является важным при дальнейших исследованиях. В сухое время года терриконы являются источником загрязнения атмосферы пылью.

При разработке месторождений с закладкой выработанного пространства проблема борьбы с террикониками несколько ослабляется, так как часть материала терриконов может быть использована в качестве закладочного материала.

Процессы, развивающиеся в условиях крупного и продолжительного отбора подземных вод. В районах развития горнорудных работ, сопровождающихся водопонизительными и осушительными мероприятиями, а также отбором подземных вод для питьевого и технического водоснабжения, формируются крупные депрессионные и пьезометрические воронки, часто носящие региональный характер.

Следует различать изменения собственно гидрогеологических условий, связанных с водоотбором, и изменение ландшафтных условий.

К изменениям гидрогеологических условий относятся: 1) изменение условий питания, движения и разгрузки подземных вод, 2) формирование депрессионных и пьезометрических воронок подземных вод в процессе крупного водоотбора; 3) осушение смежных водоносных горизонтов; 4) изменение химического состава отбираемых вод в результате взаимодействия водоносных горизонтов и перемещения вод различной минерализации в плане.

Изменение ландшафтных условий [36] характеризуют следующие особенности: 1) деформация поверхности земли и всей толщи водоносных пород, залегающих над и под водоносными горизонтами, из которых осуществляется интенсивный отбор воды. Сюда входит деформация водоносных толщ и оседание поверхности земли вследствие постепенного уплотнения пород в результате их осушения или ощутимого снятия напора, а также деформации пород, обусловленные суффозионными процессами. Первые обычно носят региональный характер, а вторые — локальный; 2) изменение расхода потока небольших речек или полное их осушение в результате уменьшения или прекращения разгрузки в них подземных вод; 3) осушение болот в тех случаях, когда основным источником их питания являются подземные воды; 4) осушение почво-грунтов в результате снижения уровня грунтовых вод и влияние этого процесса на произрастание сельскохозяйственных культур и лесов.

Оседание поверхности земли и деформация толщи пород, залегающих над, а в ряде случаев и под водоносным горизонтом, из которого ведется отбор воды, получает все большее развитие в связи с деформированием региональных пьезометрических воронок в результате работы крупных водозаборов подземных вод, работы водопонижительных и водоотливных систем при эксплуатации глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых, в том числе нефти и газа. Эти процессы проявляются в особенности при отборе жидкостей из недр, когда покрывающие полезное ископаемое породы являются относительно молодыми и обладают высокими коэффициентами сжимаемости.

Рассматриваемые явления проявляются довольно часто в таких странах, как США, Япония, Мексика и других, при формировании депрессионных и пьезометрических воронок глубиной в сотни метров и диаметром в десятки километров. По зарубежным данным [32], площади мульд оседания имеют размеры (км²): Осака — 90, Токио — 300, дельта р. По — 730, Большой Лондон — 1800, долина р. Сан-Хоакин — 3500. Величина оседания поверхности земли колеблется от нескольких сантиметров до 7 м (г. Мехико).

В результате глубокого водопонижения в районах эксплуатации шахт, рудников и карьеров в ряде случаев наблюдается деформация мощных толщ пород и оседание поверхности земли за счет уплотнения обводненных песчано-глинистых пород после снятия с них напора. Эти явления наиболее часто отмечаются в райо-

нах буроугольных месторождений, сложенных рыхлыми песчано-глинистыми отложениями. Здесь происходит неравномерное оседание поверхности земли как в плане, так и в разрезе, что является наиболее опасным для сооружений даже при небольшой величине оседания. Все это приводит к деформации и разрушению поверхностных сооружений шахт, коммуникаций и дорог в пределах развития депрессий.

В трещиноватых и закарстованных породах или неравномерно сцементированных песчаных отложениях, т. е. в неоднородных породах, при откачках подземных вод развиваются суффозионные процессы.

Вынос заполнителя карстовых пустот или крупных трещиноватых зон возможен при больших напорных градиентах, что может привести к нарушению устойчивости этих пород и образованию провальных воронок на поверхности земли. Для месторождений, приуроченных к массивам закарстованных пород, явления просадочности наиболее опасны в случае их перекрытия рыхлыми песчано-глинистыми отложениями, которые могут быть вымыты под действием больших градиентов потока. В песчаных породах вынос рыхлого материала возможен на большие расстояния от места водоотбора при неравномерной цементации пород с образованием каналов, уходящих на десятки метров от водозабора.

Отмеченное явление наблюдалось при разработке земснарядами Лебединского карьера. Скорость углубления карьера оказалась настолько большой, что снижение депрессионной поверхности отставало от развития работ на карьере, так как сооружение водопонижительной системы оказалось еще не завершенным. Это привело к формированию значительных градиентов на выходе потока в карьер и развитию суффозионных процессов.

Качество шахтных (рудничных) вод. Разработка месторождений полезных ископаемых в сложных гидрогеологических условиях обычно связана с откачкой больших объемов шахтных вод. Только по шахтам и карьерам угольной промышленности ежегодно откачивается свыше миллиарда кубометров подземных вод. В большинстве случаев вся эта масса воды бесполезно сбрасывается в близлежащие реки и водоемы. Одновременно откачка больших масс воды вызывает в ряде районов истощение подземных вод. В связи с этим назрела необходимость в постановке вопроса о широком использовании шахтных вод для промышленного и в отдельных случаях питьевого водоснабжения и ирригации.

Однако откачиваемые шахтные воды обычно загрязнены механическими примесями, небезопасны в бактериологическом отношении и часто из-за повышенной кислотности становятся агрессивными к металлическому оборудованию. Откачиваемые на поверхность воды глубокого шахт, как правило, имеют высокую минерализацию. Сброс откачиваемых из горных выработок загрязненных и минерализованных подземных вод в поверхностные водотоки и водоемы приводит к недопустимому ухудшению качества содержащихся в них вод.

Вопросы использования и рационального сброса этих вод представляют серьезную проблему, связанную с охраной природы. В целях обоснования проектирования мероприятий по охране подземных и поверхностных вод от загрязнения водами из горных выработок и водопонижительных систем необходимо разработать методы прогноза качества этих вод.

Шахтные (рудничные) воды представляют собой смесь подземных и поверхностных вод, поступающих в горные выработки и подвергающихся существенному изменению в результате горных работ.

Формирование шахтных вод связано с процессами смешения вод разных горизонтов, взаимодействия подземных вод с шахтной (рудничной) атмосферой и породами, вскрытыми горными выработками. На изменение природного состава подземных вод, поступающих в шахты, оказывают влияние горно-геологические, гидрогеологические и технические факторы разрабатываемых месторождений.

Химический состав и общая минерализация шахтных вод отличаются от вод, окружающих горные выработки, что связано с развитием процессов их окисления, активизацией выщелачивания горных пород, изменения газового и бактериального состава вод, а также их загрязнения нефтепродуктами, маслами, взвешенными частицами.

Основным фактором, определяющим условия и закономерности формирования шахтных вод, является искусственно созданная окислительная обстановка, в которую попадают подземные воды. Процесс изменения состава подземных вод, еще не поступивших в шахту, начинается в зоне искусственной трещиноватости над горными выработками, где нарушается естественная гидрохимическая обстановка.

При сравнении результатов химических анализов подземных и шахтных вод, отобранных на одних и тех же глубинах в шахтах Донбасса, было установлено [37], что шахтные воды по сравнению с подземными характеризуются повышенным содержанием ионов SO_4 , Ca , Mg , а также повышенной жесткостью и минерализацией. Последняя часто бывает в 3—4 раза выше, чем в подземных водах. Особенно сильно повышается содержание сульфатов. В шахтной воде сульфатов в 5—8 раз больше, чем в подземной воде. Однако в общем в шахтных водах наблюдаются те же закономерности изменения их химического состава с глубиной, что и в подземных водах. Отмечается уменьшение SO_4 , Ca , Mg и увеличение Na , Cl и HCO_3 .

Состав шахтных вод в некоторой мере зависит от вида разрабатываемого полезного ископаемого и глубины его залегания. Например, на угольных месторождениях при разработке сернистых углей, а также на колчеданных месторождениях часто формируются кислые воды, обладающие высокой агрессивностью по отношению к металлам и бетону. На полиметаллических месторож-

дениях рудничные воды обычно обогащены медью, цинком, свинцом и другими компонентами, значительно ухудшающими их качество.

Кислые шахтные воды часто образуются в горных выработках шахт Кизеловского бассейна, Донбасса, частично Мосбасса и др. Исследователи, занимавшиеся изучением вопросов формирования кислых вод [37, 48], сходятся во мнении, что эти воды образуются только на верхних горизонтах разработки (до глубины 250—300 м) и, как правило, при наличии в боковых породах и углях повышенного содержания сульфидов и свободной серы. Было установлено, что при содержании серы в угольном пласте менее 2,5% кислые шахтные воды не образуются. Поэтому ни в Кузнецком, ни в Карагандинском бассейнах кислотной воды в шахтах нет.

В последние годы образование кислых шахтных вод рассматривается не только как химический процесс, но и как биологическое явление. Наличие в шахтной воде специфических форм микроорганизмов значительно ускоряет процесс окисления этих вод. Выяснению роли биогенного фактора в формировании химического состава шахтных вод Кизеловского бассейна посвящены работы А. Н. Хорошавина, И. В. Катаевой и др. [91]. Они установили присутствие в водах ряда шахт микроорганизмов *Fhiohocillis fer-гоохісlaus*, с которыми в значительной степени, по их мнению, связаны процессы окисления сульфидов. По их же наблюдениям окисление Fe в кислой среде ($pH < 3$) идет преимущественно биогенным путем.

Многолетние наблюдения И. М. Соболевой и С. В. Пельтихина [83] за изменением состава шахтных вод Луганской области позволили установить, что с увеличением глубины шахт возрастает минерализация шахтных вод, а с увеличением срока эксплуатации шахт происходит обогащение шахтных вод сульфатами и в незначительной мере хлоридами и обеднение гидрокарбонатами. Это явление они связывают с углублением горных выработок, вскрывающих другие гидрохимические зоны.

Формирование шахтных вод в глубоких шахтах по сравнению с шахтами, ведущими разработку углей на малых и средних глубинах, имеет ряд специфических особенностей, обусловленных изменением обстановки и самого механизма их формирования с увеличением глубины разработки. Состав вод глубоких шахт формируется в результате их смешения с водами, поступающими в общешахтный водосборник с горизонтов разработки на разных глубинах.

Как уже было сказано выше, формирование состава шахтных вод зависит от целого ряда факторов, влияние каждого из которых установить трудно. В связи с этим вопрос прогнозирования качества шахтных вод до настоящего времени почти не разработан.

Прогноз качества шахтных вод в проектируемых шахтах в настоящее время осуществляется на основе изучения общей геолого-гидрогеологической обстановки прилегающего к шахте района и

химического состава подземных вод, подлежащих вскрытию горными выработками. Если вблизи проектируемой шахты располагаются действующие разработки, то прогноз качества шахтных вод осуществляется путем выбора шахт — гидрогеохимических аналогов. Однако этот метод далеко не совершенен, ибо подобрать шахту-аналог, близкую к проектируемой одновременно по нескольким, даже наиболее важным параметрам, довольно сложно. Между тем, каждый из факторов в отдельности оказывает определенное влияние на формирование шахтных вод того или иного состава.

Разработка методики прогнозирования качества шахтных вод [75] велась на основании изучения влияния основных естественных и искусственных факторов на формирование шахтных вод. Разработку метода прогнозирования состава и свойств шахтных вод ведут в двух направлениях.

Влияние фактора глубины и состава исходных подземных вод на состав и свойства шахтных вод определялось путем статистической обработки данных химических анализов подземных и шахтных вод исследуемого района [75].

Применение статистического метода позволило установить существенные корреляционные связи между содержанием компонентов (K , Na , SO_4 , Cl , HCO_3) и сухого остатка в шахтных водах и глубиной разработки. Выявлены также закономерности и корреляционные связи между содержанием основных компонентов в подземных и шахтных водах исследуемого района на одинаковых глубинах. Полученные зависимости позволили [75] осуществить прогноз качества шахтных вод Обуховских шахт (Восточный Донбасс).

Исследование влияния литологического состава угля и вмещающих пород при взаимодействии их с подземными водами по мере превращения последних в шахтные производилось экспериментальным методом — на физических моделях шахтных полей.

В результате физико-химического моделирования получены прогнозные значения содержания большинства компонентов шахтных вод, которые оказались довольно близкими к величинам этих компонентов, полученных методом математической статистики.

Таким образом, вопросы прогноза качества вод, откачиваемых из шахт и рудников, еще только начали разрабатываться. Для их решения необходимо создать теоретические основы рассматриваемого явления и на этой базе разработать методику прогноза качества отбираемых на месторождениях подземных вод. При этом следует учитывать вид полезного ископаемого, литологию вмещающих пород, глубину и способ разработки, химический состав подземных вод.

Типизация гидрогеологических условий в связи с крупным и продолжительным отбором подземных вод. Главный фактор, положенный в основу типизации, — условия формирования и относительные размеры депрессий в водоносных горизонтах. Это определяется характером связи водоносного горизонта с речной сетью, атмосферными осадками и смежными водоносными горизонтами, т. е. формирование и размер

депрессивной или пьезометрической воронки определяются условиями питания рассматриваемого водоносного горизонта. Очевидно, что чем лучше условия питания подземных вод, тем более ограниченными являются размеры формирующейся депрессии. Вместе с тем следует различать условия, когда через определенное время после начала водоотбора наступает практическая стабилизация депрессии, и такие условия, когда депрессия формируется и развивается теоретически неограниченно долгое время, т. е. для обеспечения притока воды к водозаборным устройствам непрерывно привлекаются внутренние ресурсы рассматриваемого водоносного горизонта. Сюда относятся статические или упругие запасы, а иногда те и другие вместе взятые.

Наконец, заметим, что при изучении вопроса о формировании депрессии уровней или напоров подземных вод может рассматриваться один водоносный горизонт, из которого производится водоотбор, и система взаимодействующих между собой водоносных слоев.

По характеру связи с атмосферой и речной сетью выделяется три типа условий:

тип I — водоносные горизонты непосредственно связаны с атмосферными водами (безнапорные условия);

тип II — водоносные горизонты характеризуются локальной или повсеместной, но затрудненной связью с атмосферой и речной сетью;

тип III — водоносные горизонты крайне слабо связаны с атмосферой и речной сетью.

Месторождения типа I разделяются на два следующих подтипа в зависимости от расположения участка водоотбора от реки, в случае когда она может рассматриваться как граница постоянного напора:

подтип Ia — участок водозабора расположен вблизи реки, т. е. располагается в таком удалении от нее, когда депрессия достигает реки и питание потока с течением времени в значительной мере определяется рекой;

подтип Ib — участок водоотбора удален на такое расстояние от реки, когда влияние последней почти не сказывается на формировании потока к водозабору (безнапорный пласт).

Подтип Ib в свою очередь целесообразно разделить на два вида, в зависимости от характера водоносного горизонта, из которого производится водоотбор. Следует различать, сложен ли водоносный слой зернистыми или трещиноватыми (трещинно-карстовыми) породами. В первом случае (вид Ia₁) водоотдача пород характеризуется величинами 0,1—0,2, а во втором случае (Ib₂) водоотдача пород на один порядок меньше, т. е. характеризуется цифрами 0,005—0,01—0,2. Это определенным образом сказывается на размерах депрессионных воронок. Если для зернистых пород размеры депрессионных воронок достигают нескольких километров и в редких случаях 5—7 км, то в трещиноватых породах депрессии распространяются на несколько десятков километров, т. е. различия в размерах депрессионных воронок являются существенными.

При близком расположении участка водоотбора от реки величина водоотдачи пород не оказывает влияния на размер депрессионной воронки, так как по истечении некоторого времени наступает стабилизация депрессии при постоянном водоотборе. В этих условиях размер депрессии зависит от расстояния водоотбора до реки, водопроводимости горизонта, величины водоотбора и характера неоднородности водоносных пород.

Тип II подразделяется на три подтипа (IIa, IIб и IIв) в зависимости от того, проявляется ли гидравлическая связь атмосферных вод с водоносными горизонтами через залегающие в их кровле малопроницаемые породы более или менее равномерно на всей площади распространения водоносных пород (подтип IIa) или же эта связь носит только локальный характер (подтип IIб). Наконец, возможно сочетание условий первого и второго подтипов (подтип IIв), т. е. когда при наличии площадной гидравлической связи водоносного горизонта с атмосферными водами через относительно малопроницаемые породы имеет место и локальная (хорошо проявляющаяся) связь водоносного горизонта с рекой или с вышележащим безнапорным водоносным горизонтом.

Для подтипа IIa размер пьезометрической депрессионной воронки существенно зависит от величины водоотбора и соотношения коэффициентов фильтрации и мощностей основного водоносного горизонта, покрывающего его относительно малопроницаемого слоя и вышележащего водоносного горизонта, непосредственно связанного с атмосферой.

Для подтипа IIб размеры депрессии определяются в зависимости от величины водоотбора, расстояния места водоотбора до речной долины и степени гидравлической связи водоносного горизонта с рекой. Следует отметить, что локальная гидравлическая связь водоносного горизонта с атмосферными водами может осуществляться достаточно крупным гидравлическим «окном» (или системой их), соединяющим данный водоносный горизонт с безнапорными водами, приуроченными к достаточно широкому и относительно хорошо проницаемому водоносному горизонту.

К типу III относятся артезианские водоносные горизонты, слабо связанные с атмосферными водами.

К типу I относится преобладающее число месторождений полезных ископаемых (например, СУБР и Миргалимсай), приуроченных к открытым карстовым бассейнам, имеющим региональное развитие. Этому типу соответствуют некоторые месторождения подземных вод, но они относительно редки. Во избежание загрязнения подземных вод обычно не сооружают крупных водозаборов, эксплуатирующих открытые водоносные горизонты (грунтовые воды).

К типу II может быть отнесено Михайловское железорудное месторождение, а примером сочетания условий I и II является Лебединское месторождение. Следует отметить, что большинство месторождений подземных вод относится к типу II, характеризующемуся благоприятными условиями питания подземных вод.

К типу III относятся месторождения твердых полезных ископаемых, связанных с артезианскими водоносными горизонтами, например Яковлевское, Гостищевское и Белозерское железорудные месторождения. К этому типу гидрогеологических условий относятся многие месторождения подземных вод.

Для охарактеризованных типовых условий в литературе существуют расчетные зависимости, позволяющие определить понижение напора в заданном удалении от участка водоотбора.

Для подтипов Ia и Ib соответствующие расчетные зависимости приведены в табл. 22.

Формула (45), полученная Хантушем [87], действительна при условии, когда отношение коэффициентов фильтрации слоя, из которого непосредственно ведется отбор воды, и покрывающего его относительно малопроницаемого слоя не менее $30 \left(\frac{k_2}{k_0} \geq 30 \right)$, и вышележащий пласт (над малопроницаемым слоем) имеет коэффициент фильтрации в 5—10 раз больше, чем слой, из которого непосредственно производится водоотбор. В этом случае верхний слой приближенно может рассматриваться как область постоянного напора и расчет производится по формуле (45) при допущении, что упругими свойствами разделяющего слоя пренебрегают. С учетом понижения уровня в верхнем слое расчет производится по формуле Ф. М. Боचेвера [17]:

$$S_1 = \frac{Q}{4\pi k_1 m_1} f_{c_1} \quad (47)$$

Условные обозначения в формулах (44)—(47) следующие:

Q — производительность водозабора; k и a — коэффициенты фильтрации и пьезопроводности пород однородного слоя, из которого производится отбор воды; r — расстояние от центра водозабора точки, в которой определяется понижение напора; t — время от начала водоотбора; $k_2 m_2$ — водопроводимость нижнего слоя, из которого производится отбор воды,

$$a = \frac{r^2}{4a_2^* t}; \quad B = \sqrt{\frac{a_2^*}{b}}; \quad b = \frac{k_0}{m_0};$$

a_2^* — коэффициент пьезопроводности слоя, из которого производится отбор воды; k_0 и m_0 — коэффициент фильтрации и мощность относительно малопроницаемого слоя, покрывающего пласт, из которого ведется откачка; $W\left(\alpha; \frac{r}{B}\right)$ — функция, определяемая по таблицам и графикам [17].

При $t > 2,5 \frac{r^2}{a_2^*}$ и $\frac{r}{B} < 0,2$ имеем

$$W\left(\alpha, \frac{r}{B}\right) = 2K_0\left(\frac{r}{B}\right) - J_0\left(\frac{r}{B}\right) [E_1(-bt)], \quad (48)$$

где J_0 и K_0 — обозначения функций Бесселя первого и второго рода от мнимого аргумента; E_1 — экспоненциальная функция.

Типизация гидрогеологических условий в связи с крупным водоотбором

Типы гидрогеологических условий	Подтипы	Виды	Расчетные зависимости для определения депрессии и методика ее прогноза
<p>Тип I. Водоносные горизонты непосредственно связаны с атмосферными водами</p>	<p>Подтип Ia. Участок водоотбора расположен вблизи реки</p> <p>Подтип Ib. Участок водоотбора удален от реки за пределами ее влияния (безграничный пласт)</p>	<p>Вид Ib₁. Водоотбор осуществляется из слоя зернистых пород</p> <p>Вид Ib₂. Водоотбор осуществляется из слоя трещиноватых пород</p>	$S = - \frac{Q}{4\pi k h_{cp}} E_i \left(- \frac{r^2}{4at} \right) \quad (44)$
<p>Тип II. Водоносные горизонты характеризуются локальной или повсеместной, но затрудненной связью с атмосферой и речной сетью</p> <p>Тип III. Водоносные горизонты крайне слабо связаны с атмосферой и речной сетью</p>	<p>Подтип IIa. Гидравлическая связь с вышележащими горизонтами осуществляется на всей площади депрессии</p> <p>Подтип IIб. Гидравлическая связь с вышележащими горизонтами осуществляется локально (обычно в долинах рек)</p> <p>Подтип IIв. Сочетание условий, характерных для подтипов IIa и IIб.</p>		$S_2 = \frac{Q}{4\pi k_2 m_2} W \left(\alpha, \frac{r}{B} \right) \quad (45)$ $S_2 \approx \frac{Q}{4\pi k_2 m_2} \left[- E_i(-\alpha_0) + \left(4 \frac{\alpha_2^* \alpha_0}{b_2 r^2} - \frac{1}{b_1 t} \right) e^{-\alpha^2} \right] \quad (46)$ <p>Моделирование</p> <p>Моделирование</p> <p>Формула (44) для безграничного однородного пласта</p>

При $t > \frac{3-5}{b}$ поток приобретает практически стационарный характер.

$$\alpha_0 = \frac{r^2}{4a_2^{**}t} \text{ — параметр Фурье;}$$

$\alpha_2^{**} = \frac{k_2 m_2}{\mu^{**}}$ — обобщенный коэффициент пьезопроводности нижнего слоя, из которого производится отбор воды;

$\mu^{**} = \mu_1 + \mu_2^*$ — суммарная водоотдача пород всей водоносной толщи;

$\mu_1 + \mu_2^*$ — сумма водоотдачи верхнего и нижнего слоев;

$$b_1 = \frac{k_0}{\mu_1 m_0}; \quad b_2 = \frac{k_0}{\mu_2^* m_0};$$

$f_{c_4}(\alpha_0, B^{**})$ — функция, определяемая по таблицам [17],

$$B^{**} = \sqrt{\frac{a^{**}}{b_1}}; \quad a^* = \frac{k_1 m_1 + k_2 m_2}{\mu^{**}}.$$

Формула (46) действительна при $t \geq \frac{3-5}{b_1}$; формула (47) действительна при $\frac{r}{B^{**}} \leq 0,05$ и $\alpha \leq 0,1$.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА РЕЧНОЙ СТОК И ОБЩИЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ТИПОВЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

При исследовании влияния отбора подземных вод на речной сток был рассмотрен ряд схем фильтрации. Для каждой схемы установлен ущерб речному стоку на данный момент времени и средний ущерб за определенный период времени. Под ущербом речному стоку понимается его сокращение в результате отбора подземных вод. Ущерб выражен в долях от расхода водозабора. Для характеристики этого процесса составлены таблицы для каждой схемы фильтрации при широком диапазоне изменения параметров. Кратко остановимся на каждой исследованной схеме фильтрации.

Концентрированный отбор воды в полуограниченном пласте. Границей потока является река. Решение этой задачи дано М. Хантушем [87], а дальнейшие исследования выполнены Е. Л. Минкиным [68] и Ф. М. Бочевеком [17]. Пользуясь известными решениями, мы оценили роль ущерба речному стоку при данной схеме фильтрации для различных удалений участка водоотбора от реки. При этом рассматриваются водоносные породы, представленные песками и трещиноватыми породами, т. е. среда с существенно отличной водоотдачей пород. Численный анализ выполнен для хорошо проницаемых песков с km_{cp} от 500 до

5000 м²/сут, с водоотдачей $\mu=0,1$ и коэффициентом уровнеспроводности a_y от $5 \cdot 10^3$ до $5 \cdot 10^4$ м²/сут. Для трещиноватых пород с водоотдачей $\mu=0,01$ при водопроводимости 500—5000 м²/сут коэффициент уровнеспроводности лежит в пределах $5 \cdot 10^4$ — $5 \cdot 10^5$. Для напорных пластов пьезопроводность принята 10^6 м²/сут, что встречается широко.

В табл. 23 приведены вычисленные величины ущерба поверхностному стоку $\frac{Q_{ущ}}{Q_B}$ для данного момента времени t и средние значения ущерба $\frac{Q_{ущ,ср}}{Q_B}$ за время от 0 до t . Рассматриваются отрезки времени от 3 до 25 лет и расстояния середины участка водотока до реки от 5 до 10 км.

Таблица 23

Относительные величины ущерба речному стоку для концентрированного потока

t , сут	d , м	Значения $Q_{ущ}/Q_B$ и $Q_{ущ, ср}/Q_B$ при разных a , м ² /сут				
		$5 \cdot 10^3$	10^4	$5 \cdot 10^4$	10^5	10^6
10^3	$5 \cdot 10^3$	0,13*	0,25	0,62	0,72	0,90
		$\frac{0,04}{0,13}$	$\frac{0,12}{0,25}$	$\frac{0,44}{0,62}$	$\frac{0,56}{0,72}$	$\frac{0,84}{0,90}$
$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	0,48	0,62	0,83	0,87	0,96
		$\frac{0,28}{0,48}$	$\frac{0,44}{0,62}$	$\frac{0,72}{0,83}$	$\frac{0,80}{0,87}$	$\frac{0,92}{0,96}$
10^4	$5 \cdot 10^3$	0,62	0,72	0,87	0,90	0,97
		$\frac{0,44}{0,62}$	$\frac{0,56}{0,72}$	$\frac{0,80}{0,87}$	$\frac{0,84}{0,90}$	$\frac{0,96}{0,97}$
10^3	10^4	0,004	0,024	0,32	0,48	0,82
		$\frac{0,0012}{0,004}$	$\frac{0,0052}{0,024}$	$\frac{0,15}{0,32}$	$\frac{0,28}{0,48}$	$\frac{0,68}{0,82}$
$5 \cdot 10^3$	10^4	0,16	0,32	0,67	0,75	0,92
		$\frac{0,056}{0,16}$	$\frac{0,15}{0,32}$	$\frac{0,48}{0,67}$	$\frac{0,60}{0,75}$	$\frac{0,84}{0,92}$
10^4	10^4	0,32	0,48	0,75	0,82	0,94
		$\frac{0,15}{0,32}$	$\frac{0,28}{0,48}$	$\frac{0,60}{0,75}$	$\frac{0,68}{0,82}$	$\frac{0,98}{0,94}$

* В числителе $Q_{ущ}/Q_B$, в знаменателе $Q_{ущ, ср}/Q_B$.

Концентрированный отбор воды в междуречье. Для определения ущерба речному стоку для реки l получено следующее аналитическое решение (рис. 33, а):

$$\frac{Q_{ущ1}}{Q} = \operatorname{erfc} \frac{d}{2\sqrt{F}} - \sum_{n=1}^{\infty} \left(\operatorname{erfc} \frac{2n-d}{2\sqrt{F}} - \operatorname{erfc} \frac{2n+d}{2\sqrt{F}} \right), \quad (49)$$

где $\bar{d} = \frac{d}{L}$ и $F = \frac{at}{L^2}$; Q — производительность водозабора; d — расстояние центра водозабора от реки 1; L — ширина междуречья; t — время от начала откачки; a — коэффициент уравнипроводности (пьезопроводности).

Относительная величина среднего ущерба речному стоку от начала откачки до момента t определяется по формуле

$$\frac{Q_{\text{ср.ущ}}}{Q} = 4i^2 \operatorname{erfc} \frac{\bar{d}}{2\sqrt{F}} - \sum_{n=1}^{\infty} \left(i^2 \operatorname{erfc} \frac{2n - \bar{d}}{2\sqrt{F}} - i^2 \operatorname{erfc} \frac{2n + \bar{d}}{2\sqrt{F}} \right), \quad (50)$$

где erfc и $i^2 \operatorname{erfc}$ — функции, определяемые по таблицам [17].

Сходимость бесконечных рядов, входящих в формулы (49) и (50), хорошая и для расчетов достаточно ограничиться двумя-тремя членами ряда.

Для получения ущерба стоку реки 2 следует в приведенных выражениях величину d заменить величиной $L - d$, т. е. расстояние от водозабора до реки 2.

Общий ущерб речному стоку обеих рек равен

$$Q_{\text{ущ } 1,2} = \frac{Q_{\text{ущ1}} + Q_{\text{ущ2}}}{Q}. \quad (51)$$

Общий средний относительный ущерб речному стоку обеих рек равен сумме средних относительных ущербов стоку каждой реки.

Используя вышеуказанные исходные данные рассчитаем величину ущерба речному стоку для схемы фильтрации в условиях междуречья (табл. 24).

Из табл. 24 следует, что в условиях междуречья ущерб речному стоку по сравнению с полуограниченным пластом при прочих равных условиях заметно более высокий и приближается к единице, т. е. питание практически полностью осуществляется за счет речных вод значительно раньше, чем для полуограниченного пласта.

Концентрированный отбор воды в полосе пород, ограниченных с одной стороны рекой, с другой — непроницаемым контуром. Для расчета ущерба речному стоку применительно к данной схеме фильтрации (рис. 33, б) нами получены следующие зависимости:

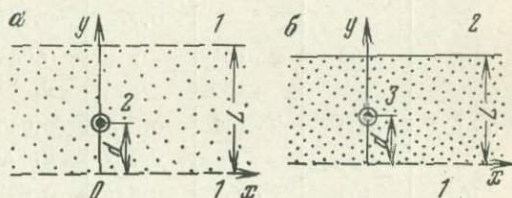


Рис. 33. Схема концентрированного отбора воды:

a — в междуречье (1 — река, 2 — водозабор); *б* — в полосовом пласте, ограниченном с одной стороны рекой, а с другой водоупором (1 — река, 2 — водоупор, 3 — водозабор)

Таблица значений ущерба речному стоку

t, сут	d, м	L, м	Q _{ущ. 1, 2/Q} и Q _{ущ. ср. 1, 2/Q} при разных a _y				
			5 · 10 ³	10 ⁴	5 · 10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶
10 ³	5 · 10 ³	10 ⁴	0,240	0,258	0,952	0,995	1,000
			0,080	0,232	0,772	0,864	0,992
5 · 10 ³	5 · 10 ³	10 ⁴	0,892	0,952	0,982	0,995	1,000
			0,554	0,772	0,935	0,976	0,998
10 ⁴	5 · 10 ³	10 ⁴	0,952	0,998	0,995	1,000	1,000
			0,772	0,864	0,976	0,992	1,000
10 ³	10 ⁴	2 · 10 ⁴	0	0,058	0,645	0,891	1,000
			0	0,014	0,300	0,544	0,937
5 · 10 ³	10 ⁴	2 · 10 ⁴	0,315	0,645	0,981	1,000	1,000
			0,114	0,300	0,790	0,914	0,994
10 ⁴	10 ⁴	2 · 10 ⁴	0,637	0,891	1,000	1,000	1,000
			0,304	0,544	0,914	0,937	1,000

относительная величина ущерба речному стоку на данный момент времени t

$$\frac{Q_{\text{ущ}}}{Q_{\text{в}}} = \operatorname{erfc} \frac{\bar{d}}{2\sqrt{F}} - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \left(\operatorname{erfc} \frac{2n - \bar{d}}{2\sqrt{F}} - \operatorname{erfc} \frac{2n + \bar{d}}{2\sqrt{F}} \right); \quad (52)$$

относительная величина среднего ущерба речному стоку от начала откачки до момента времени t

$$\frac{Q_{\text{ущ}}}{Q_{\text{в}}} = 4 \left[i^2 \operatorname{erfc} \frac{\bar{d}}{2\sqrt{F}} - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \left(i^2 \operatorname{erfc} \frac{2n - \bar{d}}{2\sqrt{F}} - \operatorname{erfc} \frac{2n + \bar{d}}{2\sqrt{F}} \right) \right], \quad (53)$$

где $F = \frac{a_y t}{L^2}$, L — ширина полосы; d — расстояние водозабора от реки, $\bar{d} = \frac{d}{L}$.

Заметим, что когда водозабор располагается на водонепроницаемой границе пласта-полосы, формула (52) приводится к формуле (49), если водозабор помещен в середине междуречья. Поэтому можно считать, что данные табл. 24 в известной мере характеризуют и рассматриваемую схему фильтрации.

Отбор воды из нижнего пласта трехслойной

толщи пород при наличии реки, врезанной только в верхний слой. Водоотбор осуществляется линейной дрена, оборудованной в нижнем слое и ориентированной параллельно реке. Эта схема фильтрации исследовалась на модели по методу Либмана, поскольку аналитических решений задачи не имеется.

Исследование изменения во времени величины ущерба речному стоку при отборе воды из трехслойной толщи было выполнено при следующих условиях.

В нижний водоносный слой мощностью 50 м с коэффициентом фильтрации 10 м/сут и упругой водоотдачей $5 \cdot 10^{-3}$ заложена линейная горизонтальная дрена, длина которой в несколько раз превышает мощность водоносной толщи (бесконечная линейная дрена). Средний относительно малопроницаемый слой имеет мощность 10 м и коэффициент фильтрации пород $k_0 = 10^{-3}$ м/сут. В верхний водоносный слой (мощностью 50 м с $k_0 = 10$ м/сут и $\mu = 0,1$) врезана река, причем линейная дрена располагается параллельно реке.

Рассматривались варианты с расстоянием дрены до реки 0,2; 5 и 10 км. Кроме того, оценивался вариант с расстоянием дрены до реки 2 км и величиной отношения $\frac{k_0}{m_0} = 10^{-3}$ сут $^{-1}$.

Для решения поставленной задачи было проведено моделирование по методу Либмана для профильной схемы. В процессе решения задачи были приняты следующие допущения:

- 1) в водоносных горизонтах движение горизонтальное, в разделяющем слое — вертикальное при жестком режиме фильтрации;
- 2) гидравлическая связь верхнего водоносного горизонта с рекой совершенная (граничное условие первого рода, $H = \text{const}$), сопротивление ложа водоема не учитывалось;

- 3) водоносные горизонты однородны и в плане неограничены.

Первоначально на дрене задавался постоянный расход до достижения проектного понижения 60 м (до кровли нижнего горизонта), что отмечалось в течение 400—600 сут, после чего поддерживался постоянный уровень. При задании на дрене граничных условий первого рода было оценено влияние осушения верхнего безнапорного горизонта. Выяснено, что при заданных условиях задачи можно пренебрегать осушением верхнего горизонта, а его водопроницаемость считать постоянной.

При решении контрольных вариантов было установлено, что характер задания граничных условий на дрене по истечении начальных 400—600 сут (в течение которых задавался постоянный дебит), а также задаваемый дебит не влияют на величину относительного ущерба речному стоку. Как только перетекание превышало 95% расхода дрены, упругими запасами нижнего горизонта пренебрегали.

По данным моделирования построены графики зависимости относительного ущерба речному стоку и его средней величины от времени для различных расстояний дрены до реки (рис. 34). По своей форме рассматриваемая зависимость сходна с графиком

функции $y = \text{erfc}(x)$, которой определяется величина ущерба речному стоку при работе дрены [17] в одиночном водоносном горизонте с постоянным напором на границе. В рассматриваемом случае река не является границей области фильтрации ни по верхнему, ни по нижнему горизонту, и влияние дрены распространяется дальше за нее.

В начальные периоды работы сооружения (до 50 сут) величины относительного ущерба речному стоку невелики и не превышают 0,1 при расположении дрены

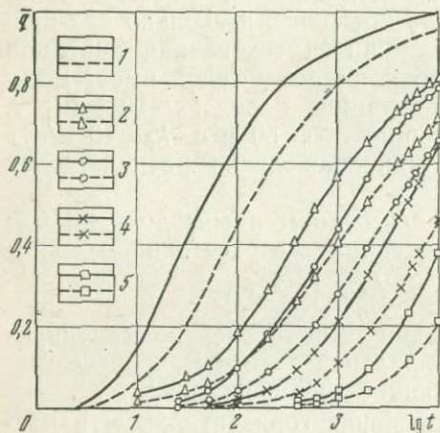


Рис. 34. Зависимость относительного (сплошная линия) и среднего (пунктирная линия) ущерба речному стоку от логарифма времени.

Расстояние дрены до реки для трехслойной толщи: 1 — одиночный пласт, расстояние дрены до реки 2 км; 2 — дрена под рекой ($r = 0$ км); 3 — 2 км; 4 — 5 км; 5 — 10 км

появляется при расположении дрены под рекой. Сравнение кривой, полученной для изолированного горизонта с данными моделирования, характеризующими работу дрены в трехслойной толще (величиной k_0/m_0 слабопроницаемого слоя 10^{-3} и 10^{-4} сут $^{-1}$ и величиной уровнепроводности верхнего слоя 5×10^3 м 2 /сут при одинаковом расстоянии дрены до реки 2 км), показывает следующее. Общий характер изменения относительного ущерба речному стоку и его средней величины во всех случаях близок. Однако наличие слабопроницаемого слоя значительно уменьшает величину относительного ущерба речному стоку, особенно для начального и среднего периода работы сооружения до 5000 сут. Так, при времени, равном 100 сут, уменьшение ущерба по сравнению с одиночным горизонтом составляет 0,50 и 0,55, а для 1000 сут — 0,35 и 0,45 соответственно. С увеличением времени эксплуатации эта разница уменьшается и для 5—10 тыс. сут разница составляет всего 0,15—0,18.

В начальные периоды работы сооружения (до 50 сут) величины относительного ущерба речному стоку невелики и не превышают 0,1 при расположении дрены под рекой, для остальных расстояний дрены до реки он существенно меньше. При удалении дрены от реки на 10 км ее влияние сказывается только через 300 сут.

В период 100—5000 сут отмечается интенсивный рост ущерба речному стоку, причем зависимость этой величины от логарифма времени близка к прямолинейной. Для времени 5000—10 000 сут начинается постепенная стабилизация процесса, что характерно для водоотбора из трехслойной водоносной толщи с постоянным источником питания.

В отличие от одиночного горизонта (см. рис. 34), где питание из реки с течением времени приближается к 1, в случае трехслойной толщи, по данным моделирования, эта величина для 25 лет не превышает

На рис. 35 приведены графики зависимости относительного ущерба от параметра Фурье F_0 при разных $\frac{r}{B}$.

$$F_0 = \frac{at}{r^2}, \quad B = \sqrt{\frac{m_0 (km)_1}{k_0}}$$

Как указано выше, соотношение величин водоотдачи верхнего и нижнего водоносных горизонтов составляет $\mu_2/\mu_1 = 20$, а водопроницаемости их приняты равными $(km)_1 = (km)_2 = 500 \text{ м}^2/\text{сут}$. Кривые для $\frac{r}{B} = 0,1$ и $0,2$ получены по данным, приведенным на рис. 34, путем интерполяции.

На рис. 35 для сравнения приведен график для одиночного водоносного горизонта. Графики по своей структуре, как и следовало ожидать, напоминают график безразмерных понижений уровней в верхнем водоносном горизонте трехслойной толщи при условии изменения уровня в нем в процессе водоотбора [17].

По данным моделирования построены графики зависимости относительного ущерба речному стоку и его средней величины от расстояния дрены до реки, для моментов времени 200, 1000, 5000 и 10000 сут (рис. 36). Величины относительного ущерба речному стоку уменьшаются при удалении от реки. Через 25 лет после начала работы сооружения величина ущерба речному стоку составляет 0,80, 0,78, 0,64 и 0,38 при расстоянии дрены до реки 0, 2, 5 и 10 км. С ошибкой до 2—7% можно принять, что зависимость между указанными величинами носит линейный характер и выражается формулой

$$y = a_0 - bx,$$

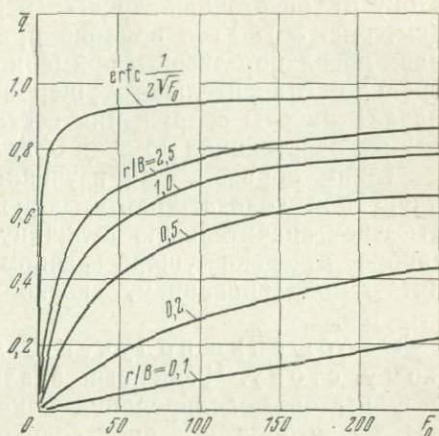


Рис. 35. Зависимость относительного ущерба речному стоку от параметра Фурье

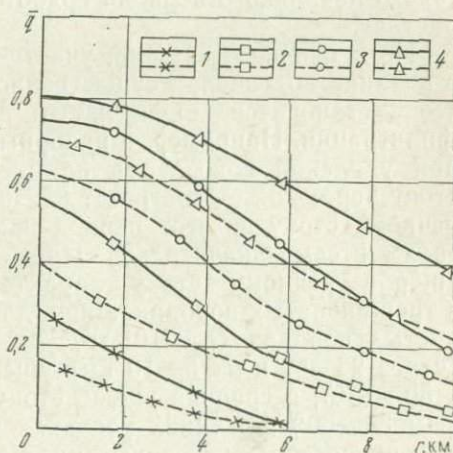


Рис. 36. Зависимость относительного (сплошная линия) и среднего (пунктирная линия) ущерба речному стоку от расстояния дрены до реки для времени. 1 — 200 сут.; 2 — 1000 сут.; 3 — 5000 сут.; 4 — 10 000 сут.

(54)

где a_0 принятая величина ущерба, причиняемого речному стоку дренами, работающей в нижнем слое под рекой ($r=0$).

Характер зависимости среднего относительного ущерба речному стоку от расстояния дрены до реки близок к описанному выше (см. рис. 36). Угол наклона прямой к оси абсцисс в обоих случаях довольно близок и примерно постоянен во времени. Величина среднего относительного ущерба речному стоку за 25 лет после начала работы сооружения составляет 0,70, 0,65, 0,46 и 0,21 при тех же расстояниях до реки 0, 2, 5 и 10 км.

Таким образом, для изученных условий при длительной эксплуатации водозаборного сооружения ущерб речному стоку составляет значительную величину. При больших удалениях водозабора от реки ущерб речному стоку целесообразно определять моделированием, поскольку аналитических решений не имеется.

Обобщение полученных данных по ущербу речному стоку. Численный анализ приведенных выше формул и результатов моделирования показывает, что в первые несколько лет водоотбора его производительность существенно превышает ущерб речному стоку в результате привлечения к водозабору статических и упругих запасов. За счет этого, если очищенные воды после их использования сбрасываются в реку, то в течение некоторого начального периода водоотбора расход реки несколько возрастает.

Но с течением времени участие статических и упругих запасов в питании водозабора существенно уменьшается, и ущерб речному стоку становится значительным при всех рассмотренных схемах фильтрации. Например, в напорных условиях ($a=10^5-10^6$ м²/сут) при удалении водозабора на 5—10 км от реки ущерб речному стоку через 25 лет достигает 85—95%, а средняя величина ущерба речному стоку за этот период времени составляет 75—90%, т. е. также весьма значительна. Примерно аналогичный порядок цифр ущерба речному стоку характерен и для безнапорных условий в трещиноватых породах. Лишь для безнапорных горизонтов в зернистых породах ($a_y \approx 10^4$ м²/сут) и при прочих равных условиях (через 25 лет и $d=5-10$ км) ущерб речному стоку приближается к 50—75%, а средний ущерб стоку за это время оказывается равным 30—60%. В таких условиях учет ущерба речному стоку может представить некоторый интерес. Если к этому еще принять во внимание возврат в реку части отбираемых подземных вод, а также возможность появления дополнительного питания подземных вод за счет заметного восполнения их в период паводков, а также уменьшения испарения с поверхности грунтовых вод, то в отдельных районах учет этих обстоятельств может дать некоторое приращение общих водных ресурсов и в многолетнем разрезе. Очевидно, что в каждом отдельном случае эти вопросы нуждаются в специальном рассмотрении.

ОХРАНА ВОДОЗАБОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНАХ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Выше уже отмечалось, что в результате работы дренажных систем и водоотлива из горных выработок в районах освоения месторождений полезных ископаемых идут процессы изменения питания и разгрузки подземных вод, изменения их химического состава, а также загрязнение вод. Вследствие этого часть ресурсов пресных подземных вод исключается из сферы использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения, т. е. запасы пресных вод в известной мере истощаются.

В таких условиях возникает необходимость в разработке эффективных мероприятий по охране подземных вод от истощения и загрязнения, а также в совместном рассмотрении вопросов осушения месторождений и водоснабжения за счет подземных вод.

В связи с этим можно наметить два подхода к охране водных ресурсов в горнорудных районах: 1) использование пассивных методов, основанных на разработке критериев безопасной эксплуатации водозаборов подземных вод в районах действия водопонижительных и водоотливных систем на месторождениях полезных ископаемых без применения специальных защитных устройств; 2) применение активных методов охраны водных ресурсов, а именно: а) очистка шахтных вод; б) использование противодиффузионных завес для ограждения горных выработок от подземных вод; в) использование вод, откачиваемых водопонижительными установками.

Ниже излагаются результаты исследования методов, основанных на пассивном подходе к решению задач охраны водных ресурсов. Необходимые для этого критерии основаны на том положении, что при откачке воды из водозабора и дренажных или водоотливных систем на месторождении между ними формируется граница раздела потоков. Загрязнение подземных вод в водозаборе можно исключить, если граница раздела потоков располагается за пределами площади горных работ. Исходя из этого получены допустимые соотношения производительностей водозабора и дренажных систем на руднике, при которых исключается загрязнение питьевых вод для разных типовых гидрогеологических условий.

Рудник и водозабор в безграничном пласте. Для квазистационарного потока (рис. 37, а) загрязнение вод водозабора исключается при следующих условиях:

$$\frac{Q_B}{Q_K} < \frac{1 - \frac{\rho_x}{d}}{\frac{\rho_x}{d}}, \quad (55)$$

$$\frac{Q_B}{Q_K} < \frac{\pi}{2 \operatorname{arctg} \frac{\rho_y}{d}}, \quad (56)$$

где Q_v и Q_k — производительность водозабора и дренажных устройств рудника (карьера); d — расстояние между центрами водозабора и рудника; ρ_x — наибольшие размеры разработок по линии, соединяющей центры водозабора и рудника; ρ_y — наибольшие размеры разработок в направлении перпендикулярном к линии, соединяющей центры водозабора и рудника.

Из выражения (55) следует, если $\frac{\rho_x}{d} = 0,5$, то $\frac{Q_v}{Q_k} < 1$, т. е. в этом случае производительности водозабора и водоотлива из рудника соизмеримы. Если $\frac{\rho_x}{d} = 0,1$, то $\frac{Q_v}{Q_k} < 9$, т. е. производительность водозабора примерно на один порядок больше производительности дренажных и водоотливных устройств на руднике. Уменьшение размеров карьера в плане, при прочих равных условиях, ведет к увеличению допустимой производительности водозабора, когда загрязнение подземных вод водозабора может быть исключено.

Формулы (55) и (56) действительны для сравнительно однородного пласта. В существенно неоднородных водоносных пластах, как, например, в массивах трещиноватых и закарстованных пород с вытянутыми зонами повышенной проницаемости, эти формулы могут оказаться неприемлемыми.

Рудник и водозабор в полуограниченном пласте, контактирующем с породами иной проницаемости. Рассматриваются условия, когда центры водозабора и системы горных выработок расположены на линии, перпендикулярной к границе между пластами с разной водопроницаемостью, и начало координат помещается в центре системы горных выработок (рис. 37, б).

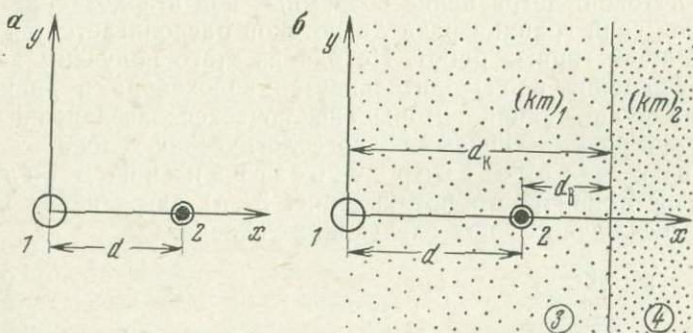


Рис. 37. Рудник и водозабор:

a — в безграничном пласте (1 — рудник, 2 — водозабор); b — вблизи границы между пластами разной водопроницаемости на линии нормальной к этой границе (1 — рудник, 2 — водозабор, 3 — пласт с водопроницаемостью $(km)_1$; 4 — то же, с водопроницаемостью $(km)_2$)

Охрана водозабора от загрязнения под влиянием рудника обеспечивается при следующих условиях:

$$\frac{Q_B}{Q_K} < \frac{\frac{1}{\rho_x} - \frac{\alpha_{12}}{2d_K - \rho_x}}{\frac{1}{d - \rho_x} + \frac{\alpha_{12}}{d_K + d_B - \rho_x}}, \quad (57)$$

$$\frac{Q_B}{Q_K} < \frac{\frac{\pi}{2} - \alpha_{12} \operatorname{arctg} \frac{\rho_y}{2dk}}{\operatorname{arctg} \frac{\rho_y}{d} + \alpha_{12} \operatorname{arctg} \frac{\rho_y}{d_K + d_B}}, \quad (58)$$

где d_K и d_B — расстояния центров системы горных выработок и водозабора от границы между пластами; d — расстояние между центрами горных выработок и водозабора; ρ_x и ρ_y — наибольшие радиусы системы горных выработок по осям x и y ; $\alpha_{12} = \frac{(km)_1 - (km)_2}{(km)_1 + (km)_2}$ — безразмерный коэффициент, зависящий от соотношения водопроницаемостей

обоих пластов; $(km)_1$ — водопроницаемость пласта, из которого непосредственно отбирается вода; $(km)_2$ — водопроницаемость смежного пласта.

Полученные зависимости проанализированы на примерах. Если граница между пластами разной водопроницаемости является контуром постоянного напора ($\alpha_{12} = -1$), то линии раздела потоков искривлены так, что выпуклость их направлена в сторону системы горных выработок. При этом границы раздела потоков пересекают контур постоянного напора, так как последний является их началом (рис. 38). Наоборот, если граница пород разной водопроницаемости является водупором ($\alpha_{12} = 1$) и $Q_B/Q_K > 1$, то границы раздела потоков имеют выпуклость в сторону водозабора и пересекают ось y (см. рис. 38). Построения на рис. 38 выполнены при $d=1$; $d_K=1,5$ и $d_B=0,5$. Рисунок позволяет видеть, что так же как и в однородном пласте, т. е. независимо от схемы фильтрации, с увеличением производительности водозабора граница раздела потоков приближается к системе горных выработок. Но при прочих равных условиях границы раздела потоков наиболее близки к системе горных выработок при $\alpha_{12} = 1$ и наиболее удалены от них при $\alpha_{12} = -1$.

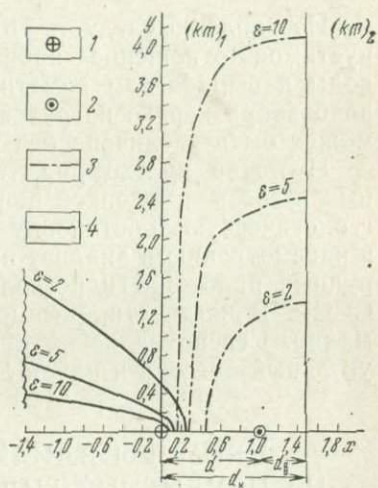


Рис. 38. Граница раздела потоков для двух предельных схем фильтрации $\alpha_{12} = -1$ и $\alpha_{12} = 1$ для различных отношений водопритока к водозабору Q_B и к системе горных выработок Q_K ($\varepsilon = Q_B/Q_K = 2; 5, 10$).

1 — система горных выработок; 2 — водозабор; 3 — граница раздела потоков при $\alpha_{12} = -1$; 4 — граница раздела потоков при $\alpha_{12} = 1$

Изменение допустимой величины Q_B/Q_K для схемы с постоянным напором ($\alpha_{12} = -1$) с удалением водозабора от этой границы (реки) дано в табл. 25.

Таблица 25

Изменение Q_B/Q_K в зависимости от изменения величин d_B/d_K и ρ_x/d_x

$\frac{d_B}{d_K}$	$\frac{\rho_x}{d_x}$	$\frac{Q_B}{Q_K}$	$\frac{d_B}{d_K}$	$\frac{\rho_x}{d_x}$	$\frac{Q_B}{Q_K}$	$\frac{d_B}{d_K}$	$\frac{\rho_x}{d_x}$	$\frac{Q_B}{Q_K}$
0,1	0,1	42,0	0,1	0,2	16,7	0,1	0,3	9,3
0,2	0,1	20,5	0,2	0,2	8,3	0,2	0,3	4,4
0,3	0,1	12,5	0,3	0,2	5,1	0,3	0,3	2,5

Из табл. 25 следует, что с удалением водозабора от реки допустимое отношение производительности водозабора и притока воды к выработкам заметно уменьшается, т. е. с приближением водозабора к реке нагрузка на него при прочих равных условиях может быть увеличена без ущерба для качества отбираемых вод.

Изложив кратко ряд теоретических исследований, выполненных в связи с оценкой влияния крупного водоотбора на гидрогеологическую обстановку окружающей территории, перейдем к рассмотрению и анализу на конкретных примерах влияния горно-рудных работ на гидрогеологические условия отдельных районов СССР. В частности, рассмотрим регион Курской магнитной аномалии, Североуральский бокситовый район, Подмосковский бурогольный бассейн и район Западного Донбасса.

ПРИМЕРЫ ВЛИЯНИЯ ГОРНОРУДНЫХ РАБОТ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

КУРСКАЯ МАГНИТНАЯ АНОМАЛИЯ (КМА)

Регион Курской магнитной аномалии характеризуется сложными и разнообразными гидрогеологическими условиями, осложненными многолетней работой осушительных систем на месторождениях полезных ископаемых и эксплуатаций крупных водозаборов подземных вод.

По предлагаемой типизации гидрогеологических условий месторождения КМА относятся к типам II и III.

Территория Курской магнитной аномалии, имеющая общую площадь около 100 тыс. км², включает Белгородский, Новооскольский, Старооскольский и Михайловский железорудные районы.

В геологическом строении территории принимают участие два комплекса пород: а) верхний — осадочный комплекс, представленный отложениями девонского, каменноугольного, юрского, мелового, неоген-палеогенового и четвертичного возрастов, общей мощностью от 100 до 500—600 м; б) нижний — метаморфический,

сложенный кристаллическими породами докембрия. К коре выветривания железистых кварцитов и приурочены богатые железные руды, мощностью от 15—20 до 320 м.

Территория КМА характеризуется сложными гидрогеологическими условиями. Здесь насчитывается до 30 водоносных горизонтов. Ряд водоносных горизонтов не имеет практического значения при осушении месторождений и решении вопросов водоснабжения, так как они развиты локально и обладают низкими фильтрационными свойствами. Основными водоносными горизонтами, определяющими степень обводненности месторождений и используемыми для водоснабжения, являются маастрихт-туронский, сеноман-альбский, келловей-батский и нижележащие водоносные горизонты, развитые в отложениях карбона, девона и докембрия.

По плану десятой пятилетки развития народного хозяйства СССР намечено создание крупного промышленного комплекса на базе минеральных ресурсов КМА. Предусматривается наращивание мощностей действующих предприятий (Лебединского, Южно-Лебединского, Стойленского и Михайловского карьеров), строительство новых горно-обогатительных комбинатов Михайловского, Лебединского (первые очереди этих комбинатов уже работают) и Стойленского. Заканчивается проектирование Чернянского и Погромецкого карьеров. Начато строительство рудника на базе Яковлевского месторождения железных руд (рис. 39).

На этой же территории работают централизованные водозаборы подземных вод и значительное количество одиночных эксплуатационных скважин районных центров и сельского хозяйства. Количество подземных вод, отбираемых для водоснабжения, составляет 14 м³/с.

Старооскольский железорудный район. В рассматриваемом районе разрабатываются Лебединское, Южно-Лебединское, Стойленское и Коробковское железорудные месторождения. На этой же территории работают водозаборы подземных вод для водоснабжения городов Губкина и Старого Оскола (см. рис. 39).

Основным водоносным горизонтом в районе является сеноман-альбский, гидравлически связанный с сантон-туронским горизонтом. Средняя величина водопроницаемости сеноман-альбского горизонта 300—500 м²/сут. Протерозойско-архейский водоносный комплекс характеризуется небольшой водопроницаемостью, порядка 20—30 м²/сут.

Водопонижительные работы на Лебединском карьере начаты с конца 1957 г., а на Южно-Лебединском — с 1968 г. Производительность водоотлива (1968—1974 гг.) составила 5400—6200 м³/ч. Около 2200 м³/ч откачиваемой воды используется для обогатительной фабрики и нужд Лебединского рудника. Остальное количество откачиваемой воды сбрасывается в р. Осколец.

С ноября 1965 г. начато водопонижение на Стойленском карьере, на котором откачивается в среднем 2200—3500 м³/ч воды. С 1965 г. воронки депрессий Стойленского и Лебединского

карьеров взаимодействуют. На конец 1974 г. радиус депрессии в сеноман-альбском водоносном горизонте распространился примерно на 12 км (от борта Лебединского карьера), в результате чего р. Осколец на этом участке из источника дренирования превратилась в источник питания. Потери воды из р. Осколец на фильтрацию в Лебединские карьеры составляют 1700—2000 м³/ч [4, 7, 36]. Сантон-туронский водоносный горизонт на расстоянии 300—1000 м вокруг Лебединских карьеров полностью сдренирован.

Формирование воронки депрессии в протерозойско-архейском водоносном комплексе на первом этапе водопонижения осуществ-

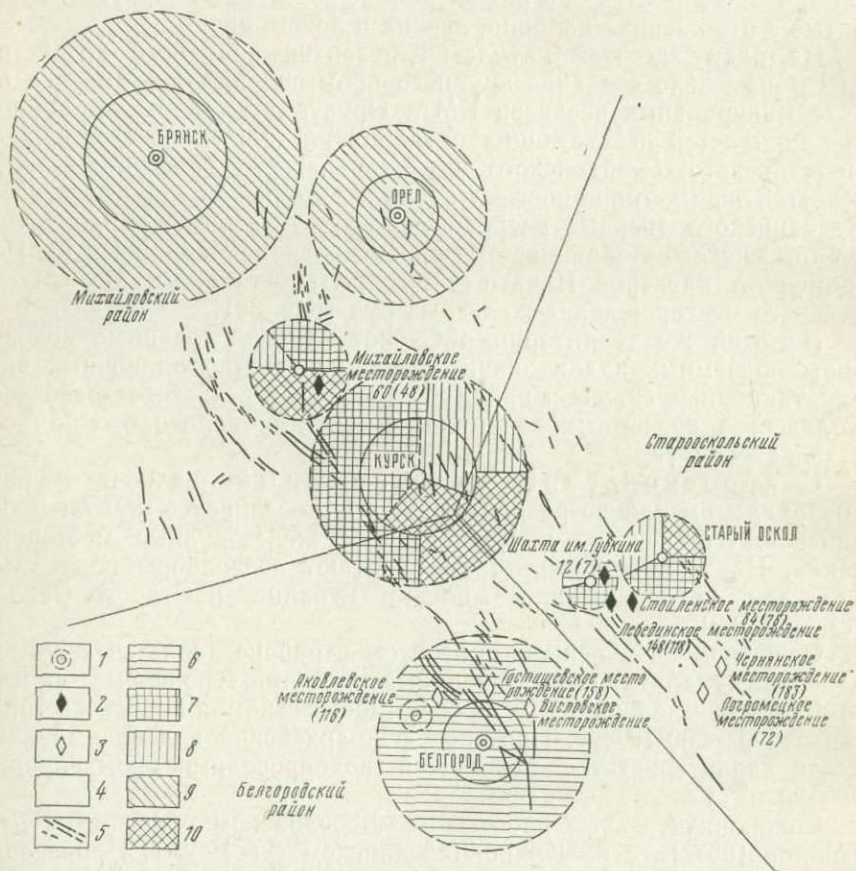


Рис. 39. Схема расположения месторождений и водозаборов Курской магнитной аномалии.

1 — внутренний круг — диаграмма фактических расходов воды из водоносных горизонтов в 1974 г. по водозабору; 2 — водопонижительная система действующая; 3 — водопонижительная система проектируемая; 4 — величины существующего и ожидаемого на 2000 г. (в скобках) водоотлива на месторождениях, тыс. м³/сут; 5 — полосы железных руд по данным бурения и геофизики. Основные водоносные горизонты, используемые для водоснабжения; 6 — маастрихт-туронский; 7 — сеноман-альбский; 8 — келловей-батский; 9 — верхнедевонские; 10 — среднедевонские

влялось в основном за счет гидравлической связи с сеноман-альбским водоносным горизонтом. Однако уже в это время наблюдениями установлено более низкое положение уровней протерозой-архея по сравнению с сеноман-альбским горизонтом (на 2,5—0,5 м). В последующие годы этот разрыв в динамических уровнях воды увеличивался и на конец 1974 г. он составил 9 м на расстоянии в 3,5 км от карьера. Воронка депрессии протерозойско-архейского комплекса к концу 1974 г. в северном направлении распространилась примерно на 20—25 км, в южном — на 10—12 км от Лебединского карьера.

Рудник им. Губкина заложен в 1931 г. За период 1955—1970 гг. при осушении рудника откачивалось в среднем 300 м³/ч воды. С 1971 г. водоотлив постепенно уменьшается и в 1974 г. он составил 104 м³/ч. С 1960 г. воронка депрессии в протерозойско-архейском комплексе в районе рудника им. Губкина взаимодействует с воронкой Лебединского карьера. На конец 1974 г. величина наибольшего снижения уровня воды составляет 37 м (в дренажных выработках рудника).

Водозаборными скважинами г. Губкина эксплуатируются сантон-туронский и сеноман-альбский водоносные горизонты. Снижение уровней воды на начало 1975 г. по линии водозаборных скважин в сантон-туронском горизонте составило 2—16,5 м, а в сеноман-альбском — не превышало 5 м.

Водозабор г. Старого Оскола эксплуатирует ардатовско-черноярский водоносный комплекс, из которого отбирается в среднем 8,5 тыс. м³/сут, частично келловей-батский, а также сеноман-альбский водоносные горизонты. Общее снижение уровней воды в районе групповых водозаборов на начало 1975 г. составило более 20 м. Депрессия уровней существенно взаимодействует с воронками депрессии Лебединского и Стойленского карьеров.

Михайловский железорудный район включает Михайловское месторождение железных руд, приуроченное к хребтообразному возвышению докембрийских образований, и водозабор подземных вод г. Железногорска.

Основными водоносными горизонтами, используемыми для водоснабжения населения и осушаемыми при эксплуатации Михайловского месторождения, являются: сеноман-альбский, келловей-батский, среднедевонские, представленные прослоями и линзами песков и известняков и протерозойско-архейский водоносный комплекс. Выдержанная по мощности и распространению толща келловейских глин совместно с глинами апт-неокома разделяет указанные водоносные горизонты на два обособленных водоносных комплекса: надкелловейский и напорный подкелловейский (келловей-батский, среднедевонские и протерозойско-архейский горизонты).

Осушение Михайловского карьера начато с 1959 г. Производительность средств осушения на карьере за 1971—1974 гг. составила 2000—2500 м³/ч. Для водоснабжения г. Железногорска

используются подземные воды келловей-батского и среднедевонских горизонтов с водоотбором 17,3 тыс. м³/сут.

Снижение уровня воды в протерозойско-архейском водоносном комплексе на начало 1975 г. составило 91,3 м на северо-западном борту карьера и 97,1 м (против статического) в районе водозабора г. Железнодорожска. Воронка депрессии в этом горизонте к настоящему времени распространилась на 20—25 км от борта карьера. На юго-востоке и юге воронка депрессии Михайловского карьера взаимодействует с воронкой водозабора г. Курска.

Понижение уровней воды в среднедевонских водоносных горизонтах в районе Михайловского карьера на 1975 г. составило 100,5 м и в районе г. Железнодорожска 133 м против статического. При этом депрессионная воронка имеет радиус влияния до 35 км.

В келловей-батском водоносном горизонте общее снижение уровня воды на конец 1974 г. составило примерно 36 м. Воронка депрессии распространилась в западном направлении до 20 км; в южном направлении воронки депрессий Михайловского карьера и водозабора г. Курска взаимодействуют.

Сеноман-альбский и апт-неокомский водоносные горизонты сдренированы на 6—8 м бортами карьера и дренажными каналами. Воронка депрессии имеет вытянутую в меридиональном направлении форму по водоразделу рек Черни и Речицы с радиусом влияния до 2,5—4 км.

Развитие региональных воронок депрессий в келловей-батском и среднедевонских водоносных горизонтах вывело из строя ряд эксплуатационных скважин, оборудованных на келловей-батский горизонт для сельскохозяйственного водоснабжения на территории Железнодорожского района Курской области. Железнодорожск также испытывает большие затруднения в обеспечении водой.

Прогноз водопритоков и режима уровней в условиях осушения келловей-батского горизонта и протерозойско-архейского водоносного комплекса, а также при эксплуатации среднедевонских водоносных горизонтов водозабором г. Железнодорожска, выполненный в 1962—1966 г. [36], показал, что приток воды в Михайловский карьер из этих горизонтов достигнет в 1980 г. 2000 м³/ч и в дальнейшем к 2000 г. уменьшится до 1500 м³/ч. Дебит Железнодорожского водозабора не будет превышать 500 м³/ч, при этом учтено взаимодействие этого водозабора с водопонизительной системой на Михайловском карьере. Фактические водопритоки в Михайловский карьер составляли в 1966—1969 гг.—1100 м³/ч, к 1972—1974 гг. водоприток увеличился до 2600 м³/ч. Фактический дебит водозабора г. Железнодорожска возрос с 260 м³/ч в 1965 г. до 720 м³/ч в 1974 г.

Из сравнения прогнозных и фактических значений водопритоков в Михайловский карьер и водопотребления г. Железнодорожска последние (фактические) уже к настоящему времени значительно превышают прогнозные. По этой причине фактические понижения уровней воды значительно превышают прогнозные (табл. 26).

Из табл. 26 видно, что уже в 1968 г. фактическое понижение

Величины прогнозных и фактических понижений уровней воды
на Михайловском карьере протерозойско-архейского водоносного комплекса

Расстояние от центра водоупонизительной установки	Понижения уровней, м							
	прогнозные	фактические	прогнозные	фактические	прогнозные	фактические	прогнозные	фактические
	1968 г.		1972—1974 г.		1980 г.		2000 г.	
В центре	48—55	~70	58—60	92	58—88	—	169	—
20—25 км	6—8	5—8	13	23—25	13	—	—	—

уровня воды в протерозойско-архейском водоносном комплексе в центре водоупонизительной установки превысило прогнозное понижение уровня воды. Фактическое снижение уровня воды в центре дренажной системы в 1974 г. превысило на 4—10 м прогнозное понижение уровня воды 1980 г. На расстоянии 20—25 км от водоупонизительной системы карьера фактическое понижение уровней воды в 1968 г. соответствовало прогнозному, но уже в 1972 г. фактическое снижение уровня воды почти в 2 раза стало превышать прогнозное снижение уровня воды.

Аналогичная картина наблюдается в районе водозабора г. Железнодорожска, где фактические снижения уровней воды значительно превысили прогнозные.

В связи с указанным развитие депрессионной воронки в келловей-батском водоносном горизонте и протерозойско-архейском комплексе происходит несколько быстрее прогнозного.

Белгородский железорудный район. В пределах этого района располагают наиболее крупные месторождения богатых железных руд КМА: Яковлевское, Гостищевское, Тетеревино-Малиновское, Ольховатское, Мелихово-Шебекинское, Больше-Троицкое и Висловское (см. рис. 39).

В орогидрографическом отношении район располагается в области водораздела и верховьев рек Псела, Воркслы и Северского Донца. Богатые железные руды и вмещающие их породы обводнены и содержат воды с напором 400—700 м. Среди осадочных отложений основными водоносными горизонтами являются маастрихтуронский, сенман-альбский, келловей-батский, каменноугольные.

В 1956—1961 гг. на Яковлевском железорудном месторождении было проведено опытно-производственное водоупонизение из нижнекаменноугольных водоносных горизонтов с суммарным дебитом 1270—1280 м³/ч. К концу водоупонизения в нижнекаменноугольных водоносных горизонтах было достигнуто снижение уровня подземных вод в центре дренажной установки в среднем на 210 м. Образовалась обширная депрессия, зафиксированная в 70 км

к юго-востоку, в 20 км к юго-западу и в 50 км к северо-западу от опытного участка. Одновременно отмечено понижение уровня в протерозойско-архейском комплексе и келловей-батском горизонте. Снижение уровня воды в рудокристаллической толще к концу водопонижения достигло 150 м. Воронка депрессии в протерозойско-архейском комплексе имеет вытянутую форму по простиранию рудных залежей. К настоящему времени недовосстановление уровня воды в контуре водопонизительной установки составляет для протерозойско-архейского комплекса 8—10 м, для нижнекаменноугольных водоносных горизонтов 5—7 м. Причем темп восстановления уровней воды для обоих горизонтов, начиная с 1971 г., резко замедлился и составил 0,8—0,55 м/год. Максимальное снижение уровня подземных вод в келловей-батском горизонте в центре опытного участка достигало 59 м, в 6,5 км от него — 3,4 м. На начало 1975 г. недовосстановление уровней воды келловей-бата вблизи водопонизительной системы составляло 9—10 м (до статических).

В процессе опытных водопонижений изучался химический состав воды нижнекаменноугольных горизонтов. Было установлено, что при водопонижении произошло некоторое опреснение вод карбона за счет смешения их с водами келловей-батского водоносного горизонта.

Для водоснабжения городов Брянска, Орла и Курска используются в основном данково-лебедянский и ливенско-евлановский водоносные горизонты верхнего девона, а также сеноман-альбский горизонт. Сработка уровня воды происходит во всех водоносных горизонтах. По водозабору г. Брянска понижение в них достигло 50—58 м, по водозабору г. Орла ~50—65 м. От работы водозабора г. Брянска развивается региональная воронка депрессии с радиусом до 80 км. Под влиянием работы водозаборов г. Орла депрессия имеет радиус до 35 км. Отбор воды в районе г. Курска из сеноман-альбского водоносного горизонта создал снижение уровней воды до 5—10 м, воронки депрессии имеют локальный характер, ограничиваясь гидрографической сетью.

Качество подземных вод, используемых для водоснабжения населения городов и других населенных пунктов, расположенных на территории КМА, удовлетворительное. В результате изучения гидрохимического режима подземных вод в 1971—1973 гг. гидрогеологической партией ГУЦР по ряду водопунктов установлено загрязнение подземных вод. Нитратами загрязнены воды скважин, вскрывающих меловые отложения в районе городов Курска, Старого Оскола, Обояни, Губкина и верхнедевонские отложения г. Орла.

Прогноз режима подземных вод района КМА. Прогноз изменения уровней подземных вод при осушении железорудных месторождений и широкой эксплуатации подземных вод для водоснабжения, а также оценка водообмена между основными водоносными горизонтами в естественных и нарушенных гидрогеологических условиях были выполнены на основе изучения фактических материалов по территории КМА и применения аналогового

моделирования. При решении поставленных задач были широко использованы результаты многолетних гидрологических исследований, выполненных Государственным гидрологическим институтом (ГГИ).

В результате исследований путем моделирования установлено, что зоны с различной проводимостью водоносной толщи маастрихт-турона имеют характер «вкладышей»; порядок цифр водопроводимости изменяется от 2000 до $10 \text{ м}^2/\text{сут}$. Коэффициенты фильтрации слабопроницаемых мело-мергельных пород маастрихт-турона для территории КМА составили 10^{-6} — 10^{-3} м/сут , а для участков бассейнов рек: Псела — от 10^{-2} до 10^{-5} м/сут и Северского Донца — от 10^{-3} до 10^{-5} м/сут .

Проведенный анализ показывает, что в пределах рассматриваемого довольно крупного региона устанавливается четкая корреляция между коэффициентом фильтрации слабопроницаемых мело-мергельных пород и их мощностью. Коэффициент корреляции получен равным 0,78.

Данные о фильтрационных свойствах слабопроницаемых мело-мергельных пород маастрихт-турона в увязке с их мощностью, трещиноватостью и характером распространения неоген-палеогеновых отложений в кровле дают основание считать, что степень трещиноватости и коэффициенты фильтрации этих пород существенно возрастают (на несколько порядков) от водоразделов с приближением к участкам долин рек. Следовательно, можно полагать, что наряду с общей закономерностью (региональной) уменьшения фильтрационных свойств мело-мергельных пород по мере их погружения с северо-востока на юго-запад, увеличения мощности и повышения роли относительно малопроницаемых неоген-палеогеновых пород как чехла, тормозящего развитие экзогенных процессов на глубину, формирование трещиноватости мело-мергельных пород в известной мере дополнительно проявляется в пределах каждой речной долины второго и третьего порядков. Эти процессы, вероятно, определенным образом накладываются на региональные процессы формирования трещиноватости и проницаемости мело-мергельных пород.

Коэффициенты фильтрации глинистых пород кимеридж-келловей равны $5 \cdot (10^{-4} - 10^{-7}) \text{ м/сут}$.

По данным моделирования общий характер изменения проницаемости кимеридж-келловейских глин в региональном плане достаточно хорошо согласуется с изменением проницаемости слабопроницаемых мело-мергельных пород.

Можно полагать, что изменение проницаемости кимеридж-келловейских глин аналогично характеру изменения проницаемости слабопроницаемых мело-мергельных пород не только в региональном плане, проницаемость кимеридж-келловейских глин, вероятно, увеличивается и к долинам рек.

Полученные данные о фильтрационных свойствах слабопроницаемых мело-мергельных пород позволили определить величину перетекания подземных вод, идущих на питание сеноман-альбского

водоносного горизонта, а также величину разгрузки его в реки через толщу слабопроницаемых мело-мергельных пород маастрихтурона.

Для рассматриваемой территории в целом инфильтрация атмосферных осадков выражается примерно в 1340 тыс. м³/сут, из которых примерно 180 тыс. м³/сут (13,5%) расходуется на питание сеноман-альбского горизонта путем перетекания. Из них около 140 тыс. м³/сут (10,5%) возвращается в реки путем разгрузки через слабопроницаемые мело-мергельные породы.

Данные о фильтрационных свойствах глинистых пород юры позволили установить, что величина перетекания подземных вод из сеноман-альбского водоносного горизонта в келловей-батский относительно весьма мала.

Выполненное моделирование позволило также дать прогноз изменения уровня режима подземных вод маастрихт-туронского и сеноман-альбского водоносных горизонтов (рис. 40).

Исследованиями установлено, что в маастрихт-туронском горизонте формируются локальные депрессионные воронки, ограниченное развитие которых обусловлено в основном наличием существенного питания из рек в условиях интенсивного водоотбора (см. рис. 40).

В сеноман-альбском горизонте депрессия имеет региональный характер в юго-западной части территории КМА, где особенно сильно сказывается влияние Харьковского водозабора, производительность которого в перспективе достигнет 200 тыс. м³/сут. Понижение уровня воды в районе г. Харькова достигнет 200 м, а на Яковлевском и Гостищевском месторождениях около 6 м. Образующаяся здесь воронка депрессии будет иметь радиус до 100 км (см. рис. 40).

В восточной части территории КМА, в Старооскольском и Новооскольском железорудных районах пьезометрические депрессионные воронки в сеноман-альбском водоносном горизонте имеют локальный характер, так как его питание из рек (Оскол, Осколец) ограничивает развитие пьезометрической депрессии (см. рис. 40).

Как показало моделирование в келловей-батском и верхнедевонских водоносных горизонтах в будущем, в регионе КМА разовьется единая пьезометрическая воронка в результате работы водозаборов и водоотлива на месторождениях. Протяженность пьезометрической воронки с юга на север более 200—250 км, при этом понижение напоров на Гостищевском и Яковлевском месторождениях превысит 350 м, на Погромецком месторождении составит 125 м, Михайловском 80 м, на Курском водозаборе 80 м. Намечаемый водоотбор сопровождается ярко выраженным неустановившимся режимом уровней.

По данным моделирования в недалеком будущем фильтрация воды в маастрихт-туронский горизонт из рек для региона в целом (точнее разница между современной разгрузкой вод маастрихтурона и их разгрузкой в 2000 г.) составит 570 тыс. м³/сут, а разница между поступлением подземных вод в сеноман-альбский

водоносный горизонт в настоящее время и в будущем определится в 225 тыс. м³/сут, т. е. в сумме 795 тыс. м³/сут. На эту величину уменьшится питание рек, если допустить, что отработанные воды не возвращаются в реки.

Общий отбор подземных вод на рассматриваемой территории составит в перспективе 1800 тыс. м³/сут, что заметно превышает величину питания за счет инфильтрации атмосферных осадков — 1340 тыс. м³/сут.

Приближенная оценка водообмена между сеноман-альбским и келловей-батским водоносными горизонтами в условиях существенного нарушения режима подземных вод под действием интенсивного водоотбора показала, что приращение фильтрации из сеноман-альбского горизонта в келловей-батский горизонт на площади к югу от р. Сейм равно 100 тыс. м³/сут, т. е. модуль

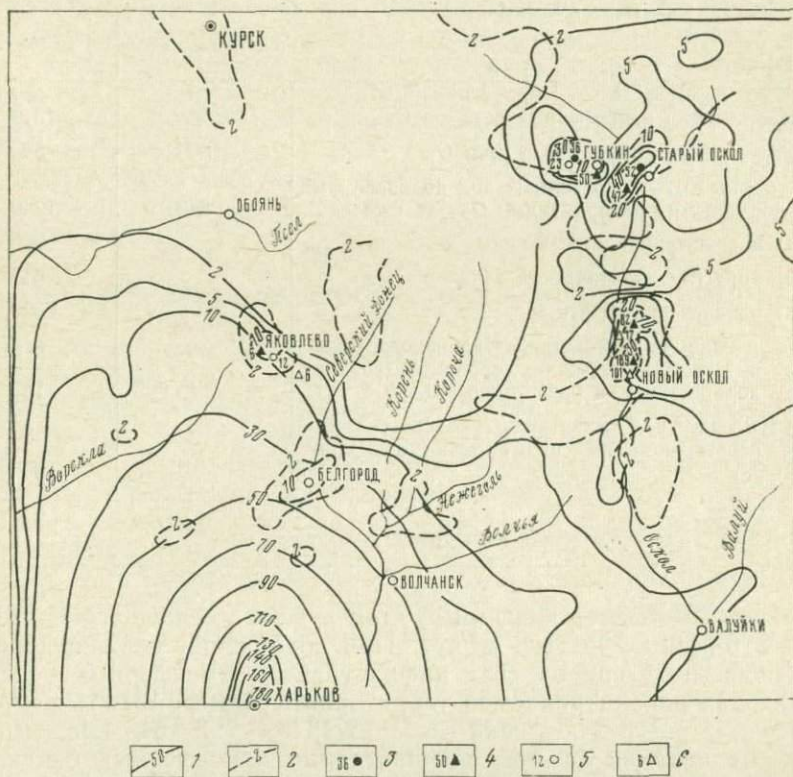


Рис. 40. Схематическая прогнозная карта понижений уровней воды в сеноман-альбском и маастрихт-туронском водоносных горизонтах Курской магнитной аномалии

1 — изолинии понижений уровней воды в сеноман-альбском водоносном горизонте, м; 2 — то же, в маастрихт-туронском водоносном горизонте, м; 3 — понижения уровней воды на водозаборе сеноман-альбского водоносного горизонта, м; 4 — то же, на руднике, м; 5 — понижения уровней воды на водозаборе маастрихт-туронского водоносного горизонта, м; 6 — то же, на руднике, м

перетекания в келловей-батский водоносный горизонт в условиях интенсивного водоотбора на 2000 г. составит: $100 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}/20 \text{ тыс. км}^2 = 5 \text{ м}^3/\text{сут}$, т. е. примерно в 30 раз больше, чем в настоящее время. Отметим также, что из 265 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$, которые будут поступать в 2000 г. в сеноман-альбский горизонт, в нем останется $265 - 100 = 165 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$.

В результате проведенных исследований в данном регионе рассматриваются как современные, так и прогнозные составляющие баланса подземных вод на 2000 г. с учетом взаимодействия водоносных горизонтов и комплексов (табл. 27).

Таблица 27

Составляющие баланса подземных вод района КМА

Составляющие баланса	Величина составляющих баланса, тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$	
	в настоящее время	на 2000 г.
Инфильтрация атмосферных осадков $Q_{\text{инф}}$	1340	1340
Разгрузка подземных вод в реки $Q_{\text{р}}$	1300	545*
Суммарный отбор подземных вод водозаборами и горнорудными предприятиями $Q_{\text{от}}$ за счет:	840	1740
а) инфильтрации атмосферных осадков $Q'_{\text{инф}}$		795
б) упругих и статических запасов $Q'_{\text{ус}}$		645
в) привлечения из рек $Q_{\text{пр}}$		300
Поступление вод маастрихт-туронского горизонта в сеноман-альбский горизонт (разница между перетеканием и разгрузкой) $Q_{\text{пк}}$	40	165
Поступление вод маастрихт-туронского горизонта путем перетекания из сеноман-альбского горизонта $Q_{\text{пт}}$	3	100

* При отсутствии возврата в реки отработанных вод.

Через 30—35 лет подземный сток в реки уменьшится на величину $570 + 225 = 795 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$. При сохранении величины питания подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков в пределах рассматриваемой территории в размере $1340 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$, остаточная разгрузка в реки составит $1340 - 795 = 545 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$, (40% от питания за счет инфильтрации атмосферных осадков). Превышение отбора подземных вод над их питанием путем инфильтрации атмосферных осадков равно $1740 - 795 = 945 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$. Это количество воды должно поступать за счет: а) упругих запасов водоносных горизонтов; б) статических запасов в зонах осушения; в) непосредственного привлечения на отдельных участках воды из рек. В целом по району КМА эта величина составляет $300 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$. Таким образом, за счет упругих и статических

запасов отбирается $945 - 300 = 645$ тыс. м³/сут. Из этой величины 150 тыс. м³/сут отбирается из келловей-батского и более глубоких водоносных горизонтов и 495 тыс. м³/сутки — из маастрихт-туронского и сеноман-альбского водоносных горизонтов.

Приведенные расчеты выполнены без учета возврата использованной воды в реки. Через несколько десятков лет (без учета возврата использованных вод в реки) произойдет существенное изменение структуры баланса подземных вод. Разгрузка подземных вод в реки уменьшится на 60%, значительно (в 4 раза) увеличится перетекание из маастрихт-туронского водоносного горизонта в сеноман-альбский и в 30 раз из сеноман-альбского в келловей-батский. Суммарный отбор подземных вод будет формироваться следующим образом: 46% — за счет инфильтрации атмосферных осадков; 37% — за счет упругих и статических запасов; 17% — за счет поступления воды из рек. Следует заметить, что несмотря на значительное вовлечение в производственный кругооборот подземных вод, разгружающихся в реки, а также непосредственно речных вод, меженный расход рек не будет существенно уменьшен по сравнению с современными условиями, так как немалая часть использованных вод будет возвращаться в реки. В таких условиях потребуются обязательная очистка сбрасываемых вод, так как иначе произойдет загрязнение как поверхностных, так и подземных вод, в особенности верхних водоносных горизонтов.

СЕВЕРОУРАЛЬСКИЙ БОКСИТОВЫЙ БАСЕЙН (СУБР)

Одним из ярких примеров влияния производственной деятельности человека на изменение гидрогеологической обстановки является Североуральский бокситовый бассейн. Бассейн расположен на восточном склоне Урала и приурочен к зоне распространения сильно закарстованных карбонатных пород, образующих вытянутую в меридиональном направлении полосу шириной 3—15 км и длиной в несколько десятков километров. Общая мощность толщи карбонатных пород возрастает в направлении с запада на восток по мере погружения структуры и достигает в восточной части бассейна 1000—1300 м. В массиве неравномерно закарстованных пород выделяются малопроницаемые слои глинистых сланцев, песчаников, конгломератов. Это приводит к формированию здесь меридионально-вытянутых водоносных горизонтов, образующих единую гидравлическую систему благодаря тому, что массив разбит серией дизъюнктивных нарушений, которые характеризуются повышенной закарстованностью и водопроницаемостью.

Многолетними исследованиями гидрогеологической партией СУБР в водоносных комплексах установлена гидродинамическая вертикальная зональность, при этом выделяются три основные зоны: а) верхняя — зона взаимосвязанных карстовых систем; б) средняя — зона локальных карстовых систем; в) нижняя — зона трещинных вод.

Основными путями фильтрации подземных вод являются так называемые водопроводящие зоны, представляющие собой вытянутые закарстованные участки, заключенные между блоками слабопроницаемых пород. Гидрогеологическими и геофизическими исследованиями выявлено несколько десятков водопроводящих зон.

Основными источниками формирования водоносных горизонтов являются атмосферные осадки, поглощающиеся многочисленными карстовыми формами, русловое поглощение поверхностных вод и подземный сток с незакарстованной территории, окаймляющей карстовый бассейн.

Речная система района полностью относится к бассейну р. Сосьвы и ее притокам. Гидрогеологические условия бассейна весьма сложные, а по величине водопритоков в горные выработки месторождения СУБР относятся к одним из наиболее обводненных. Разработка рудной залежи ниже уровня подземных вод сопровождалась высокими водопритоками в горные выработки, достигающими иногда катастрофических размеров при вскрытии карстовых пустот. Значительная доля водопритоков формировалась за счет поглощения речных вод.

Для защиты горных выработок от обводненности в бассейне применяется комплекс дренажных мероприятий — устройство загрядительных дренажных узлов, состоящих из групп глубоких водопонижающих скважин, а также изоляция русел рек от подстилающих водосодержащих пород с помощью железобетонных каналов [78].

Освоение месторождений Североуральского бокситового бассейна привело к нарушению естественного режима подземных и поверхностных вод на обширной территории площадью более 2200 км². Зеркало грунтовых вод в ненарушенных шахтным водоотливом условиях находилось на абсолютных отметках 185—170 м. В результате работы шахтного водоотлива и дренажных узлов уровни снижены по состоянию на 1/1 1975 г. на юге бассейна до абсолютных отметок минус 33 — минус 140 м, в Центральной его части до плюс 20 — минус 30 м. Таким образом, максимальное понижение уровня воды достигает 360 м. Снижение уровней подземных вод в процессе отработки Североуральских месторождений показано на рис. 41. Ступенчатый характер поверхности грунтового потока объясняется блоковым строением карстового массива. В результате разработки и осушения месторождений боксита изменению подверглись три основных природных фактора: а) условия формирования и баланс подземных вод; б) режим поверхностного стока; в) химический состав подземных вод.

Коренные изменения баланса подземных вод произошли на сравнительно небольшой территории ($F \approx 150$ км²) карстового массива, в котором осуществляется разработка бокситовых залежей.

Баланс подземных вод на рассматриваемой площади в естественных и нарушенных шахтным водоотливом условиях для лет 50% обеспеченности поверхностного стока иллюстрирует табл. 28.

В результате освоения месторождений подземный сток увеличился с 3630 м³/ч (суммарный расход источников подземных вод до начала горных работ) до 20 420 м³/ч. Увеличение подземного стока произошло в основном за счет более интенсивного поглощения речной воды в результате распространения под русла рек депрессионной воронки уровней подземных вод, сформировавшейся в процессе осушения водоносного горизонта под влиянием шахтного водоотлива.

Общий объем речных вод, поступивших в горные выработки, за годы эксплуатации СУБРа составил около 1,3 млрд. м³, или 60% от объема шахтного водоотлива. Доля речных вод в водоотливе СУБРа нарастала с 32% в 1944 г. до 70% в 1960 г. Максимальное среднесуточное поглощение воды из рек достигало 37 000 м³/ч.

Для устранения поглощения речного стока в долинах рек были проведены мероприятия по изоляции русел рек путем строи-

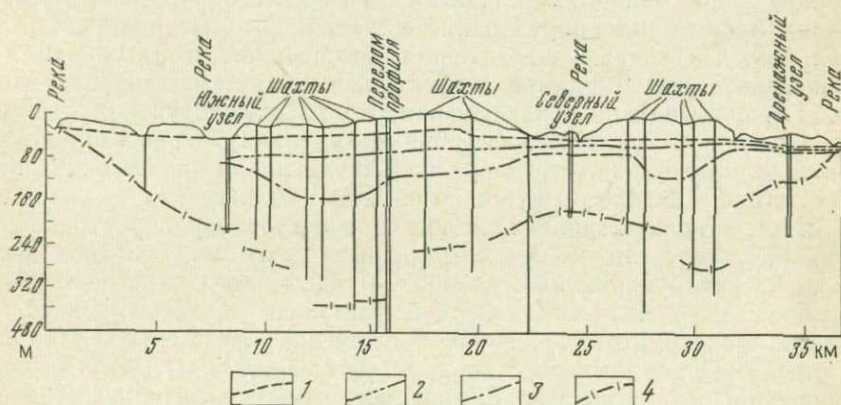


Рис. 41. Меридиональный профиль уровней подземных вод по бассейну Североуральского бокситового района.

1 — максимальный статический уровень подземных вод. Положение уровня подземных вод: 2 — на 1/1 1948 г.; 3 — на 1/1 1955 г.; 4 — на 1/1 1974 г.

Таблица 28

Баланс подземных вод
(по данным И. И. Плотникова)

Состояние карстовых водоносных горизонтов	Поглощение воды в руслах рек, м ³ /ч	Поглощение воды на закарстованной территории, м ³ /ч	Приток из трещинных водоносных горизонтов, м ³ /ч	Приток глубинных подземных вод, м ³ /ч	Поглощение промышленных и хозяйственных стоков, м ³ /ч	Итого
Естественные условия	1 200	1800	630	—	—	3 630
Условия, нарушенные шахтным водоотливом	3 800 (14 200)	4100	1160	600	360	9 920 (20 420)

тельства железобетонных каналов общей протяженностью около 26 км. Это привело ко временному снижению водопритоков за счет речных вод до 33% от объема шахтного водоотлива. Но затем вследствие суффозионного выноса аллювиальных отложений в карст произошло разрушение железобетонной облицовки каналов, что вызвало вновь увеличение поглощения речных вод и затопление горных выработок, расположенных на южном фланге СУБРа.

Суффозионные выносы несвязных аллювиальных грунтов изпод железобетонной облицовки каналов в карстовые формы известняков объясняются следующим образом: а) быстрое снижение уровня подземных вод в карстовом водоносном горизонте привело к образованию подвешенного водоносного горизонта в аллювии, при этом скорости движения воды превысили размывающие (0,6 м/с) и обеспечили вынос взвешенных материалов и возникновение пустот под облицовкой канала; б) неупорядоченный паводковый сток проникал под облицовку канала и вызывал ее обрушение; в) в каналах происходило образование наледей, которые разрушали их облицовку. С целью обеспечения безопасности горных работ и повышения экономической эффективности системы гидротехнических сооружений на реках Вагран, Калья и Колонга параллельно существующим построили аварийные каналы-дублеры. Кроме того, соорудили водохранилища, предназначенные для аккумуляции речного стока в случае разрушения облицовки каналов.

Ввод в эксплуатацию каналов способствовал распространению воронки депрессии за пределы речных русел. Река Сосьва осталась не изолированной. В северо-западной части карстовой области русло ее является северной границей развития депрессии. Здесь происходит интенсивное поглощение речных вод в карбонатный массив в количестве примерно 3,0—2,5 тыс. м³/ч. После частичной изоляции рек от водоносного горизонта поглощение воды уменьшилось до 3800 м³/ч (в среднем за год).

Дополнительное питание водоносный горизонт получает также в результате увеличения поглощения поверхностного стока на закарстованной территории водосбора (4100 вместо 1800 м³/ч), за счет возникновения на площади водосбора новых, поглощающих воду, карстовых форм. На территории бассейна за 40-летний период его эксплуатации образовалось около 1600 новых карстовых форм, а модуль поглощения поверхностных вод увеличился с 20—25 до 38—45 м³/ч с 1 км². Некоторое увеличение подземного стока произошло за счет привлечения глубинных хлоридных и сульфатных вод (600 м³/ч).

Незначительное увеличение ресурсов карстового водоносного горизонта произошло за счет трещинных вод вулканогенно-пирокластических пород, окружающих карстовый массив.

Изменение режима подземных вод за пределами площади распространения депрессионной воронки выражается в снижении их уровня. При этом уровни подземных вод на водоразделах в межженные периоды 1973—1975 гг. повсеместно были ниже на 1,2—

0,3 м минимального уровня подземных вод за многолетний период (1936—1970 гг.). Такое явление вызвано главным образом широким развитием лесоразработок на территории бассейна. Уменьшение лесистости с 90% до 55—50% привело к снижению стокорегулирующей роли лесного покрова и к дезинтеграции поверхностного стока. В результате паводковый сток увеличился в 3—5 раз, а зимний меженный расход реки уменьшился в 5—15 раз. Это привело к уменьшению инфильтрации поверхностных вод и общему снижению уровня подземных вод в меженные периоды.

Химический состав шахтных вод изменяется в процессе освоения месторождений СУБР под влиянием естественных и искусственных факторов. В первом случае метаморфизм этих вод происходит в результате приточности глубинных сульфатных и хлоридных вод. При этом содержание сульфатов в воде повышается до 600 мг/л, а хлоридов до 320 мг/л. Влияние искусственных факторов связано с изоляцией поверхностных водотоков от водоносных горизонтов и с обогащением шахтных вод новыми компонентами в процессе разработки месторождений боксита. В результате этого общая минерализация подземных вод повысилась с 180—200 до 300—400 мг/л. Одновременно с этим повысилось содержание взвешенных частиц в воде до 9 г/л. Все это вызывает необходимость в проведении мероприятий по очистке шахтных вод.

Прогноз дальнейших изменений режима и баланса подземных вод. Прогноз изменения гидрогеологических условий в процессе дальнейшей разработки месторождений описываемого бассейна рассматривался на основе обобщения фактических данных многолетних гидрогеологических исследований по скважинам и горным выработкам, а также применения аналогового моделирования.

В связи с прогнозом водопритоков в горные выработки И. И. Плотников изучал вопрос о развитии карстовых форм в бассейне. Известно, что величина поглощения поверхностного стока изменяется во времени в результате возникновения новых карстовых форм, поглощающих поверхностный сток. Однако, по мнению И. И. Плотникова, на территории Североуральского карстового бассейна возникновение новых карстовых форм не будет заметно влиять на увеличение поглощения атмосферных осадков в ближайшие 15—20 лет. Он объясняет это тем, что в настоящее время в бассейне отмечается уже высокая закарстованность, обеспечивающая поглощение более 90% атмосферных осадков. При этом средний прирост карстовых форм относительно незначительный — около 0,2 карстовых форм на 1 км² в год.

Следовательно, в последующие годы разработки месторождений данного бассейна увеличение водопритока может произойти в основном за счет увеличения площади шахтного водосбора. После вовлечения в эксплуатацию северной части бассейна максимально возможная величина площади шахтного водосбора может составить 360 км². Тогда средний водоприток с этой площади определится

приблизительно в 16 000 м³/ч, т. е. увеличится по сравнению с настоящим на 6000 м³/ч. При годовом снижении уровня подземных вод на 20 м водосборная площадь увеличится на 67 км², при этом произойдет увеличение шахтного водоотлива на 250—300 м³/ч.

Некоторое увеличение водопритоков в горные выработки может произойти в результате поступления глубинных хлоридных и сульфатных вод. Увеличение притока глубинных вод зависит от разности напоров между карстовым водоносным горизонтом и глубинными водоносными системами.

Рост притоков воды вследствие потерь из рек может происходить только за счет р. Сосьвы, так как русла остальных рек на территории карстового бассейна заключены в железобетонные каналы. Вопрос о возможном притоке воды со стороны р. Сосьвы изучался с помощью аналогового моделирования.

Остальные составляющие баланса подземных вод в перспективе останутся практически без изменения. Оценка изменения гидрогеологических условий месторождений СУБРа и прогноз водопритоков в горные выработки осуществлены методами аналогового моделирования и математической статистики.

Для решения этих задач в условиях карста необходима достаточно полная гидрогеологическая информация о массиве трещиноватых и закарстованных пород с целью получения характеристики основных особенностей движения подземных вод в изучаемом районе. При этом необходимо установить взаимосвязь поверхностных и подземных вод, влияние крупных тектонических зон на характер подземного потока, закономерности развития трещиноватости и закарстованности в карбонатном массиве по площади и на глубину, а также учесть величины и особенности питания и режима подземных вод в многолетнем разрезе.

Имеющиеся по Североуральскому карстовому бассейну материалы многолетних исследований позволили обосновать схемы и разработать методику моделирования данного района. Применение моделирования позволило прогнозировать изменения общих водопритоков в горные выработки действующих шахт в условиях их взаимодействия с дренажными узлами, а также изменение гидрогеологических условий в районе дренажных узлов и их производительности.

Выполненное моделирование показало, что депрессионная воронка, сформировавшаяся под влиянием многолетнего водоотлива, при включении в работу Северо-Восточного дренажного узла несколько расширится за счет вовлечения в область влияния новых участков в северо-восточной части района. В связи с этим водораздельная поверхность между региональной депрессией, образованной искусственным дренированием и потоком, направленным в р. Сосьву, переместится на восток, ближе к р. Сосьве. Однако питание реки подземными водами не прекратится, особенно в северо-восточной части бассейна, наиболее удаленной и изолированной водоупорным барьером девонских отложений от центра депрессии. Следовательно, р. Сосьва на востоке района полностью не

будет вовлечена в систему водоотлива и в дальнейшем. Ввод в работу Северо-Восточного дренажного узла вызовет в непосредственной близости от работающего водозабора дополнительное снижение уровня воды на 20—25 м, а на флангах депрессионной воронки на 5—10 м. В условиях установившегося режима при работе этого узла водопритоки в горные выработки действующих шахт северной части бассейна сократятся на 50—60%.

Моделирование позволило дать прогнозы водоприток в системы проектируемых горных выработок на глубоких горизонтах месторождений СУБРа. При этом учитывалось затухание проницаемости пород с глубиной и наличие в разрезе достаточно мощных малопроницаемых слоев, которые могут существенно изменить водопритоки в выработки на глубоких горизонтах.

Проектируемая разработка Сосьвинского месторождения на севере карстового бассейна усилит фильтрацию воды из р. Сосьвы в водоносный горизонт. При этом приток в Сосьвинский дренажный узел может достигь 26 тыс. м³/ч. Результаты моделирования и прогнозов изменения гидрогеологических условий на Сосьвинском месторождении позволили обосновать необходимость отвода р. Сосьвы на 9 км к северу для создания приемлемых условий эксплуатации Сосьвинского и Черемуховского месторождений.

В ближайшие годы предполагается начать разработку месторождений СУБРа до глубины 1000—1200 м. При разработке глубоких горизонтов горные выработки будут располагаться не только в зоне локальных карстовых систем, но и в зоне развития трещинных вод.

На основе исследования на аналоговых моделях можно дать прогноз водоприток в системы горных выработок на разных горизонтах в условиях их взаимодействия с дренажными узлами при максимальной их производительности. По мере углубления горных работ происходит сокращение притоков воды в выработки и их стабилизация на глубине 600—700 м.

Для шахт северной части бассейна большое значение будет иметь работа Северо-Восточного дренажного узла. По мере углубления горных работ приток в дренажный узел в основном останется без изменения, в то же время начнут возрастать напоры воды над горными выработками. Частичное снятие остаточных напоров рекомендуется осуществлять водопонижающими скважинами на площади каждого месторождения. Работой водопонижающих скважин предполагается также снизить притоки воды в горные выработки примерно на 40—50%.

Воды, отбираемые скважинами дренажных узлов, частично используются для водоснабжения г. Североуральска.

ЦЕНТРАЛЬНО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ РАЙОН ПОДМОСКОВНОГО БУРОУГОЛЬНОГО БАСЕЙНА (ЦПР)

На примере этого района даны анализ и общая характеристика изменения гидрогеологических условий обширной территории южного крыла Подмосквовного бассейна под долговременным

воздействием эксплуатации многих угольных шахт и карьеров, ряда крупных водозаборов подземных вод, а также в результате устройства нескольких водохранилищ и многочисленных прудов.

Центрально-промышленный район располагается на территории южного крыла Подмосковского бассейна и занимает площадь 4200 км², при площади всего бассейна 120 тыс. км². Этот район имеет важное промышленное значение. В его недрах сосредоточено 25% балансовых запасов бурого угля всего бассейна; добыча угля по району в течение многих лет составляет 70—77% от размера угледобычи по бассейну в целом.

Среднегодовое количество атмосферных осадков 500 мм. На территории района протекают реки Упа, Проня и Осетр. К бассейну р. Дон относятся водохранилища: Шатское и Любовское. Средний модуль стока бассейна р. Упы 5 л/с с 1 км², среднегодовой расход 14—35 м³/с.

В геолого-гидрогеологическом разрезе Центрально-промышленного района среди отложений нижнего карбона и мезозоя выделяется шесть водоносных горизонтов, активно участвующих в обводнении горных выработок угольных шахт и разрезов или используемых в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. Снизу вверх горизонты располагаются в следующем порядке: озерский, хованско-лебедянский, упинский, яснополянский, серпуховско-окский и мезозойский.

Характеристика указанных водоносных горизонтов подробно освещается во многих опубликованных гидрогеологических материалах по Подмосковному бассейну. Здесь только отметим, что основным источником обводнения горных выработок шахт и разрезов являются упинский и яснополянский водоносные горизонты (подгоризонты надугольный и тульский). Проходка горных выработок и разработка угольных пластов часто сопровождается прорывами воды из этих горизонтов. Водоносные горизонты упинских и тульских известняков дают притоки воды в горные выработки до 500—600 м³/ч. Надугольные пески характеризуются невысокой водообильностью, но прорывы воды из них сопровождаются выносом большого количества песка в подземные выработки.

Поскольку все угольные шахты района эксплуатируются системами с обрушением кровли, происходит оседание и обрушение горных пород над выработанным пространством. Вследствие этого сплошность водоупоров между водоносными горизонтами, залегающими выше разрабатываемого угольного пласта, нарушается и гидравлическая связь между ними усиливается.

Кроме того, в результате образования мульд проседания над выработанным пространством затрудняется поверхностный сток и усиливается подземный сток. Под долговременным (20—25 лет) воздействием многих шахтных водоотливов общей производительностью 28—30 тыс. м³/ч, работы нескольких сотен водопонижающих скважин с суммарным дебитом до 34 тыс. м³/ч и действия водозаборов мощностью более 8 тыс. м³/ч на части территории площадью около 3000 км² произошли изменения модулей поверхност-

ного и подземного стока, первоначальных уровней, химизма и температуры подземных, шахтных и частично поверхностных вод. Для шахтных вод характерно наличие механических взвесей и органического загрязнения. Все вместе взятое привело к значительным изменениям гидрогеологических условий эксплуатации шахтных и карьерных полей и участков подземных водозаборов, заключающихся в основном в следующем:

1) произошло примерно двукратное увеличение общего модуля подземного стока водоносных горизонтов нижнего карбона и мезозоя (с 8,3 до 16,3 м³/ч с 1 км²);

2) изменились первоначальные уровни водоносных горизонтов: упинско-подугольного, яснополянского, серпуховско-окского (нижний карбон) и мезозойского, что проявилось в формировании в указанных водоносных горизонтах обычно локальных депрессионных воронок в районе действующих шахт и водозаборов, либо также в подпоре уровней подземных вод в зоне влияния водохранилищ;

3) изменение химического состава подземных вод проявилось в закономерном росте содержания железа в воде яснополянского (нижнетульский подгоризонт) и упинско-бобриковского горизонтов,

4) при эксплуатации Шатского водохранилища отмечено ухудшение качества воды в нем, заключающееся в химическом и органическом загрязнении.

Отмеченное увеличение модуля подземного стока водоносных горизонтов нижнего карбона и мезозоя обусловлено тем, что:

1) существенно облегчилась инфильтрация атмосферных осадков на больших площадях над выработанным пространством угольных шахт и в карьерах;

2) усилилось поступление (перелив) грунтовых вод в нижезалегающие водоносные горизонты мезозоя и нижнего карбона на площади развития в них депрессионных воронок;

3) обнаружилось обратное поступление (просачивание) до 25% объема отводимых по поверхности земли шахтных вод, которые «улавливаются» образованными вокруг шахт депрессионными воронками.

Формирование депрессионных воронок наблюдается практически во всех водоносных горизонтах нижнего карбона, за исключением озерского. Однако наибольшее развитие они получили в упинско-бобриковском и яснополянском (верхнетульском) водоносных горизонтах, из которых в Центрально-промышленном районе в общей сложности отбирается около 75% общего количества подземных вод.

Основной причиной существенного увеличения водопонизительных работ на шахтных полях является перебазирование горных работ шахт на отработку гипсометрически более пониженных и, следовательно, более обводненных выемочных участков.

В табл. 29 приводятся угольные месторождения, расположенные в восточной, относительно более водообильной и более изученной в гидрогеологическом отношении части района.

Факторы, обуславливающие режим формирования депрессионных воронок
в улинско-подугольном водоносном горизонте

Месторождения	Количество учтенных шахт	Среднее расстояние до реки, км	Начало работы шахт, годы	Водопроводимость горизонта, м ² /сут	Дебит шахтного водоотлива и водопонижающих скважин, м ³ /ч	Общая площадь депрессионной воронки, км ²	Удельный приток, м ³ /ч с 1 км ²
Ширинно-Соколь- ническое	5	1,5—3,0	1951—1956	10,0	2900	115	25,0
Зубовское	5	1,0—3,0	1953—1957	75,0	1850	80	23,0
Выглядовское	2	0,5—1,0	1958—1959	180	7025	70	100,5
Гранковское	3	1,0—4,0	1947—1957	140	1600	65	23,0
Каменецкое, Сморodinское и Бибиковское	8	3—5	1948—1964	95	2800	170	16,5
Люторичское, Ушаковское и Кропотовское	4	2—5	1955—1961	176	3400	200	17,0
Всего	27				12 550 *	630 *	Средний 18,3 *

* Без учета данных по Выглядовскому месторождению.

Анализ данных табл. 29 показывает, что площади сформировавшихся депрессионных воронок в данном случае зависят не только от размеров общего отбора подземных вод на полях действующих шахт, но и от расстояния до ближайшей реки и коэффициента водопроницаемости дренируемых подугольных водоносных горизонтов, от количества одновременно разрабатываемых на месторождении или сближенных месторождений шахтных полей, а также от положения границ месторождения или шахтного поля относительно контуров местного питания основных обводняющих месторождений водоносных горизонтов.

На тех месторождениях, где фильтрационные свойства водовмещающих пород более высокие (коэффициент водопроницаемости 100—175 м²/сут), радиусы влияния и площади депрессионных воронок являются относительно большими, за исключением Выгладовского и Гранковского месторождений, расположенных в непосредственной близости от водохранилища или реки.

В указанных гидрогеологических условиях площади депрессионных воронок (при прочих равных условиях) наиболее значительны и составляют 115—200 км². По другим месторождениям, где осушаемые водоносные горизонты характеризуются меньшими значениями коэффициента водопроницаемости, депрессионные воронки имеют площадь 80—100 км², а для группы месторождений — 170—200 км².

Особо выделяются по степени обводненности шахтные поля Выгладовского месторождения, источником обводнения которого, по-видимому, является расположенное рядом с месторождением Шатское водохранилище.

Депрессионные воронки, образовавшиеся в упинско-бобриковском и яснополянском (нижнетульском подгоризонте) водоносных горизонтах, на достаточно удаленных друг от друга месторождениях характеризуются площадями в десятки квадратных километров, а в районах сближенных групп месторождений — до 170—200 км², при наибольших глубинах их от 20 до 50 м. Воронки депрессии в яснополянском (верхнетульском подгоризонте), серпуховском и мезозойском водоносных горизонтах имеют существенно меньшие размеры из-за прерывистого характера распространения этих водоносных горизонтов. Химический состав и бактериологические свойства подземных вод для большинства нижнекаменноугольных водоносных горизонтов в основном соответствуют нормам ГОСТ 2874—73 на питьевую воду. Исключение составляет содержание железа в водах яснополянского и упинского водоносных горизонтов — 3,5—10 мг/л, увеличивающееся в процессе эксплуатации водозаборов в 2—3 раза. Повышенное содержание железа вызывает необходимость предварительного их обезжелезивания. Увеличения содержания в подземных водах (помимо железа) других химических компонентов при эксплуатации водозаборных скважин не наблюдается.

Однако на участках, значительно нарушенных доугленосным карстом, а также при наличии глубоких размывов пород малевского

водоупорного горизонта, проявляется связь пресных упинских вод с повышенно минерализованными сульфатными натриевыми водами хованско-лебедянского и озерского водоносных горизонтов. Поэтому эксплуатация водозаборных и водопонижающих скважин, заложенных в упинско-бобриковском горизонте на подобных участках, зачастую приводит к постепенному изменению состава воды в действующих скважинах от гидрокарбонатной кальциевой (с общей жесткостью до 16 мг-экв/л) до сульфатной натривой общей жесткостью до 40 мг-экв/л. Это характерно для вод озерского горизонта. Следовательно, имея в виду возможность ухудшения качества хозяйственно-питьевых вод, при выборе участков водозаборов на упинский горизонт следует избегать участков с облегченной взаимосвязью вод данного горизонта с нижерасположенными водоносными горизонтами.

Одним из возможных источников загрязнения хозяйственно-питьевых вод является Шатское водохранилище, вблизи которого расположены крупные водозаборы подземных вод (Юдинский, Ключевской, I Донской). Многолетним (с 1935 по 1962 гг.) опытом эксплуатации водохранилища установлено, что общая минерализация воды в нем неоднократно повышалась с 267 до 1060 мг/л с увеличением жесткости от 3,9 до 5,3 мг-экв/л. Ежегодный прирост количества солей в Шатском водохранилище составляет 15 тыс. т вместо ожидавшегося по проекту 10,3 тыс. т.

Из вредных компонентов следует отметить наличие в воде водохранилища (мг-экв/л): As — до 0,05; Си — до 0,07; фенолов до 0,06, NO₂ — 1,6—5,0 и NO₃ — 23—33,3.

Для регенерации воды в Шатском водохранилище организована подача в него свежей воды из р. Прони в объеме 2 м³/с. При четкой организации работы по подаче свежей воды, а также предусмотренной проектом биологической очистке органических загрязнений сбрасываемых в р. Шат вод имеется возможность существенно улучшить качество воды в Шатском водохранилище и тем самым ликвидировать угрозу загрязнения водозаборов подземных вод, расположенных в зоне подпора водохранилищем подземных вод.

Химический состав и физические свойства шахтных вод обычно аналогичны водам нижнетульского водоносного подгоризонта. Однако шахтные воды содержат взвешенные минеральные частицы до 10 г/л, примеси минеральных масел и др. В большинстве случаев они не агрессивны, но иногда наблюдается их повышенная кислотность.

Отличительной особенностью кислотных вод является повышенное содержание сухого остатка — 1500—5760 мг/л, вместо 250 мг/л в обычной шахтной воде и пониженное значение рН 3,5—4,5, вместо обычного рН 7,2.

При существующем в районе дефиците в питьевой воде проблемы хозяйственно-питьевого водоснабжения следует решать путем оптимальной увязки вопросов предварительного осушения шахтных (карьерных) полей и водоснабжения. Это удовлетворительно

решено при предварительном осушении углеразрезв Кимовского и Ушаковского, а также восточного крыла поля шахты № 39/40 «Прогресс». Здесь большая часть откачиваемых законтурными водопонижающими скважинами подземных вод была использована для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Отмеченное выше комплексное решение проблемы водоснабжения и осушения месторождений представляется весьма важным для района строительства новых угольных шахт.

В северо-восточной части ЦПР расположен участок площадью около 500 км², где имеются промышленно осваиваемые угольные месторождения: Грызловское, Восточно-Грызловское, Березовское и Белевское, на которых начато строительство четырех новых шахт с вводом в эксплуатацию их в 1979 г. Ожидаемый общий водоприток по четырем шахтам составит 3500 м³/ч. Основная часть водопритока в шахты поступит из серпуховско-окского водоносного горизонта, характеризующегося здесь повышенной водопроницаемостью. Кроме того, серпуховско-окский водоносный горизонт получает существенное питание за счет инфильтрации талых и атмосферных вод и речных вод рек Осетр, Веневка, Вашана и др. Ориентировочная общая потребность строящихся шахт в хозяйственно-питьевой и технической воде составит 1500 м³/ч. Вода будет получена путем устройства здесь нескольких подземных водозаборов.

Таким образом, в связи со строительством шахт общий отбор подземных вод на рассматриваемой площади составит примерно 5000 м³/ч.

Формирование воронки депрессии по аналогии с действующими шахтами бассейна будет происходить в районе строящихся шахт сравнительно медленно, в течение 2—3 лет, с радиусом влияния не более 2—3 км.

В заключение следует отметить, что несмотря на ежесуточный отбор шахтных пресных вод в 1,5 млн. м³, которые сбрасываются в ближайшие водотоки, в бассейне трудно с хозяйственно-питьевым водоснабжением. Потребности населения в питьевой воде удовлетворяются за счет использования источников водоснабжения, расположенных в десятках километров от потребителей. В связи с этим необходимо разработать мероприятия по использованию вод водопонижительных скважин. Возможность гидрогеологического обоснования такого рода мероприятий в настоящее время имеется. Для этого необходимо привлечь к разработке проектные организации и санитарные учреждения.

ЗАПАДНЫЙ ДОНБАСС

Среди районов Большого Донбасса гидрогеологические условия Западного Донбасса являются наиболее сложными и разнообразными. Пологозалегающие карбоновые и горизонтально перекрывающие их мезозойские и кайнозойские породы образуют сложную систему этажно расположенных водоносных горизонтов и

комплексов, число которых на отдельных участках достигает 10 и более. Из-за отсутствия достаточно выдержанных водоупоров между всеми водоносными горизонтами в естественных условиях существует различной степени активности гидравлическая связь. Общая мощность обводненных пород изменяется от 20—60 до сотен метров, увеличиваясь с погружением пород к оси Днепровско-Донецкой впадины.

В водоносных горизонтах кайнозоя содержатся пресные и слабо-минерализованные воды (1,0—1,5 и 1,5—3,0 г/л) и формируется до 90% их эксплуатационных запасов: в нижележащих горизонтах практически повсеместно распространены минерализованные, соленые воды и рассолы.

Под влиянием работы водозаборов и водоотлива из шахт естественный режим всех горизонтов претерпел значительные изменения. В районе эксплуатируется несколько крупных водозаборов производительностью от 5 до 28 тыс. м³/сут и с суммарным водоотбором около 45 тыс. м³/сут. Под влиянием работы водозаборов образовались депрессионные воронки глубиной до 15—25 м и площадью 25—50 км² и более. Общее снижение уровня подземных вод на участках всех водозаборов достигло 4—5 м. Это привело к осушению шахтных колодцев, которые широко используются для водоснабжения населенных пунктов. Одновременно ухудшается качество откачиваемых вод.

Таким образом, опыт эксплуатации подземных вод показывает, что несмотря на сравнительно небольшую продолжительность работы водозаборов (5—15 лет), вызванные ими понижения уровней обуславливают существенные изменения гидрогеологической обстановки. Из анализа естественной и нарушенной обстановки следует, что ведущую роль в протекании процессов, сопутствующих водоотбору (развитие депрессий, снижение уровней горизонтов, осушение горизонтов грунтовых вод, изменение их качества), играют условия питания эксплуатируемых водоносных горизонтов кайнозоя, которые на территории Западного Донбасса залегают преимущественно неглубоко и непосредственно связаны с атмосферными водами.

В последние годы наиболее значительные региональные изменения гидрогеологической обстановки в Западном Донбассе связаны с интенсивным развитием горных работ. Гидрогеологические условия угольных месторождений района характеризуются большой сложностью и разнообразием. На большей части территории водоносные горизонты покровных пород и продуктивной толщи в естественных условиях имеют между собой гидравлическую связь.

Вследствие значительных снижений уровней в угленосной толще (более 100 м) при ведении горных работ резко возрастают взаимодействие водоносных горизонтов и величины притоков в горные выработки (до 500—1000 м³/ч). За период 1961—1974 гг. шахтами откачано около 128 млн. м³ воды, из них 112 млн. м³ с минерализацией 2,3—2,7 г/л и до 16 млн. м³ — с минерализацией

8—18 г/л и более. В настоящее время суммарный шахтный водоотлив превышает 2200 м³/ч.

Принятая технология добычи углей в Западном Донбассе существенно влияет на окружающую среду (гидрогеологические, геоморфологические условия и др.) и сопровождается следующими явлениями и процессами:

1) снижениями уровней подземных вод и формированием на больших площадях значительных по размеру и объемам депрессий; осушением отдельных участков водоносных горизонтов покровных отложений, содержащих основную часть запасов пресных вод;

2) просадками дневной поверхности, достигающими 3—5 м и более (около 85—90% от суммарной мощности обрабатываемых пластов);

3) затоплением части подрабатываемых участков с накоплением в них значительных количеств минерализованных вод, а также подтоплением прибрежных зон вблизи прудов-накопителей шахтных вод;

4) сбросом в реки и поверхностные водоемы большого количества шахтных вод, имеющих повышенную минерализацию и бактериальное загрязнение;

5) подтоплением городских территорий и отдельных промышленных объектов.

С начала 60-х годов шахтными водами в основную водную артерию района (р. Самару) сброшено около 640 тыс. т солей; в последнее время сброс солей достиг 65—70 тыс. т в год (в основном хлориды натрия). При суммарном сбросе минерализованных шахтных вод около 0,6 м³/с (50—60% межленного стока р. Самары) минерализация речных вод увеличилась на 1,2—2,0 г/л. Резко отличаясь от речных вод по химическому составу и биологическим свойствам, шахтные воды оказывают вредное воздействие на речную сеть и приречные территории.

Откачка больших объемов воды привела к развитию депрессионных воронок на территориях шахтных полей. В основном напорном водоносном горизонте района (бучакском) сформировалась депрессия глубиной до 40 м, площадью около 400 км², при объеме до 2,3 млрд. м³. В сарматском безнапорном водоносном горизонте осушено до 100 млн. м³ песков на площади 100—120 км². Снижение его уровня в центре образовавшейся депрессии достигло 7 м.

Опыт ведения горных работ и прогноз показывают, что на участках с высокими шахтными притоками (восточная часть месторождения) произойдет интенсивное развитие значительных по размеру депрессий (депрессия распространится в пределах всей рассматриваемой территории), в результате чего частично или полностью осушатся горизонты грунтовых вод, играющие важную роль в водоснабжении сельскохозяйственных объектов.

К 1990 г. влиянием шахтного водоотлива и работы водозаборов будет охвачена практически вся площадь Павлоградско-Первомайского промышленного района.

Максимальные величины понижений уровней бучакского и вышележащих горизонтов (до 35—40 м) будут отмечены на востоке района, в центральной и западной частях значения понижений составят 15—25 м.

Одновременно под влиянием водоотлива происходят заметные изменения условий питания и разгрузки подземных вод. Так как на значительной части района в питании подземных вод преобладает инфильтрация, все более ощутимым источником их загрязнения становится инфильтрация на участках терриконов, прудов-накопителей шахтных вод, просадок и затопления дневной поверхности.

В процессе наблюдений за химическим составом подземных вод на участках терриконов, прудов-накопителей и просадок поверхности земли, по предварительным данным, установлено увеличение их минерализации на 1—2 г/л и более до глубины 15—30 м.

Среди процессов, связанных с горными работами и отрицательно сказывающихся на природной обстановке, следует особо отметить оседание (просадки) дневной поверхности, которое существенно возрастет к 1990 г.

Работами Днепропетровского горного института установлено, что для Западного Донбасса коэффициент оседания равен 0,85—0,90 (85—90% от суммарной отработанной мощности углей). В этих же работах определены расчетные границы зоны оседания и ее затопленных участков. Расчеты, выполненные на основе этих данных, показывают, что объем зоны оседания от естественного положения дневной поверхности составит около 600 млн. м³ при средней глубине площади оседания 2,5 м. При этом участки с глубиной оседания 5—7 м будут иметь площадь около 20 км², а с глубиной 3—5 м — до 110 км². На затопленной части зоны оседания площадью около 147 км² в ближайшем будущем будет накоплено 438 млн. м³ воды с минерализацией 1,8—2,5 г/л. Участки с высотой столба воды 5—7 м будут иметь площадь 24 км², а с высотой столба 3—5 м — до 66 км². Средняя глубина затопления 3 м.

На рис. 42 приводится схема оседания поверхности земли и участков затопления территории. Из рис. 42 видно, что в районе сформируются три локальных участка затопления: восточный, центральный и западный. Общая площадь участков затопления 147 км². На этой затопленной площади в воде будет растворено более 1 млн. т солей.

Так как для района Западного Донбасса характерно превышение величины испаряемости (0,7 м/год) над среднегодовым количеством осадков (0,4 м/год) примерно на 0,3 м, то в этих условиях будет происходить рост минерализации воды в затопленных участках под влиянием преобладающего испарения. Аналогичные процессы имеют место в прудах, старицах и бессточных озерах района.

В связи с ростом промышленного и жилищного строительства все больший практический интерес вызывают процессы подтопления территории. На значительных площадях вследствие инженерной

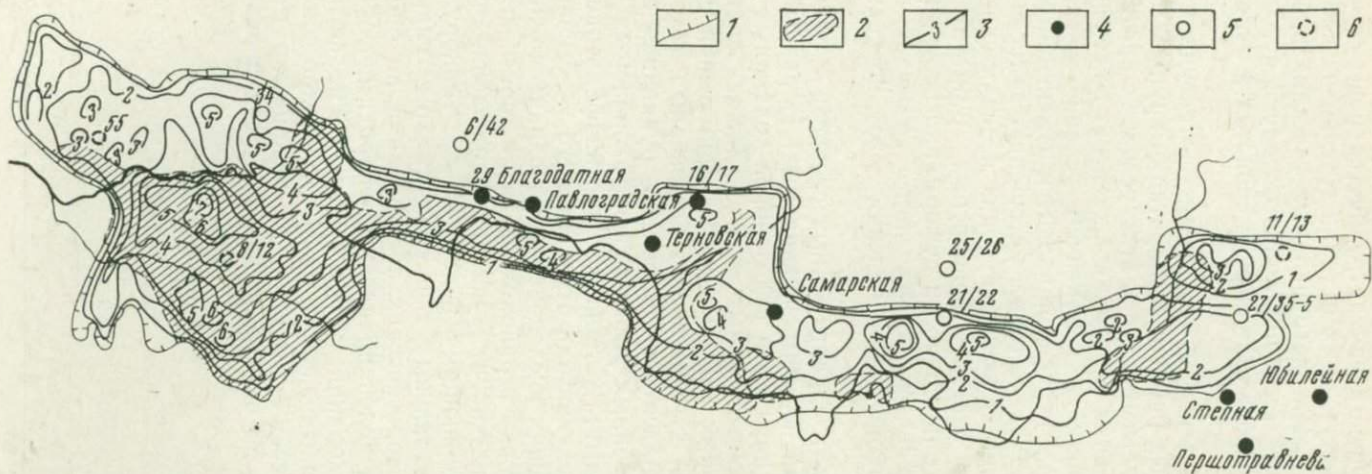


Рис. 42. Схематическая карта оседания поверхности земли и участков затопления грунтовыми водами поймы и террас р. Самары под влиянием эксплуатации шахт Западного Донбасса.

1 — граница зоны оседания поверхности земли под влиянием подработки на пойме и террасах; 2 — участки затопления зоны оседания на пойме и второй надпойменной террасе; 3 — изолинии оседаний дневной поверхности. Шахты Западного Донбасса: 4 — действующие; 5 — строящиеся; 6 — проектные

перепланировки территории (засыпка оврагов, балок, асфальтирование и пр.) существенно затрудняется разгрузка грунтовых вод или интенсифицируется их питание (утечки из коммуникаций, водохранилищ и пр.). На застраиваемых участках происходит избыточное увлажнение лёссово-суглинистых пород оснований, которое ухудшает их физико-механические свойства и условия работы сооружений.

Обобщение наблюдений за явлениями, протекающими в районах развития горнорудных работ и эксплуатации крупных водозаборов подземных вод, показывает, что в этих условиях протекают сложные процессы, изученные в различной степени. Интенсивный водоотбор, сопровождающийся изменением условий питания и разгрузки подземных вод, нередко приводит к изменению химического состава отбираемых вод, а также истощению запасов подземных вод. Кроме того, формирование глубоких и значительных по площади депрессий в системе водоносных горизонтов приводит к уплотнению всей толщи пород и деформации поверхности земли. Сброс откачиваемых шахтных вод часто вызывает загрязнение подземных вод в районе месторождения и вод поверхностных водотоков.

Намечены два пути охраны водных ресурсов в районах разработки месторождений полезных ископаемых: 1) разработка критериев безопасной эксплуатации водозаборов подземных вод в районах действия водопонижительных и водоотливных систем на месторождениях полезных ископаемых без применения специальных защитных устройств; 2) применение инженерных методов охраны водных ресурсов. Сюда относятся очистка рудничных вод; использование при определенных условиях вод, отбираемых водопонижительными скважинами; устройство противодиффузионных завес вокруг месторождения или отдельных его участков.

Задачей дальнейших исследований по охране водных ресурсов и природной обстановки в районах развития горных работ, по нашему мнению, является: а) усиление наблюдений за режимом подземных вод, изменяющимся под влиянием горнорудных работ; б) организация специальных экспериментальных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на опорных пунктах; в) организация целенаправленных гидрохимических и гидродинамических исследований; г) исследования в области устройства противодиффузионных завес в различных гидрогеологических и инженерно-геологических условиях; д) разработка гидрогеологических обоснований по охране водных ресурсов в районах горнорудных работ.

ГЛАВА VI

ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ИХ ОХРАНА

Воздействие человека на окружающую среду проявляется в различных аспектах. Весьма значительным по своим масштабам является изменение геологических и гидрогеологических условий вследствие разработки месторождений полезных ископаемых, в особенности нефти и газа, проведения широкого комплекса земляных и осушительных работ, шахтного водоотлива, строительства гидротехнических сооружений, перераспределения поверхностного стока рек, использования земных недр для различных целей (подземное захоронение промышленных отходов, искусственное восполнение запасов подземных вод, сооружение подземных хранилищ газа и др.), проведения мелиоративных мероприятий.

Влияние хозяйственной деятельности человека на гидрогеологические условия проявляется в двух основных направлениях: а) изменение гидрохимических условий и загрязнение подземных вод и б) сработка уровней подземных вод и истощение их запасов. Особенно остро стоит вопрос о загрязнении подземных вод, в особенности пресных и слабо солоноватых, являющихся важнейшим источником хозяйственно-питьевого водоснабжения. Под загрязнением подземных вод понимаются любые изменения качества воды (физические, химические, биологические свойства) по сравнению с ее естественным состоянием, которые делают ее частично или полностью непригодной для использования. Критерием оценки степени загрязнения подземных вод служат изменения ее органолептических свойств, нормы предельно допустимых концентраций отдельных компонентов и общей минерализации воды. Угроза загрязнения подземных вод представляет во много раз большую опасность, чем угроза их количественной нехватки.

СВЯЗЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ОБЩИМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА НИХ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Загрязнение подземных вод в значительной степени обусловлено загрязнением окружающей среды в целом — поверхности земли (почвы), поверхностных вод, атмосферы и атмосферных осадков.

Загрязняющие компоненты с поверхности земли (почвы) вместе с атмосферными осадками инфильтруются в грунтовые воды. Загрязнение поверхностных вод в результате взаимосвязи поверхностных и подземных вод попадает в горизонты подземных вод. Загрязнение атмосферы через пыль и атмосферные осадки передается поверхностью земли поверхностным водам, а через них — в подземные воды.

Основными загрязнителями подземных вод являются: а) промышленные отходы и прежде всего промышленные сточные воды; б) бытовые стоки и отходы; в) сельскохозяйственные удобрения и ядохимикаты.

В целом ряде случаев загрязнение подземных вод, главным образом пресных подземных вод, вызывается природными некондиционными водами (поверхностными и подземными). Под некондиционными (по отношению к пресным водам) понимаются воды повышенной минерализации или содержащие отдельные компоненты сверх допустимых для питьевых норм вод. Так, с морскими водами связано засоление пресных подземных вод в прибрежных районах.

Наличие в пласте подземных вод повышенной минерализации приводит к подтягиванию последних к водозабору и ухудшению качества пресных подземных вод.

Основное загрязнение окружающей среды и подземных вод отмечается в промышленных районах. Здесь, наряду с подземными водами, происходит интенсивное загрязнение почвы, атмосферного воздуха и поверхностных вод, которое в конечном итоге ухудшает качество подземных вод.

Загрязнение почвы обусловлено складированием на поверхности земли твердых и жидких промышленных отходов, производственными и аварийными утечками из систем промышленной канализации и трубопроводов, потерями и аварийными ситуациями при транспортировке исходного сырья и готового продукта, влиянием автомобильного и железнодорожного транспорта и другими факторами. Так, в районе Солегорских калийных комбинатов содержание минеральных солей в метровом слое почвы (возникшее вследствие прорыва рассолов из солеотвалов) достигало 185 т/га, что намного выше нормы (от 2—3 до 5 т/га). На территории Дзержинского фенольного завода (Донецкая область) породы до глубины 17 м засолены и загрязнены фенолами концентрацией до 3000 мг/кг, нейтральными маслами и пиридиновыми соединениями. Атмосферные осадки и грунтовые воды насыщаются ими и загрязняют р. Кривой Торец. Согласно В. М. Перельгину, за 11-летний период в почве вокруг свинцово-цинкового комбината возросло содержание сульфатов в 1,2—8,2 раза, свинца в 2,4—16,2 раза, мышьяка в 2,0—5,1 раза по сравнению с содержанием этих компонентов в чистых почвах. Интересный пример ртутного загрязнения почвы и воздуха приводится в работе А. П. Большакова, С. И. Кирикилица, Л. И. Птушка и А. М. Эдельмана (1974 г.). Вокруг ртутного завода имеются

весьма широкие и контрастные техногенные ореолы ртути в почве и воздухе. По мере удаления от завода содержание ртути в почвах падает неравномерно, с резким возрастанием на участках подъездных путей, горных выработок и хвостохранилищ. Ореол резко повышенного содержания ртути составляет примерно $1 \times 1,5$ км и вытянут в направлении господствующих ветров. Размеры техногенного ореола ртути в воздухе вокруг завода достигают 5—6 км и соизмеримы с ореолом ртути в почве.

По данным Института общей и коммунальной гигиены им. А. Н. Сысина, в СССР под поверхностное складирование промышленных отходов заняты сотни тысяч гектар плодородных земель. Только в результате зольных отвалов тепловых электростанций ежегодно теряется около 2000 га земельных угодий. Содержащиеся в почвах загрязняющие вещества вместе с атмосферными осадками инфильтруются в грунтовые воды и ухудшают их качество.

Не менее важным фактором загрязнения почвы, поверхностных и подземных вод являются выбросы отходов промышленных предприятий в атмосферу. В отличие от локального интенсивного загрязнения почв и подземных вод непосредственно на участке промышленного предприятия и особенно вблизи поверхностных хранилищ отходов, загрязнение атмосферы приводит к загрязнению поверхности земли и подземных вод на значительно больших площадях, хотя и с меньшей степенью интенсивности. С загрязнением атмосферы связано возникновение нового искусственного регионального гидрохимического фона грунтовых вод. Загрязняющее воздействие атмосферы на почвы, поверхностные и подземные воды связано с выпадением пыли и загрязненных атмосферных осадков (дождя, снега).

Так, в районе промышленного города Питтсбурга (США) за год осаждается на 1 км^2 поверхности земли 390 т, а в Токио 410 т пыли, содержащей различные загрязняющие ингредиенты.

Исследования, проведенные в южных областях ГДР, показали, что содержание нитратов в атмосферных осадках составляет 2—5 мг/л, ортофосфатов до 1—2 мг/л; в снеге средняя концентрация ортофосфатов 0,15—0,2 мг/л. Для атмосферных осадков характерна кислая реакция (рН 4,3—4,9).

В районе Новолипецкого металлургического завода содержание фенола в пробах снега, отобранных в 1973 г., изменялось от 0,004 до 0,08 мг/л.

В городе Темиртау, по данным Е. И. Кутырева (1973 г.), концентрация пыли, окиси углерода сернистого газа превышает предельно допустимую концентрацию. Содержание в воздухе никеля, свинца и железа в районе одного из промышленных центров составляет соответственно 100, 60 и 32 мкг/л; в удалении от этого центра содержание указанных веществ снижается до 2,4, 6,1 и 32 мкг/л.

Одним из основных источников загрязнения воздуха в горо-

дах становится автотранспорт. Так, в Лос-Анджелесе автомобили ежегодно выбрасывают в воздух около 9 тыс. т угарного газа, 2 тыс. т углеводородов, 450 тыс. т окиси азота и др.

С воздухом загрязняющие вещества переносятся на огромные расстояния. На поверхность Антарктиды с 1947 г. вместе со снегом выпало свыше 2300 т ДДТ, а в пределах Северного моря ежегодно вместе с осадками и пылью выпадает около 300 тыс. т пестицидов.

Все это свидетельствует о том, что загрязнение атмосферы имеет большое значение в загрязнении поверхности земли и подземных вод и требует специального изучения.

Загрязнение подземных вод в значительной степени обусловлено загрязнением поверхностных вод. Особенно это характерно для речных долин при эксплуатации водоносных горизонтов аллювиальных отложений. Анализ материалов по гидрохимии поверхностных вод, обобщаемый в «Гидрохимических бюллетенях» Новочеркасского гидрохимического института, показывает загрязненность промышленными и бытовыми отходами многих участков некоторых рек европейской части СССР, юга Сибири, районов Казахстана и Средней Азии.

Загрязнены реки Волго-Уральской области, главным образом нефтепродуктами и фенолами. Основное загрязнение поверхностные воды получают на территориях, прилегающих к крупным городам и промышленным центрам. Загрязнение поверхностных вод передается подземным водам, в особенности если последние эксплуатируются вблизи поверхностных водотоков и водоемов. Так, в Башкирии и Татарии отбор подземных вод для хозяйственно-питьевых целей производится в основном из аллювиальных отложений речных долин. В этом районе в ряде случаев отмечается загрязнение подземных вод на инфильтрационных водозаборах в долинах рек. Таким образом взаимосвязь поверхностных и подземных вод обуславливает загрязнение последних особенно при наличии инфильтрационных водозаборов. Проникновение загрязненных речных вод в водоносный горизонт происходит за счет боковой фильтрации со стороны берега и вертикальной фильтрации с поверхности земли при затоплении поймы и низких террас в паводковый период.

Загрязнение подземных вод, обусловленное влиянием реки, прослеживается вдоль долины реки и носит линейный характер. Загрязнение подземных вод, вызванное загрязнением атмосферы, может проявляться, хотя и с небольшой интенсивностью, но на значительной площади, и его можно охарактеризовать как региональное загрязнение; при этом в площадном загрязнении подземных вод и поверхности земли могут выделяться отдельные вытянутые зоны с большей степенью загрязнения, приуроченные к направлениям господствующих ветров. Сосредоточенное, интенсивное загрязнение подземных вод, хотя и проявляющееся на сравнительно небольшой площади (локальное загрязнение), имеет место непосредственно на территории промышленных объектов.

Из всех видов промышленных отходов наибольшее значение в загрязнении подземных вод имеют промышленные сточные воды, что обусловлено большим количеством «вырабатываемых» промышленностью стоков, высоким содержанием сильно загрязняющих токсичных компонентов, сложностью их очистки. Главными «производителями» сточных вод являются химическая, нефтегазовая, горнодобывающая, целлюлозно-бумажная, текстильная промышленность и др. Среди них по количеству сточных вод и их загрязненности первое место занимает химическая промышленность. Так, в США и ФРГ объемы сточных вод химической промышленности составляют около 30% всего объема стоков. Суточный расход сточных вод отдельных предприятий химической и нефтеперерабатывающей промышленности исчисляется десятками и даже сотнями тысяч кубометров.

Большой удельный вес среди сточных вод занимают так называемые теплообменные воды, сброс которых приводит к «тепловому загрязнению» водоемов. В среднем на охлаждение в промышленности расходуется 70—80% валового расхода воды (для теплоэнергетики аналогичная величина составляет 90—95%).

Суммарный сброс сточных вод достигает огромных цифр: общий объем сточных вод во всем мире на конец 60-х годов оценивался в 600—700 млрд. м³. По далеко не полным данным общее количество стоков (промышленных и бытовых) в СССР составило в 1974 г. порядка 2000 м³/с. Устойчивый сток рек для многих районов Европейской части СССР уже недостаточен для разбавления в необходимых пределах сбрасываемых в реки сточных вод (даже прошедших очистку).

Основное загрязнение подземных вод происходит на участках расположения поверхностных хранилищ отходов. Именно эти хранилища (пруды-накопители, пруды-испарители, отстойники, золоотвалы, шламонакопители, гидроотвалы, хвостохранилища и др.) являются главными источниками загрязнения подземных вод в районах промышленных объектов.

На участках крупных прудов-испарителей и прудов-накопителей площадь загрязнения подземных вод исчисляется многими десятками квадратных километров. «Пятна» загрязнений от отдельных очагов, располагаясь и сливаясь между собой, обуславливают загрязнение подземных вод больших территорий.

Так, например, действующие пруды-накопители и пруды-испарители ряда предприятий Волгоградской области (например; нефтеперегонный завод) расположены на территории радиусом 10—15 км. Общая площадь этих емкостей составляет более 100 км². Примерно такая же площадь отводится под проектируемые новые пруды-испарители. Подземные воды загрязнены фильтрующимися с поверхности стоками по всей площади указанных хранилищ. Предварительные прогнозы показывают, что вследствие растекания стоков только от существующих хранилищ без учета проектируемых) общая площадь загрязнения подземных вод несколько увеличится, причем «пятно» загрязнения будет

расширяться и в последующие годы. Такого же порядка цифры характерны для других крупных поверхностных хранилищ стоков.

Приведенные цифры свидетельствуют о том, что локальный процесс загрязнения подземных вод может перейти в региональное явление.

Одним из основных путей проникновения загрязняющих компонентов в водоносные горизонты являются заброшенные, неликвидированные и находящиеся в плохом техническом состоянии эксплуатационные и наблюдательные скважины. Исследование водоснабженческих скважин в США (было обследовано около 23% от общего их числа), проведенное в течение 5 лет и законченное в 1969 г., показало, что $\frac{1}{5}$ обследованных скважин служит источником загрязнения подземных вод эксплуатируемых горизонтов вследствие плохого технического состояния — отсутствия качественных оголовков, плохого цементирования, разгерметизации обсадных колонн и др.

Выявление и ликвидация заброшенных скважин, контроль за техническим состоянием эксплуатационных и наблюдательных скважин являются важными мероприятиями в деле охраны подземных вод от загрязнения.

Говоря о загрязнении подземных вод, следует иметь в виду прежде всего загрязнение пресных подземных вод, а также слабо соленых подземных вод, минерализация которых не превышает 1—3 г/л. Пресные воды — самый ценный и важный тип подземных вод, они широко используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения и наиболее подвержены загрязнению. В меньшей степени понятие загрязнения подземных вод относится к водам повышенной и высокой минерализации, которые не могут быть использованы для хозяйственно-питьевого водоснабжения, сами могут быть причиной загрязнения (засоления) пресных подземных вод. В этой связи особого внимания требуют вопросы охраны от загрязнения подземных вод на водозаборах хозяйственно-питьевого назначения и прежде всего централизованных водозаборов.

Выполненное ВСЕГИНГЕО совместно с территориальными геологическими управлениями и экспедицией МГ РСФСР обобщение имеющегося материала (преимущественно фондового) позволило выявить в пределах СССР водозаборы, на которых имеется или потенциально возможно загрязнение подземных вод.

Всего таких водозаборов 609 (имеются в виду водозаборы с дебитом более 1 тыс. м³/сут), в том числе на территории РСФСР 359 водозаборов, на территориях республик Средней Азии и Казахстана 112 водозаборов, на территориях республик европейской части СССР 138 водозаборов. В целом на Европейскую часть СССР приходится 317 водозаборов, на Азиатскую часть СССР 292 водозабора. Из 317 водозаборов европейской части СССР 25% водозаборов характеризуются загрязнением промышленными отходами, 15% — загрязнением некондиционными природными во-

дамы, 10% — загрязнением бытовыми отходами, 50% — загрязнением смешанного характера (промышленные и бытовые отходы, пестициды, природные некондиционные воды), прежде всего солеными подземными и морскими водами.

Наиболее часто и повсеместно в Европейской части СССР загрязнены водоносные горизонты в четвертичных, неогеновых и палеогеновых отложениях (150 водозаборов). Загрязнение водоносных горизонтов меловых отложений отмечается на 27 водозаборах, пермских водоносных горизонтов на 19 водозаборах, каменноугольных водоносных горизонтов на 55 водозаборах (преимущественно в Московском артезианском бассейне), девонских водоносных горизонтов на 27 водозаборах (в основном Прибалтика, Белоруссия, центральная часть РСФСР), водоносных горизонтов нижнего палеозоя и протерозоя на 39 водозаборах (Прибалтика, северо-запад РСФСР).

Для глубоких напорных горизонтов наиболее характерно загрязнение некондиционными подземными водами, которые подтягиваются к водозабору из эксплуатационного горизонта или из смежных водоносных горизонтов. Отмечается загрязнение напорных горизонтов протокками, которые поступают через заброшенные скважины, через литологические «окна» и трещины в водоупоре, через находящиеся в плохом техническом состоянии эксплуатационные скважины (последний случай характерен для водозаборов преимущественно ведомственных, на которых отсутствуют зоны санитарной охраны). В меньшей степени загрязнены бытовыми стоками глубокие горизонты.

Для водоносных горизонтов четвертичных отложений и залегающих близко от поверхности водоносных горизонтов коренных отложений в одинаковой степени частыми являются загрязнения промышленными и бытовыми отходами, пестицидами и природными некондиционными водами (поверхностными и подземными); эти виды загрязнений поступают в водоносный горизонт и к водозабору за счет инфильтрации с поверхности земли, через дефектные скважины и заброшенные, за счет фильтрации загрязненных речных вод и атмосферных осадков, подтягивания некондиционных подземных вод и др.

Проникновение загрязнения в подземные воды и его распространение по водоносному горизонту резко интенсифицируются в условиях концентрированного отбора подземных вод, осушения, шахтного водоотлива. Развивающиеся в результате отбора подземных вод воронки депрессии способствуют инфильтрации загрязняющих веществ с поверхности земли, подтягиванию к водозабору загрязненных поверхностных и минерализованных подземных вод, увеличению масштабов загрязнений водоносного горизонта. Чем больше сработка запасов подземных вод и снижение их уровней, тем более благоприятные условия создаются для проникновения загрязняющих веществ в подземные воды. Следовательно, вопросы загрязнения подземных вод и сработки их запасов в результате интенсивного водоотбора между собой тесно связаны.

Основными путями проникновения загрязняющих веществ в подземные воды и причиной их загрязнения являются: а) инфильтрация стоков с поверхности земли; б) боковая и вертикальная фильтрация загрязненных речных вод; в) инфильтрация загрязненных атмосферных осадков; г) заброшенные неликвидированные скважины; д) находящиеся в плохом техническом состоянии эксплуатационные и наблюдательные скважины; е) подтягивание природных некондиционных поверхностных вод; ж) подтягивание некондиционных подземных вод по пласту (в самом эксплуатационном горизонте), снизу или сверху (из смежных водоносных горизонтов) за счет площадного перетекания или локального перетекания через трещины, разломы, литологические «окна» в водоупоре. Загрязнение подземных вод в значительной степени зависит от условий их природной защищенности. Под защищенностью подземных вод понимается прежде всего перекрытость водоносных горизонтов слабопроницаемыми отложениями, препятствующими или затрудняющими проникновение загрязняющих компонентов с поверхности земли. Естественная защищенность подземных вод обеспечивается наличием перекрывающих слабопроницаемых пород, их экранирующими (водоупорными) и поглощающими (сорбционными) свойствами.

Защищенность подземных вод зависит от многих факторов, которые можно разбить на две группы — природные и искусственные. К основным природным факторам относятся: перекрытость подземных вод слабопроницаемыми отложениями, их сплошность и распространенность на большой территории; мощность, литология, фильтрационные и поглощающие свойства перекрывающих слабопроницаемых пород; глубина залегания подземных вод (в особенности это имеет значение для грунтовых вод); соотношение уровней исследуемого горизонта с уровнями смежных водоносных горизонтов, из которых можно ожидать проникновения загрязняющих веществ. К искусственным факторам относятся специфические свойства тех или иных видов загрязняющих веществ. Вследствие физико-химического взаимодействия этих веществ с породой могут изменяться ее структура и фильтрационные свойства. Одна и та же порода может проявлять различные фильтрационные свойства по отношению к разным типам загрязнений. Точно также различные загрязняющие вещества обладают различными сорбционными свойствами, вследствие чего одна и та же порода будет в разной степени поглощать загрязняющие вещества в зависимости от их вида.

Следует отметить, что учитывать специфические свойства загрязняющих веществ при оценке защищенности подземных вод весьма сложно. Это обусловлено большим разнообразием загрязняющих веществ, слабой изученностью их взаимодействия с горными породами. Вместе с тем очевидно, что чем надежнее перекрытость подземных вод слабопроницаемыми отложениями, больше их мощность и меньше проницаемость, больше глубина залегания подземных вод, тем выше вероятность их защищен-

ности по отношению к любым видам загрязнений. Поэтому в основу оценки защищенности подземных вод должны быть положены прежде всего природные факторы.

Таким образом, загрязнение подземных вод взаимосвязано с загрязнением окружающей среды в целом, приурочено в значительной степени к промышленным районам, зависит от геолого-гидрогеологических условий и защищенности водоносных горизонтов, интенсивности эксплуатации подземных вод.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Качество питьевых вод, согласно ГОСТ 2874—73 «Вода питьевая» определяется показателями токсических химических веществ, бактериологическими и органолептическими показателями.

К бактериологическим показателям воды относятся общее количество бактерий в воде и количество бактерий группы кишечной палочки. Первый показатель определяется общим количеством бактерий в 1 мл неразбавленной воды, которое не должно превышать 100. Второй показатель (количество бактерий группы кишечной палочки) определяется двумя величинами: коли-индекс (не более 3) и коли-титр (не менее 300).

Показатели токсических химических веществ воды определяются допустимыми концентрациями отдельных загрязняющих компонентов, установленными Министерством здравоохранения СССР для источников централизованного водоснабжения. ГОСТ 2874—73 лимитирует содержание бериллия, молибдена, мышьяка, нитратов, полиакриламида, свинца, селена, стронция, фтора, урана, радия-226 и стронция-90. При содержании в воде нескольких из указанных веществ (за исключением фтора, нитратов, радиоактивных веществ) сумма отношений обнаруженных и предельных их концентраций не должна превышать 1, т. е.

$$\frac{\bar{C}_1}{C_1} + \frac{\bar{C}_2}{C_2} + \dots + \frac{\bar{C}_n}{C_n} \leq 1, \quad (59)$$

где $\bar{C}_1, \bar{C}_2, \dots, \bar{C}_n$ — обнаруженные концентрации, мг/л; C_1, C_2, \dots, C_n — предельные нормы, мг/л.

К органолептическим показателям относятся запах, привкус, цветность, мутность. Запах при 20°C и нагревании воды до 60°C не должен превышать 2 баллов. Цветность по платино-кобальтовой шкале должна быть не более 20 градусов. Мутность по стандартной шкале — не более 1,5 мг/л.

Загрязнение подземных вод может быть вызвано промышленными и бытовыми отходами, природными (поверхностными и подземными) некондиционными водами, пестицидами и удобрениями.

Промышленные стоки. Вызванное ими загрязнение подземных вод может быть химическим, тепловым и радиоактивным. Наиболее часто встречается химическое загрязнение. Остановимся на нем несколько подробнее.

Сточные воды промышленных производств отличаются большими расходами и разнообразием своего состава. В особенности это относится к сточным водам химической промышленности.

Промышленные сточные воды обычно подразделяются на загрязненные и условно-чистые. Представления о количестве стоков промышленных предприятий можно получить на примере ряда объектов городов Волгограда и Астрахани (табл. 30).

Таблица 30

Стоки промышленных предприятий

Предприятие	Стоки, тыс. м ³ /сут	
	загрязненные	условно-чистые
АЦКК (г. Астрахань)	60	25
ВНПЗ (г. Волгоград)	15—20	150
Металлургический завод (г. Волгоград)	60	90
Завод бурового оборудования (г. Волгоград)	5	25

По составу стоки промышленных предприятий различаются чрезвычайно сильно, но тем не менее можно выделить типовые стоки отдельных производств. В составе стоков содовых заводов преобладают высокоминерализованные (120—170 г/л) растворы NaCl, CaCl₂ и MgCl₂ (дистиллерная жидкость). Для состава сточных вод нефтеперегонных и сланцевых заводов характерно высокое содержание нефтепродуктов, фенолов, сернистых соединений. Стоки азотно-туковых комбинатов и заводов искусственных удобрений содержат в повышенных количествах аммоний, нитриты и нитраты. На предприятиях по производству искусственного волокна они содержат медь и ее соединения, сероуглерод, сульфиды; на предприятиях анилино-красочной промышленности — органические вещества, соединения серы.

В стоках многих промышленных предприятий, независимо от их специфики, содержатся: растворы минеральных солей, органические соединения, щелочи, аммоний, нитриты и нитраты, железо, мышьяк, цианиды, медь, ртуть, хром, свинец, цинк, нефтепродукты, фенолы, роданиды.

Для большинства промышленных сточных вод характерны общая повышенная и высокая минерализация, интенсивная окраска и цвет, исчезающие только после многократного разбавления. Так, стоки производства ядохимикатов обладают резким запахом, не исчезающим даже при разбавлении в 100 000 раз. Для исчезновения окраски стоков заводов органических красителей требуется разбавление в 200—300 раз.

Сточные воды многих химических производств являются высоко токсичными, в особенности стоки производства нитросоединений, ацетилена, этилена, органических красителей, пестицидов, искусственного волокна и каучука, пластмасс.

Тепловое загрязнение теплообменными промстоками выражается в уменьшении содержания кислорода в речной воде, усиленном росте планктона и «цветении» воды, изменении ее химического состава вследствие изменения теплового режима водоема.

Хозяйственно-бытовые стоки. Они характеризуются прежде всего бактериальным загрязнением, которое проявляется в большом количестве болезнетворных бактерий (в 1 см³ сточных вод содержатся миллионы бактерий) и в понижении величины коли-титра. Бытовые стоки содержат также органические вещества, продукты их распада, азотистые соединения, жиры, поверхностно-активные вещества (детергенты) и другие компоненты. Поэтому бытовые отходы, наряду с бактериальным загрязнением, могут вызвать химическое загрязнение подземных вод. В связи с ограниченным сроком выживаемости болезнетворных бактерий в подземных водах бактериальное загрязнение не захватывает больших территорий, локализовано по площади и носит временный характер.

Весьма распространенным (особенно в сельскохозяйственных районах) является загрязнение, вызванное удобрениями и ядохимикатами (альдрин, гексахлоран, эндрин, линдан и др.). Последние представляют собой высокотоксичные, преимущественно органические соединения (пестициды), достаточно стойкие и способные к миграции в водной среде.

Пестициды разделяются на следующие группы: хлорорганические, фосфорорганические, мышьяксодержащие, ртутноорганические, производные карбаминовой кислоты, производные нитрофенола. Наибольшее количество пестицидов отмечается в хлорорганической группе. О стойкости пестицидов можно судить по результатам экспериментов, выполненных в ГДР. Исследовалось влияние озона (одного из сильнейших окислителей) на наиболее представительные и часто используемые пестициды хлоруглеводородной группы (альдрин, дилдрин, гептахлор, гептахлор-эпоксид, хлордан, линдан, ДДТ, эндосульфат) в органических растворах (*n*-гексан) и в водных растворах (смесь воды с ацетоном). Концентрация озона в органических растворах пестицидов составляла 240 мг/л, а в водных растворах 17 и 4 мг/л, при которой независимо от характера раствора практически полностью разрушаются только альдрин и гептахлор; их реакции с озоном исследовались наиболее детально. Остальные пестициды в зависимости от типа раствора и концентрации озона разрушаются в разной степени (от 1 до 78%) или вообще не разрушаются. Загрязнение подземных вод ядохимикатами является химическим и токсичным.

Природные некондиционные воды подразделяются на поверхностные и подземные. Поверхностные и подземные

некондиционные воды — это воды, характеризующиеся или повышенной общей минерализацией или повышенным содержанием отдельных компонентов при небольшой общей минерализации. Среди загрязнений, вызванных поверхностными некондиционными водами, прежде всего необходимо выделить хлоридное загрязнение, обусловленное солеными речными и озерными водами в засушливых областях, но главным образом, морскими водами в прибрежных районах. В зонах избыточного увлажнения, в болотистых местностях поверхностные воды могут содержать повышенные количества железа.

Среди некондиционных подземных вод также наиболее распространены соленые воды с повышенным содержанием хлоридов. Кроме того, достаточно широко развиты воды с повышенным содержанием сульфатов, железа, сероводорода с общей повышенной жесткостью и др.

Таким образом, обусловленное некондиционными природными водами загрязнение носит химический характер.

Суммируя изложенное, отметим, что загрязнение подземных вод, вызванное промстоками, бытовыми отходами, природными некондиционными водами и ядохимикатами, можно подразделить на следующие группы: а) химическое (промстоки, бытовые отходы, ядохимикаты, некондиционные воды); б) бактериальное (бытовые и сельскохозяйственные отходы); в) тепловое (промстоки); г) радиоактивное (промышленные отходы). Среди химических загрязнений подземных вод основными и наиболее частыми являются: хлориды, сульфаты, азотистые соединения, нефтепродукты и фенолы, железо, фтор, сероводород.

Пресные подземные воды и загрязненные воды (стоки, соленые природные воды и др.) представляют в общем случае систему неоднородных жидкостей, различающихся по многим физико-химическим показателям (минерализация, химический состав, вязкость, плотность, температура и др.). Различие свойств фильтрующихся жидкостей обуславливает различные процессы их взаимодействия между собой и с водовмещающими породами.

К таким процессам относятся молекулярная диффузия, гидравлическая дисперсия, сорбция и десорбция, ионный обмен, растворение и кристаллизация, взаимодействие растворов с глинистым материалом, выпадение веществ в осадок и т. п. Эти процессы приводят к изменению состава и концентрации загрязняющих веществ и влияют на скорость и дальность их распространения в подземных водах.

Молекулярная диффузия обуславливает перенос вещества под влиянием разности его концентраций. Этот процесс происходит вследствие теплового движения молекул и приводит к смешению и выравниванию концентраций. В результате молекулярной диффузии загрязняющие вещества из сточных вод могут проникать в подземные воды даже в том случае, если движение вод и стоков не происходят. В целом скорость молекулярной диффузии в подземных водах чрезвычайно мала и перенос загрязняю-

щих веществ, обусловленный этим процессом, не имеет существенного значения.

Значительно большую роль в распространении по водоносному горизонту играет гидравлическая дисперсия, определяемая особенностями внутренней структуры горных пород и условиями движения в них жидкости. Изменения в структуре горных пород носят случайный характер и для их описания можно пользоваться критериями математической статистики.

В качестве случайной величины, характеризующей структуру порового пространства и условия движения жидкости в горных породах, принимают так называемую локальную скорость течения жидкости. При этом предполагается, что фильтрационный поток имеет некоторую среднюю скорость, характерную для данных макроэкономических условий водоносного горизонта, но в то же время отдельные частицы жидкости могут испытывать случайные отклонения и блуждания, связанные с неравномерным распределением пор и трещин, с различием их геометрической формы и размеров.

Вследствие указанного различия скоростей происходит гидравлическая дисперсия (рассеяние) частиц жидкости по пути фильтрации, особенно заметная на границе между двумя разнородными жидкостями.

Гидравлическая дисперсия, называемая также конвективной или фильтрационной диффузией, приводит наряду с молекулярной диффузией к смешению вытесняющей и вытесняемой жидкостей на контакте между ними. Характерным параметром этого процесса является коэффициент конвективной диффузии, на один-два порядка превосходящий коэффициент молекулярной диффузии.

В природных условиях гидравлическая дисперсия вызывается не только указанной флуктуацией локальных скоростей, но и фильтрационной макронеоднородностью пород. В связи с этим коэффициент конвективной диффузии можно рассматривать в качестве параметра, которым суммарно оцениваются явления рассеяния потока загрязняющих веществ в водоносном пласте.

Сорбция (поглощение) породами содержащихся в промстоках веществ может оказать существенное влияние на распространение загрязнений в водоносном горизонте. Различают физическую и химическую сорбцию. Физическая сорбция является обратимым процессом, т. е. сорбция может сменяться десорбцией того же вещества. При химической сорбции происходят химические реакции между сорбирующимся веществом (сорбатом) и частицами породы (сорбентом). Эти реакции нередко сопровождаются образованием нерастворимых соединений, в результате чего десорбция может быть затруднена.

В общем случае параметрами сорбционного процесса являются константа скорости сорбции и коэффициент распределения вещества между жидкой и твердой фазой при равновесии.

Изменение концентрации загрязняющих компонентов при их фильтрации в пласте может также происходить в результате обмена ионов между раствором и природными минералами.

Обменная емкость пород, т. е. количество способных к обмену ионов, приходящихся на единицу массы породы, обычно невелика и не превышает нескольких миллиграмм-эквивалентов на грамм породы.

К числу химических реакций, которые могут протекать при взаимодействии загрязненных вод с подземными водами и породами, относятся окисление, восстановление, гидролиз и другие, сопровождающиеся растворением вещества, выпадением осадка, разрушением сложных органических соединений, переводом сорбируемых соединений в несорбируемые и т. д.

В большинстве случаев стоки и пресные подземные воды различаются минерализацией, которая обуславливает в значительной степени разные плотности и влияет на фильтрационные свойства песчано-глинистых пород.

Взаимодействие растворов с глинистым материалом проявляется в том, что одна и та же песчано-глинистая порода может проявлять различные фильтрационные свойства по отношению к пресным водам и хлоридным растворам. Это обусловлено разной степенью набухания глинистого вещества в пресных и минерализованных водах. Так, проницаемость песчано-глинистых пород в пресной воде, как правило, значительно меньше, чем в соленой хлоридной воде, что объясняется большим набуханием глинистых частиц в пресной воде по сравнению с соленой. Набухание глинистого материала приводит к закупорке порового пространства и снижению проницаемости пород.

Проведенными исследованиями установлено, что различие проницаемости для пресных и соленых вод особенно заметно при увеличении содержания глинистого материала в породе. Максимально это проявляется в глинах, которые при одних и тех же перепадах напоров практически могут не пропускать пресную воду и фильтровать хлоридные воды.

Проницаемость для пресной и соленой воды неодинакова и зависит от типа глин и состава их обменных катионов. В монтмориллонитовых глинах, и в первую очередь Na-монтмориллонитовых перепад проницаемости для пресных и соленых вод будет значительно больше (в несколько раз и даже на порядок), чем в гидрослюдистых и каолинитовых глинах (в 1,5—2,0 раза).

Для водовмещающих песчаных отложений, в особенности для высокопроницаемых песков и песчаников, а также для трещиноватых пород, различие в проницаемостях относительно пресных и соленых вод незначительное и им можно пренебречь.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ ДЛЯ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В СВЯЗИ С ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ И ВЛИЯНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Важнейшим объектом охраны подземных вод являются водозаборы, прежде всего водозаборы хозяйственно-питьевого назначения. Наиболее значительные очаги загрязнения подземных вод

приурочены к территориям промышленных предприятий и в первую очередь к участкам поверхностных хранилищ промышленных отходов.

Для обоснованного решения вопросов охраны подземных вод от загрязнения и выбора водоохраных мероприятий необходимо знать закономерности движения загрязненных вод в пласте и прогнозировать распространение загрязнения в подземных водах, знать масштабы загрязнения водоносного горизонта и качество подземных вод на водозаборах.

Ниже остановимся на основных положениях гидрогеологических прогнозов в связи с охраной подземных вод на водозаборах и в районах промышленных объектов.

При прогнозе распространения загрязненных вод по пласту могут быть два подхода. Первый, более простой, предполагает, что вытеснение одной жидкости другой носит «поршневой» характер, т. е. происходит равномерно, без образования «языков» и с четко выраженной поверхностью раздела между двумя жидкостями. Такой прием во многих случаях позволяет получить относительно простые расчетные зависимости и обеспечивает вполне удовлетворительную для практических целей точность прогнозов. На основе предположки о «поршневом» вытеснении аналитически исследована структура фильтрационных потоков для разных типовых гидрогеологических схем с учетом граничных условий водоносного горизонта и естественного потока подземных вод, получены расчетные зависимости, позволяющие прогнозировать время и дальность продвижения границы загрязненных вод. При этих построениях загрязненные воды обычно предполагаются нейтральными по отношению к породам и подземным водам и не вступающими с ними во взаимодействие. На границе раздела загрязненные—чистые воды концентрация загрязняющих веществ принимается такой же, как в начальном сечении, откуда в пласт поступают загрязненные воды. Дальность перемещения загрязнения в подземных водах без учета сорбции оказывается максимальной, что обеспечивает определенный «запас прочности» выполненных прогнозов. Методика прогноза движения загрязненных вод в пласте по схеме «поршневого» вытеснения изложена во многих работах [5, 20, 44, 65, 68].

Другой подход учитывает случайный характер микростроения пористой среды, неодинаковые размеры поровых каналов, процессы молекулярной диффузии и сорбции, вследствие чего «поршневое» вытеснение нарушается, жидкости на границе раздела смешиваются, образуются «языки», т. е. происходит рассеяние или дисперсия границы раздела двух жидкостей. Учет этих факторов на перемещение фронта загрязненных вод рассмотрен в ряде работ [20, 21, 23, 92, 94].

В работах Н. Н. Веригина, Ф. М. Бочевера, А. А. Рошала и В. М. Шестакова рассмотрена диффузия растворенного вещества в перекрывающие и подстилающие водоносный горизонт слабопроницаемые глинистые отложения, приводящая, так же как и

процессы сорбции, к уменьшению содержания загрязняющего вещества в подземных водах.

Различия плотностей подземных и загрязненных вод. При движении жидкостей с разными плотностями происходит деформация границы раздела, выражающаяся в формировании «языка» более тяжелой жидкости по подошве пласта. Если принять, что первоначальная граница пресных и загрязненных (соленых) вод была вертикальной, то в дальнейшем эта граница раздела становится наклонной, вследствие того что более тяжелая жидкость (соленая вода) «подпирает» более легкую (пресную воду) и в подошве пласта образуется «язык» соленых вод. Если загрязненные воды характеризуются меньшей плотностью по сравнению с подземными водами, то «язык» загрязненных вод формируется по кровле пласта. Размеры зоны «языкообразования» определяются соотношением плотностей пресных и загрязненных вод, мощностью водоносного горизонта, скоростью движения подземных вод. Влияние различия плотностей на миграцию загрязненных вод исследовалось во многих работах [21, 24, 82, 92].

После этих общих положений, относящихся к миграции загрязняющих веществ в подземных водах, рассмотрим особенности гидрогеологических прогнозов на участках водозаборов и промышленных объектов. Среди крупных централизованных водозаборов можно выделить преимущественно два типа: водозаборы напорных (артезианских) вод и инфильтрационные водозаборы.

Изменение качества подземных вод на водозаборах связано преимущественно с подтягиванием к водозабору природных некондиционных подземных вод (на водозаборах, эксплуатирующих артезианские воды) или с подтягиванием загрязненных, а также некондиционных поверхностных и подземных вод (на инфильтрационных водозаборах в речных долинах). В приморских районах засоление водозаборов подземных вод обусловлено интрузией морских вод в горизонте пресных подземных вод, нагоном морских вод в реки и каналы и последующей их инфильтрацией в грунтовые воды.

Качество отбираемых подземных вод может определяться по общей минерализации (сухому остатку) или по содержанию каких-нибудь загрязняющих компонентов. Прогноз качества подземных вод на водозаборе включает: а) оценку на основе балансовых расчетов максимального возможной общей минерализации воды на водозаборе и максимального содержания отдельных компонентов; б) оценку принципиальной возможности попадания загрязненных вод к водозабору путем построения области питания водозабора и выяснения ее местоположения относительно области загрязнения подземных вод; в) оценку времени подтягивания к водозабору первых порций загрязненных вод; г) оценку смешения на водозаборе пресных и некондиционных вод и минерализации отбираемых подземных вод на разные моменты времени. В зависимости от конкретных гидрогеологических условий выпол-

няются те или иные из указанных оценок. Так, в случае положительных оценок «а» и «б» отпадает необходимость в оценках «в» и «г».

Условия загрязнения подземных вод на водозаборе принципиально различаются в зависимости от наличия или отсутствия естественного движения подземных вод. В водоносном горизонте при отсутствии естественного движения подземных вод (условия «бассейна») область питания водозабора распространяется на весь пласт. В силу этого в условиях «бассейна» движение подземных вод к водозабору происходит из любой точки пласта. Поэтому если в таком пласте имеются загрязненные или природные некондиционные воды, то они всегда (рано или поздно) достигнут водозабора. В этом случае условия загрязнения подземных вод на водозаборе будут определяться временем продвижения к нему загрязненных вод. В зависимости от удаления границы загрязненных вод от водозабора это время может оказаться или весьма коротким (десятки суток, месяцы) или же очень продолжительным (десятки и сотни лет). Время продвижения загрязненных вод к водозабору находится по аналитическим зависимостям, графоаналитическим методом или методом моделирования. Время продвижения загрязненных вод в значительной степени зависит от фильтрационной неоднородности пород, слоистости разреза, граничных условий водоносного горизонта, эффективной мощности пласта.

При наличии естественного движения подземных вод в пласте формируется примыкающая к водозабору и локализованная по площади область питания (захвата) водозабора. Эта область отделена от остальной части пласта нейтральной линией тока. Принципиальная возможность загрязнения водозабора в условиях естественного потока подземных вод определяется в зависимости от того, захватывается или не захватывается зона загрязнения областью питания водозабора. Размер области питания водозабора зависит от соотношения дебита водозабора и расхода естественного потока и граничных условий водоносного горизонта. При попадании загрязнения в область питания водозабора условия его загрязнения определяются временем продвижения загрязненных вод к водозабору и последующим изменением качества воды.

Изменение качества (минерализации) подземных вод на водозаборе при подтягивании некондиционных вод и их смешения с пресными водами существенно зависит от граничных условий пласта и естественного движения подземных вод. В неограниченном пласте, разделенном на две полуплоскости с пресной и соленой водой, при отсутствии естественного потока (условия «бассейна») максимальная минерализация воды на водозаборе равна полусумме минерализаций пресных и некондиционных (соленых) вод. В зависимости от гидрогеологических условий водоносного горизонта могут быть три основных случая изменения качества воды на водозаборе: рост минерализации до полного засоления

водозабора, ограниченный рост минерализации с частичным засолением водозабора, ограниченный рост минерализации с последующим ее убыванием и опреснением водозабора.

Прогноз качества подземных вод [3, 5, 44, 21, 68] необходим для обоснования проектирования водоохраных мероприятий. Если по результатам прогноза окажется, что время подхода к водозабору загрязненных вод заведомо больше срока его эксплуатации, то в данном случае достаточно ограничиться сетью наблюдательных скважин для контроля за движением загрязненных вод. Если же время загрязнения водозабора меньше срока его эксплуатации, то необходимы специальные защитные мероприятия для перехвата загрязненных вод и локализации области их распространения.

В районах промышленных предприятий загрязнение подземных вод происходит на всей территории промышленной площадки, но особенно интенсивно на участках поверхностных хранилищ отходов и полей фильтрации. Вследствие инфильтрации стоков из поверхностных хранилищ (отстойников, накопителей, испарителей, шламохранилищ и др.) загрязняется поверхностный слой грунтов на прилегающей территории, а в горизонте грунтовых вод под основанием хранилища формируется непрерывно расширяющееся пятно загрязненных подземных вод. На участках крупных хранилищ отходов площадь загрязнения подземных вод может составлять многие десятки квадратных километров.

Образование области загрязнения подземных вод в районах поверхностных хранилищ отходов происходит в несколько этапов. В начальный период имеет место свободная фильтрация из хранилища, в результате которой на поверхности грунтовых вод начинает расти «бугор» загрязненных (сточных) вод. Свободная фильтрация продолжается до тех пор, пока растущий «бугор» не сомкнется с основанием хранилища. С этого момента начинается так называемый подпертый режим фильтрации. Длительность периода свободной фильтрации сравнительно небольшая и обычно не превышает 1—2 лет. Одновременно с ростом «бугра» сточных вод происходит их растекание по горизонту грунтовых вод. Растекание сточных вод обусловлено следующими факторами: влиянием самого хранилища, которое можно приближенно рассматривать как «большой колодец», влиянием естественного движения подземных вод и влиянием ближайших водозаборов, водопонижительных установок, шахтного водоотлива и др. Основное воздействие на этот процесс оказывают водозаборы и естественное движение подземных вод; влияние же самого хранилища стоков сказывается лишь в непосредственной от него близости.

Таким образом, прогноз загрязнения подземных вод на участке промышленного предприятия включает оценку: а) времени достижения стоками (с поверхности земли) уровня грунтовых вод; б) расхода стоков, фильтрующихся из поверхностного хранилища в условиях свободной и подпертой фильтрации; в) дальности распространения стоков по одноосному горизонту и площади его за-

грязнения; г) времени, за которое стоки, двигаясь по пласту, достигнут ближайших дрен и водозаборов.

Методика расчетов фильтрации стоков из поверхностных хранилищ приводится в работах Ф. М. Бочевера, Н. Н. Веригина, Б. С. Шержукова, В. М. Шестакова, С. В. Васильева и др. [20, 21, 25, 92].

Приближенная оценка времени достижения уровня грунтовых вод фильтрующимися с поверхности стоками для условий однородного разреза зоны аэрации и постоянства уровня стоков в хранилище может быть выполнена по известной формуле Цункера

$$t = \frac{\mu}{k} \left[m - H_0 \ln \left(1 + \frac{m}{H_0} \right) \right], \quad (60)$$

где H_0 — высота слоя сточных вод в хранилище; k , m — коэффициент фильтрации и мощность зоны аэрации; μ — недостаток насыщения пород зоны аэрации (μ приближенно равно пористости). Расчеты по формуле (60) показали, что время проникновения стоков до грунтовых вод существенно зависит от фильтрационных свойств пород зоны аэрации, но в целом оно очень небольшое. Так, при $k > 0,5$ м/сут время движения стоков не превышает нескольких суток даже при относительно больших мощностях зоны аэрации ($m \geq 10$ м); при $k \leq 0,5$ м/сут время фильтрации возрастает до нескольких десятков суток; при $k < 0,01$ м/сут и $m > 20$ м время инфильтрации достигает сотен суток.

При двухслойном строении зоны аэрации со слабопроницаемым верхним слоем (экраном) время инфильтрации стоков с поверхности земли до уровня грунтовых вод складывается из времени t_1 движения в верхнем слое и времени t_2 движения в нижнем слое. Время t_1 определяется по формуле (60) подстановкой в нее параметров (m , k , H) верхнего слоя. Время t_2 определяется на основе решения Н. Н. Веригина [25]. Анализ показал, что при

$\frac{k_1}{k_2} < 0,1$ время движения в двухслойном разрезе, в основном, определяется временем движения, через верхний слабопроницаемый слой ($t_1 \gg t_2$). Поэтому для приближенной оценки времени движения стоков через двухслойный разрез можно определять время движения стоков через слабопроницаемый слой по формуле [60].

В случае фильтрации стоков с поверхности земли с постоянным расходом Q через площадь F и при $H_0 = 0$ время достижения стоками уровня грунтовых вод может быть оценено по формуле Н. Н. Биндемана

$$t = \frac{m \cdot \mu}{\sqrt[3]{\left(\frac{Q}{F}\right)^2 \cdot k}}, \quad (61)$$

где m , k — мощность и коэффициент фильтрации, μ — дефицит влажности пород.

Дальность распространения стоков (x) по водоносному горизонту по направлению потока за время t приближенно определяется по формуле

$$x = R_{xp} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{Q_{xp} t}{\pi n_0 m R_{xp}^2}} - 1 \right) + \frac{v_e \cdot t}{n_0}, \quad (62)$$

где Q_{xp} — расход стоков, фильтрующихся из хранилища в водоносный горизонт; R_{xp} — радиус хранилища стоков; v_e — скорость фильтрации естественного потока подземных вод; n_0 — пористость водоносных пород.

Анализ условий загрязнения подземных вод на участках промышленных предприятий показал следующее: а) содержание загрязняющих компонентов в подземных водах в несколько раз превышает допустимую норму; б) образовавшийся очаг загрязнения подземных вод сохраняется в течение длительного времени даже после ликвидации хранилища (в этом случае загрязненные почва и зона аэрации являются как бы вторичными источниками загрязнения); в) высокая минерализация и плотность многих стоков приводят к загрязнению подземных вод на значительную глубину, включая и горизонты напорных вод; г) фильтрационная неоднородность пород и трещиноватость обуславливают неравномерное перемещение загрязняющих компонентов в подземных водах и длительное их хранение в водоносном горизонте; д) скорость распространения загрязнения в подземных водах обычно от нескольких десятков до сотен метров в год; в) в сильно трещиноватых и карстованных породах скорость движения загрязненных вод может достигать нескольких километров в год.

Загрязнение подземных вод, в особенности на водозаборах, во многих случаях обусловлено неудачным расположением водозабора и промышленного предприятия относительно друг друга. Не останавливаясь подробно на вопросе гидрогеологического обоснования размещения промышленных объектов с точки зрения охраны окружающей среды и подземных вод, в частности, поскольку он требует специального исследования, а в опубликованной литературе практически не рассматривался, отметим лишь, что местоположение промышленного предприятия должно выбираться с учетом ряда факторов. Один из них — защищенность подземных вод (наличие перекрывающих слабопроницаемых отложений, их мощность и выдержанность по площади, фильтрационные свойства этих отложений, глубина залегания грунтовых вод).

При выборе участка промышленного предприятия необходимо учитывать химизм подземных вод: местоположение предприятия должно по возможности выбираться в той части водоносного горизонта, где подземные воды характеризуются повышенной минерализацией.

В особенности это относится к тем случаям, когда пресные

подземные воды локализованы по площади и ограничены контуром соленых вод. В этой ситуации промышленные объекты следует располагать за пределами площади пресных вод, в зоне соленых вод.

Промышленный объект следует располагать с учетом направления естественного потока подземных вод, а именно: промышленный объект должен располагаться ниже по потоку подземных вод от водозабора и на таком расстоянии от него, чтобы загрязнение не попало в область питания водозабора. Эти расстояния приближенно оцениваются для сосредоточенного площадного водозабора

$$x > \frac{Q}{2\pi m k i_e} \quad (63)$$

и для линейного ряда скважин

$$x > \frac{l}{\pi} \operatorname{Arth} \frac{Q_0}{2l m k i_e}, \quad (64)$$

где Q — дебит площадного водозабора, м³/сут; Q_0 — дебит отдельной скважины ряда, м³/сут; k и m — коэффициент фильтрации и мощность водоносных пород; l — расстояние между скважинами в ряду; i_e — уклон естественного потока подземных вод.

Если промплощадка не может быть расположена ниже по потоку, то она должна быть отнесена в сторону от водозабора на расстояние

$$x > \frac{Q}{2m k i_e}. \quad (65)$$

При обосновании местоположения промышленного объекта должен обязательно даваться прогноз возможного отрицательного воздействия этого объекта на подземные воды и окружающую среду в целом.

ПОДЗЕМНОЕ ЗАХОРОНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ГЛУБОКИЕ ВОДОНОСНЫЕ ГОРИЗОНТЫ

Одним из способов борьбы с загрязнением поверхностных и пресных подземных вод является удаление промышленных стоков путем их закачки через скважины в глубокие водоносные горизонты.

В целом подземное захоронение промстоков является вынужденной мерой, обусловленной несовершенством методов очистки многих видов сильно загрязненных, концентрированных стоков. Поэтому его следует применять только для удаления небольших количеств не поддающихся очистке токсичных стоков.

Метод подземного захоронения имеет ряд преимуществ перед обычными методами удаления сточных вод. К ним относятся: возможность надежного и безопасного (по санитарным требованиям) захоронения стоков; уменьшение сброса стоков в поверхностные водоемы и водотоки; возможность закачки стоков без их тщательной очистки и обезвреживания; относительно невысокая (во многих случаях) стоимость закачки стоков. Недостатками подземного захоронения являются: сложность удаления больших количеств стоков; сложность или даже невозможность закачки определенных видов стоков вследствие особенностей их физико-химических свойств (большое содержание взвесей, соединений и веществ, выпадающих в осадок, необратимые химические реакции с породой и пластовой жидкостью, приводящие к закупорке призабойной зоны и снижению приемистости нагнетательных скважин, и др.); сложность контроля в условиях глубоких горизонтов за перемещением закачиваемых стоков.

Спецификой проблемы подземного захоронения стоков являются физико-химические и механические процессы взаимодействия закачиваемых стоков с породой и пластовой жидкостью, приводящие во многих случаях к изменениям фильтрационных свойств пород пласта-коллектора.

На промышленных предприятиях, в особенности химических, обычно образуются два вида сточных вод: сильно загрязненные (концентрированные) и слабо загрязненные. Большей частью сильно загрязненные стоки составляют менее 20—30% общего количества сточных вод предприятия. Использование метода подземного захоронения наиболее целесообразно по отношению к этой сравнительно небольшой по объему части стоков. Исходя из сравнительно низких фильтрационных свойств пород на больших глубинах, а также из того, что закачка в глубокие горизонты обычно осуществляется 1—3 скважинами, оптимальный расход закачиваемых стоков составляет (в среднем) 1,5—2 тыс. м³/сут и, как правило, не превышает 3—5 тыс. м³/сут.

В этой связи значительный интерес представляет изучение возможности подземного захоронения промстоков в нефтегазоносных районах. Во-первых, в этих районах обычно сосредоточены предприятия химической, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, которые могут быть заинтересованы в подземном удалении вредных отходов. Во-вторых, эти районы, как правило, хорошо изучены и разведаны и по ним имеется достаточно большой фактический материал, на основе которого могут быть значительно сокращены объемы разведочных работ. В нефтегазоносных районах подземный сброс промстоков может осуществляться по трем направлениям:

- а) в отработанные нефтяные и газовые месторождения;
- б) использование стоков для заводнения эксплуатируемых нефтяных и газовых месторождений;
- в) сброс промстоков в непродуктивные водоносные горизонты и «пустые» структуры.

Использование стоков для заводнения нефтяных месторождений и сброс промстоков в отработанные залежи имеет известные преимущества, поскольку в этом случае уже имеются пробуренные скважины, что удешевляет подземное захоронение промстоков. Наибольший эффект достигается при использовании стоков для заводнения нефтяных месторождений. Вместе с тем очевидно, что вопрос об использовании промстоков для заводнения нефтяных пластов должен решаться после его тщательного и всестороннего рассмотрения (изучение совместимости стоков с пластовой водой и породой, изучение нефтewымывающих свойств стоков и др.) во избежание порчи залежи.

Анализ возможности использования стоков для заводнения нефтяных месторождений выполнен применительно к отдельным нефтяным месторождениям Прикамья и Башкирии [44].

Основные критерии для выделения пластов-коллекторов, пригодных для закачки промстоков, следующие: 1) водоносный горизонт не должен содержать пресных вод, а также вод бальнеологических и промышленного значения; 2) закачка стоков возможна лишь в пласты, содержащие высокоминерализованные воды, непригодные для практического использования; 3) пласт-коллектор в пределах исследуемой площади не должен содержать полезных ископаемых и эксплуатироваться; 4) пласт-коллектор должен обладать достаточно высокой водопроводимостью, обеспечивающей экономически эффективный сброс заданного количества стоков; 5) пласт-коллектор должен быть надежно изолирован слабопроницаемыми породами от вышележащих водоносных горизонтов, перекрывающий водоупор должен быть выдержан по площади; 6) пласт-коллектор в ближайшей окрестности (в радиусе 15—20 км) не должен выходить на поверхность или быть связан с рекой; 7) оптимальный интервал глубин для подземного захоронения (с точки зрения стоимости закачки, приемистости скважин) от 500 до 1500—2000 м.

Выбор пласта-коллектора и анализ возможности подземного захоронения промстоков делается по результатам специальных полевых гидрогеологических исследований. Важнейшими обоснованиями пригодности пласта-коллектора и возможности подземного захоронения промстоков являются прогнозы распространения стоков по пласту и надежности их экранирования перекрывающими водоупорами. При оценке изоляции пласта-коллектора водоупорными слоями большое значение имеет изучение экранирующих свойств водоупорных слоев по отношению к разным видам сточных вод. Глинистые породы могут проявлять различные экранирующие свойства в зависимости от состава, минерализации и температуры фильтрующейся жидкости. Это необходимо учитывать при оценке надежности изоляции пласта-коллектора. Геолого-гидрогеологическое обоснование подземного захоронения промстоков и методика прогнозных оценок изложены во многих работах [24, 42, 43, 44, 77, 82, 84].

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАДАЧ И МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОХРАНЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Охрана подземных вод от загрязнения требует осуществления широкого комплекса мероприятий. Поскольку загрязнение подземных вод обусловлено загрязнением окружающей среды в целом, то охрана подземных вод от загрязнения должна быть составной частью охраны от загрязнения окружающей среды и решаться в рамках этой общей проблемы. В принципе невозможно предотвратить загрязнение подземных вод при продолжающемся загрязнении поверхностных вод, почвы и атмосферы. Основным решением вопроса борьбы с загрязнением окружающей среды и подземных вод является сокращение до минимума вырабатываемых промышленных отходов, разработка и широкое применение систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий, резкое улучшение технологии очистки сточных вод, переработки и утилизации промышленных и бытовых отходов. Должен вестись строгий учет количества и состава сточных вод промышленных предприятий как общего количества стоков, так и по их видам и в особенности наиболее загрязненных стоков. Необходим сбор и систематизация этих данных по всем промышленным районам.

Сложность изучения загрязнения подземных вод в значительной степени обусловлена чрезвычайно широким «ассортиментом» загрязняющих веществ, количество которых возрастает с каждым годом. Так, в 1944 г. нормировалось содержание в питьевой воде 13 веществ, в 1961 г.—72, в 1963 г.—100, в 1967 г.—177, в 1973 г.—около 250. Определение состава сточных вод—задача весьма трудная. Сложно определять многие загрязняющие вещества в подземных водах, представляющих собой многокомпонентные растворы. Поэтому большое значение имеет разработка надежных методов определения загрязняющих компонентов в подземных водах, создание в территориальных управлениях хорошо оборудованных химических лабораторий.

Необходимо дальнейшее более детальное изучение загрязнения подземных вод с постановкой специальных гидрогеологических исследований по крупным промышленным районам страны и по отдельным артезианским бассейнам. Комплексный характер этих исследований предполагает следующий состав работ: учет количества и состава сточных вод (промышленных и бытовых), «вырабатываемых» в пределах территории деятельности геологического управления; анализ условий их очистки, хранения и ликвидации, изучение загрязнения подземных и поверхностных вод в районах промышленных объектов и крупных водозаборов; изучение условий подземного захоронения наиболее загрязненных и токсичных промышленных сточных вод в глубокие водоносные горизонты.

Целесообразно изучение подземных вод на территории СССР по отдельным видам загрязнений. В частности, чрезвычайно актуа-

лен вопрос о загрязнении подземных вод нефтепродуктами и нефтяными водами в основных нефтеносных районах страны и, прежде всего, на территории Западной Сибири, где уже сейчас назрела необходимость в проведении этих работ с целью изучения условий загрязнения подземных вод, локализации имеющегося и предотвращения дальнейшего загрязнения подземных вод. Необходимо исследование хлоридного загрязнения пресных подземных вод, обусловленного разными факторами — солеными подземными водами, морскими водами, промышленными отходами.

Действенный контроль за охраной подземных вод от загрязнения невозможен без создания режимной сети наблюдательных скважин на всех централизованных водозаборах пресных подземных вод, работающих в сложных гидрохимических условиях, и проведения систематических наблюдений за качеством и уровнем подземных вод как в самом водозаборе, так и на прилегающей территории.

Режимная сеть должна быть сооружена на всех крупных промышленных объектах и прежде всего в районах поверхностных хранилищ промышленных стоков и отходов, являющихся одним из основных источников загрязнения подземных вод. Оборудование сети наблюдательных скважин и производство режимных наблюдений согласно «Основам водного законодательства Союза ССР и союзных республик» должно осуществляться организациями-водопользователями, но обязательно на единой методической основе и под контролем территориальных геологических управлений. Без этого условия создаваемая наблюдательная сеть может оказаться или недостаточной (по количеству скважин) или размещенной методически неправильно.

Создание такой режимной сети на водозаборах и промышленных объектах необходимо для выяснения истинной картины загрязнения подземных вод, для контроля за распространением загрязнения по горизонту и своевременной разработки мероприятий по охране подземных вод и предотвращению их дальнейшего загрязнения.

Наблюдения за состоянием подземных вод должны быть тесно увязаны с наблюдениями за состоянием поверхностных вод, почв, атмосферы и атмосферных осадков. Важным средством борьбы с загрязнением поверхностных и подземных вод является захоронение промстоков в глубокие водоносные горизонты, не используемые для хозяйственно-питьевых, промышленных, бальнеологических и других целей.

Весьма актуальной является разработка гидрогеологического и инженерно-геологического обоснования размещения промышленных предприятий с точки зрения охраны окружающей среды. Это обоснование должно включать оценку природной защищенности горизонтов пресных подземных вод, их взаимосвязи с поверхностными водами, изучение защитных свойств зоны аэрации, рекомендации по выбору участков размещения и сооружения

поверхностных хранилищ промышленных отходов, изучение экранирующих свойств пород в основании хранилищ стоков, оценку масштабов возможного загрязнения подземных вод под влиянием инфильтрации из хранилищ стоков, изучение возможности подземного захоронения промстоков. Такая комплексная оценка различных гидрогеологических факторов для обоснования охраны подземных вод и окружающей среды должна быть обязательной составной частью проектирования размещения промышленных предприятий. Решение этого вопроса должно существенно помочь составлению средне- и крупномасштабных карт защищенности подземных вод от загрязнения и, прежде всего, близких от поверхности основных водоносных горизонтов. В этой связи большое значение приобретает исследование зоны аэрации как переходного и защитного слоя между поверхностью земли и грунтовыми водами.

Предотвращение загрязнения подземных вод и уменьшение его масштабов может решаться путем:

а) более обоснованного подхода к размещению промышленных предприятий с учетом природной защищенности подземных вод, направления естественного потока подземных вод, расположения существующих и проектируемых водозаборов подземных вод;

б) оборудования сети наблюдательных скважин для своевременного выявления загрязнения подземных вод, определения направления и скорости перемещения загрязненных вод, изучения самоочищения подземных вод;

в) сооружения защитных водозаборов для перехвата загрязненных подземных вод и недопущения их распространения по водоносному горизонту, проведения длительных локализационных откачек непосредственно из области загрязнения подземных вод с целью стягивания контуров этой области и уменьшения ее размеров, проведения одновременных и отдельных откачек из областей загрязненных и чистых подземных вод, нагнетания воды в пласт с целью отжатия загрязненных вод и создания водного барьера между чистыми и загрязненными водами;

г) подземного захоронения в глубокие горизонты наиболее токсичных стоков.

Несомненно, что эти мероприятия должны сочетаться с мероприятиями, направленными на ликвидацию утечек стоков с поверхности.

Необходимы дальнейшее развитие и разработка методики комплексных гидрогеологических исследований загрязнения подземных вод с применением геофизики, термометрии и индикаторных методов, совершенствования и развитие прогноза миграции загрязнения подземных вод, изучение взаимодействия сточных вод с породой и подземными водами и влияние этого взаимодействия на фильтрационные свойства пород, изучение процессов самоочищения подземных вод.

ГЛАВА VII

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В связи с резким ростом потребностей в воде, обусловленным развитием производительных сил, во многих районах нашей страны ресурсы поверхностных вод уже не обеспечивают всех потребностей. Положение усугубляется прогрессирующим загрязнением поверхностных вод неочищенными промышленными и бытовыми стоками, вследствие чего даже там, где поверхностных вод достаточно, они по своему санитарному состоянию или загрязнению микрокомпонентами и другими вредными веществами перестают удовлетворять требованиям к питьевой, а иногда и технической воде. Неравномерность поверхностного стока заставляет прибегать к его регулированию, что обходится весьма дорого, в аридной зоне приводит к большим потерям воды на испарение и ведет часто к потере больших площадей, ценных в сельскохозяйственном отношении. Указанные причины обуславливают непрерывный рост использования в народном хозяйстве подземных вод.

В то же время систематическое увеличение потребления подземных вод во многих районах приводит к истощению водоносных горизонтов. Этот процесс наиболее интенсивно происходит в аридной зоне, а также на многих централизованных водозаборах в артезианских бассейнах платформенного типа. Истощение эксплуатируемого водоносного горизонта приводит к необходимости уменьшить водоотбор, и, следовательно, к трудностям в водообеспечении, или же при значительном снижении динамических уровней (на десятки и первые сотни метров) — к ухудшению условий эксплуатации, увеличению стоимости воды, падению эффективности использования подземных вод. По берегам морей и океанов наблюдается вторжение соленых вод в эксплуатируемые водоносные горизонты (Таллин, Пярну, Клайпеда на Балтийском море, Красноперекоск в Крыму и некоторые другие районы на Черном море и т. д.). Одним из главнейших направлений в борьбе с истощением водоносных горизонтов или вторжением в них подземных вод, непригодных для использования и перераспределения стока, является искусственное восполнение подземных вод. Целесообразность применения искусственного восполнения подземных вод определяется комплексным характером этого мероприятия и его преимуществами, обеспечивающими эффективное решение задач по наиболее рациональному использованию водных ресурсов в народном хозяйстве.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ (ЭКОНОМИЧЕСКИЕ) ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПОЛНЕНИЯ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Практика показывает, что искусственное накопление и восполнение подземных вод имеет ряд преимуществ перед другими видами регулирования стока и увеличения ресурсов воды: достигается увеличение водоотбора без коренного переустройства водозаборных сооружений; улучшаются физические и санитарные характеристики воды; закачка воды в водоносные горизонты, например, на морских побережьях предотвращает вторжение соленых вод; в условиях истощения эксплуатируемого водоносного горизонта восполнением удается продлить срок работы водозабора и т. д. Испарение из подземных емкостей гораздо меньше, чем с поверхности водохранилищ, что особенно важно в аридной и полуаридной зонах. Применение искусственного восполнения подземных вод резко сокращает потери ценных сельскохозяйственных угодий, неизбежные при создании поверхностных водохранилищ или крупных групповых водозаборов. Во многих случаях применение искусственного восполнения экономически более целесообразно, чем другие варианты водообеспечения [89].

Регулирование подземного стока — усиление питания водоносных горизонтов в условиях их эксплуатации путем применения искусственного восполнения — является существенным дополнением к регулированию поверхностного стока, поскольку устройство водохранилищ на реках обычно имеет комплексное назначение, а не только преследует цель увеличения ресурсов воды и обеспечения равномерного ее отбора.

В опубликованных работах используется различная терминология для обозначения погружения воды в водоносный горизонт. Наиболее удачен термин «искусственное восполнение подземных вод», поскольку он прямо указывает на сущность процесса — восполнение, т. е. компенсацию израсходованной воды. Из существующих гидрогеологических и гидродинамических представлений вытекает, что если запасы подземных вод не эксплуатируются или не отобраны ранее, они не могут и восполняться, следовательно, регулирование подземного стока не может являться целью работы, если не отбирается подземная вода. Часто в качестве синонима «искусственного восполнения подземных вод» применяется термин «магазинирование», что неправильно, поскольку значительная, если не большая часть систем искусственного восполнения, предназначена для усиления питания водозабора без аккумуляции воды, т. е. никакого «магазинирования», накопления воды в подземных емкостях («магазинах») в данном случае не происходит. Искусственное восполнение подземных вод — понятие более широкое, чем «магазинирование», последнее охватывает лишь часть первого. Поэтому термин «искусственное пополнение подземных вод» можно считать синонимом «магазинирования»,

поскольку и в том, и в другом случае подразумевается накопление, аккумуляция воды в водоносном пласте. Следуя этой терминологической концепции, под пополнением подземных вод предлагается понимать накопление ресурсов подземных вод в обширных подземных резервуарах при снижении уровня подземных вод ниже базисов естественной разгрузки.

Рассматривая проблему искусственного восполнения подземных вод, необходимо в полной мере учитывать фильтрационное сопротивление, препятствующее движению воды в водосодержащей породе. Поэтому искусственное восполнение во избежание больших потерь погружаемой воды и низкого к.п.д. инфильтрационных сооружений должно, как правило, осуществляться вблизи водозаборов подземных вод или, по крайней мере, в пределах депрессии водозабора, или вверх по потоку от него. Отсюда следует важный вывод о том, что вопросы усиления питания или искусственного накопления подземных вод необходимо рассматривать применительно к схеме использования водозабором получаемой подземной воды. Поэтому весьма мало реальной представляется возможность создания искусственных запасов подземных вод без их одновременного или предварительного отбора.

Правомерной является постановка вопроса об искусственном восполнении водоносного горизонта в целом для замкнутых по площади геологических структур, сложенных трещиноватыми и карстованными водоносными породами, со всех сторон окруженными слабопроницаемыми отложениями, когда эксплуатация подземных вод осуществляется в основном за счет сработки их естественных запасов. Такие структуры развиты на Среднем и Южном Урале, в Забайкалье, Центральных Кызылкумах, Каратау и особенно в Центральном Казахстане [90]. Так, в результате восемнадцатилетней эксплуатации трещинно-карстовых вод Жанайской антиклинали, имеющей площадь водоносного горизонта 88 км² и окруженной со всех сторон относительно слабопроницаемыми терригенными отложениями, уровень подземных вод в известняках понизился на 30 м, вследствие чего с учетом водоотдачи 2,5% образовалась емкость 66 млн. м³. Ввиду замкнутой конфигурации водоносного горизонта и водопроницаемости, равной 3 тыс. м²/сут, осуществлять искусственное восполнение в пределах водоносного горизонта можно в любой точке, а не обязательно вблизи водозаборных скважин, поскольку высокая водопроницаемость известняков обуславливает чрезвычайно плоский характер депрессии и разница в понижениях вблизи скважин и на границе водоносного горизонта не превышает 1—2 м. Однако следует иметь в виду, что искусственное восполнение подземных вод в трещиноватых и карстовых коллекторах значительно отличается от такового в пористой среде с одной стороны малой подверженностью кольтматации фильтрующих поверхностей, что позволяет эксплуатировать инфильтрационные сооружения практически без чисток (по крайней мере годы, а иногда и десятки лет), с другой — очень слабыми процессами самоочистки воды при движении в породе,

что предъявляет повышенные требования к качеству воды, подаваемой на инфильтрацию [90].

Иногда при интенсивном многолетнем площадном отборе подземных вод, при соответствующей геолого-гидрогеологической обстановке условия, примерно аналогичные описанным выше, создаются на значительных территориях (тысячи и десятки тысяч квадратных километров). Такое положение наблюдается главным образом в аридной зоне, где большие объемы подземных вод отбираются на орошение. В качестве примера можно привести крупные системы искусственного восполнения подземных вод в Калифорнии. Эти примеры убедительно показывают, что в определенных геолого-гидрогеологических и хозяйственных условиях искусственное восполнение подземных вод может иметь и почти «региональный» характер. В таких условиях необходимо обращать внимание на недопущение бесполезной разгрузки искусственно создаваемых подземных вод естественным путем — стоком в моря и незарегулированные поверхностные водотоки, посредством испарения, транспирации и т. д. Тем не менее следует подчеркнуть, что до настоящего времени резко преобладающим является применение искусственного восполнения на действующих водозаборах.

Интенсификация питания водоносного горизонта, обусловленная эксплуатацией подземных вод, и связанное с этим возможное увеличение их отбора может произойти как следствие создания специальных инженерных сооружений, так и под влиянием работы самого водозабора. Здесь возможны два случая естественного увеличения питания: непосредственное усиление фильтрации в водоносный горизонт поверхностных вод (так работают все береговые инфильтрационные водозаборы) и естественное магазинирование (аккумуляция) воды в период интенсивного питания, например, в паводок, с последующей сработкой сформировавшихся естественных запасов до следующего периода их восполнения). Таков режим работы водозаборов в долине Северского Донца, водозаборов в долинах рек с периодическим стоком в Центральном Казахстане и т. д. Сюда следует отнести восполнение подземных вод, эксплуатируемых водозаборами в речных долинах, периодическими попусками из водохранилищ (водозаборы в долине р. Шерубай-Нуры под Карагандой, в долине р. Черной у Севастополя и др.). В связи с этим следует различать искусственное восполнение запасов подземных вод от естественного восполнения, связанного с работой водозаборов.

Под собственно «искусственным» восполнением подземных вод понимается комплекс инженерных мероприятий, направленных на восполнение и усиление питания подземных вод, увеличение эксплуатационных ресурсов водоносного горизонта или водозаборного сооружения, а также на улучшение качества получаемой воды. Как и при естественном восполнении, здесь возможны два варианта. В условиях эксплуатации водоносных горизонтов небольшой мощности (4—10 м) и наличия постоянного источника воды используется усиление питания — безъемкостное, «прямоточное»

восполнение, когда накопления воды в водоносном горизонте не происходит, а погруженная в него из инфильтрационных сооружений вода тут же отбирается водозабором. В таких условиях преследуется цель искусственного создания дополнительных контуров постоянного напора, уменьшения фильтрационного сопротивления водоносных отложений вследствие сокращения пути фильтрации воды или усиления питания при фильтрации в ненасыщенном грунте («дождевания») под дном инфильтрационного сооружения. На таком принципе работают системы искусственного восполнения в городах Междуреченске, Новокузнецке, Каунасе, Ивано-Франковске, Черновцах, Пятигорске, Дортмунде, Базеле и др.

В тех случаях, когда мощность водоносного горизонта значительна (15—20 м и более), а источник восполнения действует периодически (паводковый сток в Казахстане или Центральной долине Калифорнии, летний поверхностный сток рек, промерзающих на 7—8 месяцев в году в северо-восточных районах страны, оросительная вода в невегетационный период и т. д.), искусственное восполнение подземных вод преследует цель в относительно короткий промежуток времени накопить, magazинировать в водоносном горизонте некоторое количество воды для последующей его сработки. В таких случаях важнейшим условием работы инфильтрационных сооружений является возможность быстро погрузить (аккумулировать) воду в подземную емкость, запасти воду на тот или иной период работы водозабора. Этим преследуется цель создания в коллекторе, опорожненном вследствие отбора воды, подземного водохранилища, по аналогии с поверхностными. На таком восполнении основана работа систем искусственного восполнения под Карагандой, в районе Севастополя, на Северо-Востоке страны, водозабора Балтэзерс в Риге (правда, там источник восполнения постоянный), систем искусственного восполнения в Калифорнии, Франции (Круаси, Дюранс) и ряд других. К косвенным методам искусственной интенсификации питания водоносных горизонтов следует отнести применение снежных мелиораций (снегозадержание и др.), эксплуатацию ирригационных систем, лесонасаждения и т. д. Береговые инфильтрационные водозаборы не отвечают сформулированной выше характеристике искусственного восполнения подземных вод, поэтому в качестве систем искусственного восполнения не рассматриваются. В полной мере отвечающими понятию искусственного восполнения считаются лишь те системы, где применены специальные инфильтрационные инженерные сооружения, усиливающие питание водоносных горизонтов или водозаборов. Такой же точки зрения придерживаются Ж. Биз, Л. Бурге и Ж. Лемуан, Е. Трюб и большинство других исследователей. Гидрогеологическим обоснованием возможности и целесообразности усиления питания подземных вод является изучение и анализ факторов, обуславливающих их применение: а) объекта восполнения (коллектора подземной емкости) водоносного горизонта, находящегося под влиянием эксплуатации (восполнять можно и горизонт, который питает посредством перетекания

эксплуатируемый, если в питающем наблюдается понижение уровня); б) источника восполнения — поверхностного стока, сбросных вод конденсационных и охлаждающих установок, водоотлива горных предприятий при соответствующем качестве воды; в) наличия потребности в искусственном восполнении; г) технико-экономических сравнений различных вариантов водоснабжения и обоснования магазинирования и усиления питания [88].

Важнейшим условием применения магазинирования является наличие коллектора. Поскольку искусственное создание коллекторов в настоящее время нереально (здесь не рассматриваются такие гипотетические возможности, как создание коллекторов подземными ядерными взрывами), наличие или отсутствие коллектора рассматривается как фактор постоянный. Основным фактором использования магазинирования или усиления питания является также источник восполнения — вода, но, в отличие от емкости, этот фактор является переменным во времени. Поясним это на примере. Довольно многочисленные водозаборы подземных вод, расположенные в конусах выноса предгорной аллювиально-пролювиальной равнины Копет-Дага, с расходами, достигающими $1 \text{ м}^3/\text{с}$ и суммарно отбирающими около $10\text{--}12 \text{ м}^3/\text{с}$ (Ашхабадский, Безмеинский, Секизьябский, Алтыябский, Кельтечинарский, Фирюзинский и др.), работают в неуставившемся режиме, причем темп снижения уровня в наиболее неблагоприятных условиях (Алтыябский водозабор, отбор $32 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$) достигает $3,5 \text{ м}$ в год. Вследствие подтягивания солоноватых вод с боков и снизу ухудшается и качество воды.

Для борьбы с истощением водоносных горизонтов ставится вопрос о привлечении ресурсов воды, подаваемой по Каракумскому каналу им. В. И. Ленина. Сейчас обстановка на многих водозаборах улучшилась вследствие фильтрации воды из канала. Предусматривается строительство специальных инфильтрационных сооружений для усиления питания водозаборов.

При изучении возможности применения магазинирования необходимо исследовать ряд факторов — геолого-гидрогеологических, геоморфологических, климатических, гидрологических и др.

К геолого-гидрогеологическим факторам относятся мощность и фильтрационные свойства водоносного горизонта, оцениваемого в качестве водоприемной емкости, его гидравлический характер (грунтовый, напорный), граничные условия в плане и разрезе, сведения о естественной дренированности участка, на котором предполагается применять магазинирование, данные о направлении и скорости подземного потока и интенсивности водообмена в естественных условиях, мощность, строение, гранулометрический состав, водно-физические свойства и проницаемость зоны аэрации, качество подземных вод, их режим.

Важным свойством, влияющим на возможность применения магазинирования и подлежащим изучению в полевых условиях, является приемистость пласта (способность поглощать и пропускать поглощаемую жидкость) и его грязеемкость (способность

поглощать вместе с водой взвешенные в ней твердые или коллоидные частицы). Существенное значение при оценке условий применения магазинирования принадлежит геоморфологической характеристике рельефа участка. Пересеченный рельеф не позволяет устраивать инфильтрационные бассейны и каналы или же подводить к поглощающим скважинам воду по открытым каналам и лоткам. В то же время уклоны от 0,01 до 0,05 способствуют усилению инфильтрации.

Существенное значение в проблеме искусственного восполнения подземных вод имеют вопросы методики исследования возможности применения искусственного восполнения при проведении разведочных работ, расчета отдающей способности инфильтрационных сооружений и прогноза ее во времени с учетом кольматации. В последние годы им посвящены многочисленные публикации отечественных авторов.

Говоря об источниках восполнения применительно к аридной зоне СССР, следует подчеркнуть важность задержания и аккумуляции периодического стока — весеннего снеготалого или летнего ливневого по небольшим водотокам. Например, в юго-западной части Центрального Казахстана такой периодический сток по десяткам и сотням русел достигает сотен миллионов кубометров в год. Этот сток уходит в окружающие пустыни (Бетпакдала, Тургайский прогиб), бесполезно расходясь на испарение и транспирацию дикой растительности. В Джезказгане через плотину водохранилища на р. Каракенгир за 1971—1973 гг. было сброшено и ушло в пустыню 560 млн. м³ пресной паводковой воды.

С развитием производительных сил в аридной зоне дефицит в воде будет ощущаться все сильнее, и подземная аккумуляция такого стока даст значительный народнохозяйственный эффект. Отметим, что и в Калифорнии, где в настоящее время искусственное восполнение подземных вод развито наиболее широко, его применение началось с магазинирования периодического стока по обычно сухим руслам, выходящим в Центральную равнину с гор Сьерра-Невады и Береговых хребтов. Переменными во времени являются и факторы потребности в восполнении, экономической целесообразности и конкурентоспособности его по отношению к другим вариантам водообеспечения, поскольку потребность в искусственном восполнении может возникнуть в связи с развитием производительных сил там, где прежде она не ощущалась.

Необходимо отметить, что основные цели, стоящие перед искусственным восполнением подземных вод, а также значение тех или иных факторов в различных климатических зонах различны. В гумидных районах восполнение применяется в основном для улучшения качества воды, преимущественно речной, подаваемой для этого на инфильтрационные сооружения, и здесь на первый план выдвигается значение подземной емкости — объекта восполнения. В аридных и полуаридных районах искусственное восполнение используется прежде всего для получения воды как таковой, и здесь значимость источника восполнения повышается.

По гидравлической характеристике процесса различают два основных метода погружения воды в водоносные горизонты: самотечной инфильтрации и напорной фильтрации — принудительной закачки в напорные горизонты (создание искусственных упругих запасов).

Самотечная инфильтрация осуществляется разливом воды («распределением») на естественных площадках, обвалованных дамбами, или затоплением естественных понижений, а также с использованием различных устройств — бассейнов, каналов, борозд, траншей и др. Эти способы характеризуются различными преимуществами и недостатками и, как правило, наилучший эффект дает их комбинированное применение. К способам напорной фильтрации относится нагнетание воды в поглощающие колодцы, скважины, шахты.

Специфика применения этих методов восполнения (самотечной инфильтрации и напорной фильтрации) обуславливает различные требования к воде, погружаемой в водоносные породы. Быстрое зарастание фильтров и снижение приёмности скважин при напорной фильтрации предопределяет значительно более жесткие требования к нагнетаемой воде, чем к подаваемой в инфильтрационные бассейны.

В отличие от инфильтрационных бассейнов, расположенных на поверхности земли, чистка фильтров и прифильтровых зон поглощающих скважин прямыми методами невозможна (применяются прокачки, обработка фильтров различными реагентами и т. д.).

Указанные технические трудности и относительно невысокая производительность установок напорной фильтрации объясняют тот факт, что 80% искусственно создаваемых запасов подземных вод обусловлены самотечной инфильтрацией и лишь 20% — нагнетанием воды в поглощающие скважины. Необходимость глубокой и полной очистки воды перед ее нагнетанием иногда делает более целесообразным подачу такой очищенной воды непосредственно потребителю. Однако и в этом случае метод напорной фильтрации оправдывает себя, если необходимо «накопить», искусственно создать запас подземной воды для расходования ее в период повышенной потребности. Именно так работают водоводы Калифорнии, круглый год подающие воду в одинаковом количестве. Причем в жаркий период подача не обеспечивает всех потребностей и дефицит покрывает эксплуатацией подземных вод, а в более прохладный невегетационный период подача воды превышает потребность и излишки магазинируются в водоносные горизонты. Одному из аналогичных проектов в Средней Азии посвящена работа К. А. Тихоновой.

Иногда очищенная вода используется как средство борьбы с вторжением соленых вод в водоносные горизонты на морских побережьях. Здесь главной целью, преследуемой восполнением, становится охрана подземных вод, а создание их искусственных запасов или усиление питания водозаборов отступают на второй план.

Важной характеристикой возможности применения искусственного восполнения и процесса эксплуатации систем восполнения является качество воды, подаваемой на инфильтрацию. Узаконенных или общепринятых научно-обоснованных и апробированных практикой нормативов качества такой воды до сих пор нет. Поскольку в практике приходится иметь дело с грунтами различного гранулометрического состава, инфильтрационные сооружения могут располагаться на разном удалении от водозаборных скважин (вследствие чего длина пути и время фильтрации будут различными), существенную роль играет качество естественной подземной воды и степень смещения с нею инфильтрата, однозначное решение этого вопроса вряд ли возможно. Все эти и другие вопросы, как, например, наличие и толщина илистой пленки на дне инфильтрационного бассейна, обуславливающие бактериальную очистку воды, влияют на требования к погружаемой воде, которые могут быть определены только применительно к конкретным условиям того или иного объекта.

В качестве первого опыта разработки этих вопросов укажем на работу А. М. Перлиной и др. При оценке качества воды, предполагаемой к погружению в водоносные горизонты, которые используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения, можно применять также критерии оценки загрязненности вод, используемые в системе Гидрометеослужбы СССР.

Опыт применения искусственного восполнения подземных вод в СССР недостаточен. Одна из причин такого положения — обилие источников поверхностных вод, не загрязненных еще 10—15 лет назад промышленными и бытовыми стоками, что обуславливало относительно небольшое использование подземных вод, а следовательно, и отсутствие потребности в их восполнении. Но с развитием производительных сил и ростом водопотребления, особенно отбора подземных вод, вследствие загрязнения поверхностных водотоков все более актуальным становится и искусственное восполнение подземных вод.

Необходимо отметить и существенную роль, которую искусственное восполнение подземных вод может играть при охране природы и окружающей среды. И хотя восполнение нельзя рассматривать как тотальное мероприятие, как панацею от всех бед в вопросах, касающихся водного хозяйства и водоснабжения, тем не менее во многих конкретных случаях оно может оказаться экономически оправданным средством предотвращения или прекращения истощения водоносных горизонтов, прекращения или уменьшения дефицита в воде, восстановления экологических условий среды (известны случаи высыхания и вымирания лесов вследствие снижения уровня грунтовых вод), предотвращения вторжения соленых вод в эксплуатируемые водоносные горизонты и т. д.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД, ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ В УСЛОВИЯХ ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПОЛНЕНИЯ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Несмотря на увеличивающееся в последнее время использование искусственного восполнения запасов подземных вод в нашей стране, тем не менее пока нельзя говорить о широком повсеместном (там, где это необходимо) его применении — это дело будущего. Однако бурный рост потребности в воде самого различного назначения, особенно в областях с дефицитом водных ресурсов или неравномерным их распределением во времени неминуемо приведет к весьма широкому использованию этого метода в недалеком будущем. В настоящее время районы широкого концентрированного использования систем искусственного восполнения подземных вод достаточно редки (районы Калифорнии, Великих Равнин и острова Лонг-Айленд в США, Рурская область в ФРГ [89]).

В нашей стране с ростом водопотребления и потенциальным истощением в некоторых регионах водоносных горизонтов в ближайшие 10—20 лет не только возрастет искусственное восполнение подземных вод на конкретных водозаборах, но и возникнут территориальные «региональные» системы восполнения.

Рассмотрим кратко, основываясь на существующем мировом и отечественном опыте, последствия широкого применения искусственного восполнения подземных вод, в том числе и влияние этого мероприятия на окружающую среду.

Использование искусственного восполнения в крупных масштабах имеет как позитивные, так и иногда негативные последствия, но при этом следует иметь в виду, что, во-первых, положительное влияние этого процесса резко превалирует над отрицательным и, во-вторых, последнее само по себе зависит от инженерной деятельности человека, подконтрольно ему и практически всегда может быть устранено. Так, без применения искусственного восполнения запасов подземных вод на действующих водозаборах уже в 60-х годах испытывали бы серьезные трудности с организацией хозяйственно-питьевого водоснабжения такие крупные города, как Тбилиси, Ташкент, Рига, Караганда. В Тбилиси водозаборы в долине р. Арагви (Чопорти—Мисакциели, Булачаури, Сагурамо) каптируют водоносный горизонт, характеризующийся весьма высокой проницаемостью (коэффициент фильтрации до 400—600 м/сут), но весьма малой мощностью (4—8 м). В таких условиях применение искусственной интенсификации питания едва ли не единственный и во всяком случае наиболее рациональный путь удовлетворения потребности в воде. Производительность системы 200 тыс. м³/сут. В Караганде, Вильнюсе, Новокузнецке, Асбесте применение искусственного восполнения повысило уровень

подземных вод в горизонте, что резко (почти в два раза) снизило себестоимость воды, главным образом вследствие экономии электроэнергии.

Важным аспектом охраны природы, в частности пресных подземных вод от загрязнения, является использование искусственного восполнения подземных вод в борьбе с нежелательными с точки зрения качества получаемой воды последствиями эксплуатации водозаборов — проникновением в эксплуатируемые водоносные горизонты посредством перетекания солоноватых вод, а также вод, загрязненных стоками. В качестве примера можно привести водозабор г. Таураге (Литовская ССР), а также ряд водозаборов в Арканзасе (США), где усиление питания эксплуатируемого водоносного горизонта приостановило перетекание соленых вод. К этому же аспекту охраны окружающей среды примыкает и борьба с вторжением соленых вод в эксплуатируемые водоносные горизонты на морских побережьях. Примером успешных результатов, полученных искусственным восполнением пресных вод — созданием гидравлической завесы, обеспечивающей нормальную работу водозаборов, могут служить Манхаттен-Бич в окрестностях Лос-Анджелеса и Бей-Парк на острове Лонг-Айленд (Нью-Йорк) в США, а у нас в стране — район Красноперкопска (Крым), где нагнетание 14 тыс. м³/сут пресной воды в линейный ряд скважин позволило сначала остановить, а затем и оттеснить к морю контур соленых вод, продвигавшихся до этого в глубину от береговой линии со скоростью 420 м в год. Такое продвижение было обусловлено интенсивной эксплуатацией неогеновых водоносных горизонтов для орошения.

К одному из видов охраны окружающей среды, тесно связанному с народным хозяйством, следует отнести значительное повышение отбора подземных вод в условиях искусственного восполнения, что экономит большие площади земель, нередко весьма ценных в сельскохозяйственном отношении. Так, применение искусственного восполнения запасов подземных вод на Кибрайском водозаборе в долине р. Чирчик под Ташкентом позволило сократить отвод земель, занятых ценнейшими плантациями, для строительства водозабора производительностью 3,5 м³/с почти на 2 тыс. га. Применение искусственного восполнения подземных вод на водозаборе Эйгуляй в долине р. Нямунас (Неман) в Каунасе позволило на тех же площадях увеличить отбор подземных вод почти в два раза.

В некоторых случаях, однако, искусственное восполнение запасов подземных вод может приводить и к нежелательным последствиям. Это имеет место, когда при проектировании систем искусственного восполнения были недостаточно учтены геолого-гидрогеологические условия участка водозабора. Например, в Риге на водозаборе Балтэзерс растекание бугра подземных вод, образующегося под линией инфильтрационных бассейнов, не перехватывалось полностью сифонными линиями водозаборных скважин, в результате чего на некоторых участках сформировались потоки

подземных вод, которые, минуя каптажные сооружения, разгрузались в ближайших понижениях рельефа (оз. Судрабу), вызывая частичное заболачивание. Это положение в начале 70-х годов было исправлено строительством новой сифонной линии и увеличением производительности водозабора.

Нередко использование для подачи на инфильтрационные сооружения воды, не удовлетворяющей необходимым требованиям, ухудшает качество получаемой воды. Так, при подаче в меженный период загрязненных вод Северского Донца на участки искусственного восполнения качество воды, отбираемой водозаборами, заметно снижалось. На водозаборе г. Сочи при пуске инфильтрационных бассейнов после чисток в первые несколько суток их работы (до образования илистой пленки в дне бассейна) снижался коли-титр получаемой воды. В г. Асбесте по мере сработки водоносного горизонта водозабором, скважины которого располагались в 50—70 м от русла р. Малый Рефт, началась более интенсивная инфильтрация воды из реки в породы, в результате чего в русле реки неподалеку от скважин образовались карстовые воронки и вода из реки в большом количестве начала поступать в толщу известняков. В связи с этим качество подземных вод резко ухудшилось и дальнейшее использование их для хозяйственно-питьевых целей оказалось невозможным. Однако необходимо подчеркнуть, что подобные негативные первоначальные результаты применения искусственного восполнения обычно легко устранимы. В долине Северского Донца была организована простейшая очистка и отстаивание воды, в г. Асбесте река была каналом отведена от водозаборных скважин, а речная вода по специальной траншее, игравшей попутно роль отстойника, стала подаваться на специально подготовленный для инфильтрации участок. В обоих рассмотренных случаях при росте водоотбора и улучшении условий эксплуатации качество воды удалось удержать на уровне, существовавшем до применения восполнения.

В качестве примера рассмотрим задачи, решаемые с помощью искусственного восполнения запасов подземных вод, при использовании подземных вод в Москве и Московской области. Как известно, основным источником обеспечения Москвы водой являются мощные системы подвода поверхностных вод из канала Москва-Волга (Иваньковское и другие водохранилища), из бассейна р. Москвы (Можайское, Рузское и другие водохранилища); а также строящаяся Вазузская система. На территории города отбирается примерно 600—700 тыс. м³/сут подземных вод из карбонатных водоносных горизонтов, на территории лесопарковой зоны — около 600 тыс. м³/сут. Суммарный отбор подземных вод составляет 1,2—1,3 млн. м³/сут, что превышает эксплуатационные ресурсы подземных вод этой территории. Прогнозный отбор подземных вод на территории лесопарковой зоны (города Люберцы, Лыткарино, Химки, Балашиха, Красногорск, Мытищи, Одинцово, Дедовск и другие) к 1980 г. составит 700—800 тыс. м³/сут, поскольку подземные воды — единственный источ-

ник коммунального водоснабжения городов лесопарковой зоны и области в целом, не связанных с мощными водопродовными системами Москвы. К этому следует добавить гидравлическое влияние мощных водозаборов подземных вод на территории области, например, в районе Ногинск—Электросталь—Орехово-Зуево. В результате на территории Московской области образовалась депрессия напоров, причем в большей части депрессии (в частности к востоку, западу и северо-западу от Москвы) уровни подземных вод в водоносных горизонтах карбона падают со скоростью 1—1,5 м/год даже там, где непосредственного отбора воды не производится. Такое положение приведет к тому, что к 1990—2000 году органы водоснабжения области и особенно лесопарковой зоны будут поставлены перед выбором — подключать города, расположенные в лесопарковой зоне, к мощным системам водоснабжения за счет поверхностных вод, что потребует больших затрат, или же широко на многих участках, где отсутствуют перекрывающие каменноугольные отложения юрские глины, организовывать искусственное восполнение подземных вод водоносных горизонтов карбона. Экономические сравнения показывают преимущество второго пути, и соответствующие проработки уже начаты.

Приведенные в настоящей главе материалы показывают, что искусственное восполнение запасов подземных вод является мощным фактором регулирования и перераспределения водных ресурсов, оптимизации их использования в народном хозяйстве, охраны окружающей среды. Мировой опыт показывает, что как только отбор подземных вод, даже из весьма водообильных водоносных горизонтов, приобретает исключительный по величине объем на орошение или же для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения городов, так сравнительно быстро начинается процесс истощения водоносного горизонта и становится актуальным искусственное восполнение его запасов воды.

В будущем рост потребностей в воде при неизменяющихся в многолетнем разрезе водных ресурсах неминуемо потребует их повсеместного регулирования и рационализации использования. В этих условиях будет быстро расти и применение искусственного восполнения. Потребность в восполнении будет определяться в основном тремя причинами:

1) необходимостью предотвращения дальнейшего истощения запасов подземных вод (в районе Москвы уровень подземных вод нижнего карбона понижен на 110 м, в Брянске и Орле, где эксплуатируются воды девонских отложений — на 50 и 55 м; в Сланцах и Кингисеппе на 60 и 72 м, в Ленинграде — на 65 м); такое же положение возникает при широком использовании подземных вод для орошения в аридной зоне;

2) необходимостью покрытия дефицита в питьевой воде, который имеется или намечается в ближайшем будущем (например, в городах Орле, Мценске, Свердловске, Каменске-Уральском и других);

3) частичным неподтверждением запасов подземных вод (например, на Верхне-Кизильском и Усольском месторождениях, Жанайском в Дзезказгане, в Калуге и других местах).

Учитывая разнообразие гидрогеологических условий источников восполнения, развития производительных сил и потребностей в воде, очень трудно в настоящее время давать какие-либо прогнозы. Основываясь на перспективных планах дальнейшего развития производительных сил нашей страны, общих тенденциях роста потребности в воде за последние 10—15 лет и экстраполируя такие темпы роста на перспективу с учетом экономии воды (оборотное водоснабжение и т. д.), а также основываясь на работах институтов и проектных организаций, ориентировочно можно предполагать, что размеры применения искусственного восполнения запасов подземных вод в нашей стране к 2000 году увеличатся. Основными районами применения искусственного восполнения и в будущем останутся Средняя Азия, Казахстан, Кавказ, Прибалтика, центральные и южные районы европейской части страны, Урал, юг Сибири и районы Северо-Востока.

1. *Алексеев В. С., Боголюбов К. С., Никольская Е. А.* Отечественный и зарубежный опыт искусственного пополнения запасов подземных вод. Итоги науки и техники, М., 1974. 148 с.
2. *Аравин В. И.* Расчет фильтрации в обход гидротехнических сооружений. «Изв. ВНИИГ», 1940, т. 27, с. 53—60.
3. *Бабушкин В. Д., Глазунов И. С., Гольдберг В. М.* Основные принципы эксплуатации и оценки запасов крупных линз пресных вод. М., Госгеолтехиздат, 1962. 190 с.
4. *Бабушкин В. Д., Плотников В. С., Лосев Ф. И.* Прогноз режима подземных вод на территории КМА при разработке месторождений и эксплуатации водозаборов. М., 1967. 91 с. (ВСЕГИНГЕО).
5. *Бабушкин В. Д., Глазунов И. С., Гольдберг В. М.* Поиски, разведка, оценка и эксплуатация линз пресных вод. М., «Недра», 1969. 304 с.
6. *Бабушкин В. Д., Лосев Ф. И.* Опыт гидрогеологических прогнозов на месторождениях полезных ископаемых путем моделирования на сеточных моделях. М., 1969, № 18, с. 6—13. (ВСЕГИНГЕО).
7. *Бабушкин В. Д., Ванькова Н. Н., Лосев Ф. И.* Оценка режима и баланса подземных вод крупных регионов методом моделирования на примере КМА (Методические рекомендации). М., 1972. 55 с. (ВСЕГИНГЕО).
8. *Барон В. А., Планин Ю. Г.* Прогноз многолетнего режима мелиорации поровых вод при орошении. М., «Недра», 1974. 68 с.
9. *Барон В. А., Гармонов И. В.* О комплексной оценке влияния производственной деятельности на режим подземных вод в районе водохранилищ.— «Водные ресурсы», 1974, № 5, с. 97—102.
10. *Белицкий А. С., Орлова Е. И.* Охрана подземных вод от радиоактивных загрязнений. М., «Медицина», 1968. 202 с.
11. *Биндеман Н. Н.* Гидрогеологические расчеты подпора грунтовых вод и фильтрации из водохранилищ. М., Углетехиздат, 1951. 71 с.
12. *Биндеман Н. Н.* Определение гидрогеологических параметров по данным наблюдений за режимом грунтовых вод при паводках. М., 1957. 48 м. (ВОДГЕО).
13. *Биндеман Н. Н., Минкин Е. Л., Семенова С. М.* Указания территориальным геологическим управлениям для выполнения работ по теме: «Региональная оценка эксплуатационных ресурсов подземных вод СССР». М., 1962. 47 с. (ВСЕГИНГЕО).
14. *Биндеман Н. Н.* Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М., Госгеолтехиздат, 1963. 203 с.
15. *Биндеман Н. Н., Язвин Л. С.* Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1970. 215 с.
16. *Боревский Б. В., Язвин Л. С.* Методические рекомендации по перспективной оценке эксплуатационных запасов подземных вод в слабо изученных районах (в основном по категории С₂). М., 1971. 25 с. (ВСЕГИНГЕО).

17. Бочевер Ф. М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1968. 352 с.
18. Бочевер Ф. М. Гидрогеологические расчеты крупных водозаборов и водопонижительных установок. М., Госстройиздат, 1963. 59 с.
19. Бочевер Ф. М., Орадовская А. Е. Некоторые вопросы фильтрации загрязненных промстоков в природных водоносных пластах.— «Механика жидкости и газа», 1969, № 6, с. 35—39.
20. Бочевер Ф. М., Орадовская А. Е. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнений. М., «Недра», 1972. 128 с.
21. Бочевер Ф. М., Орадовская А. Е. Методические рекомендации по прогнозу распространения промстоков в водоносных пластах. М., 1974. 126 с. (ВОДГЕО).
22. Веригин Н. Н. Режим грунтовых вод при наполнении и сработке водохранилищ.— «Гидротехническое строительство», 1952, № 11, с. 34—37.
23. Веригин Н. Н. Миграция растворенных и эмульгированных веществ при сбросе промышленных стоков в водоносные пласты.— «Инженерная гидрогеология», 1969, вып. 22, с. 28—37.
24. Веригин Н. Н. Гидродинамика закачки промышленных в водоносные пласты.— В кн.: Труды Лаборатории инженерной гидрогеологии. М., 1972, с. 169—183.
25. Владимирский В. Н., Комарова А. А. Гидрогеологические основы охраны подземных вод на сельскохозяйственных полях орошения. М., Госгеолтехиздат, 1963. 98 с.
26. Влияние водохранилищ на гидрогеологические условия прилегающих территорий. М., Госстройиздат, 1960. 319 с. Авт.: С. К. Абрамов, Н. Н. Биндеман, Ф. М. Бочевер, Н. Н. Веригин.
27. Востряков А. В. Неогеновые и четвертичные отложения, рельеф и неотектоника юго-востока Русской платформы. Изд. СГУ, 1967, с. 202—222.
28. Гавеман А. В. Московское море. Калинин, 1955. 140 с.
29. Гавеман А. В. Влияние Иваньковского водохранилища на природу и хозяйство прибрежных территорий. Калинин, 1973. 134 с.
30. Гармонов И. В., Каменский Г. Н. Карты водопроницаемости и динамических запасов грунтовых вод в Пехорско-Купавинском районе близ г. Москвы.— «Водные богатства недр земли на службу социалистическому строительству». 1933, № 6, с. 70—76.
31. Гармонов И. В., Лебедев А. В. Основные задачи по динамике подземных вод. М., Госгеолтехиздат, 1952. 244 с.
32. Гармонов И. В., Коноплянцев А. А., Котлов Ф. В. Оседание земной поверхности в связи с интенсивной откачкой подземных вод, эксплуатацией месторождений нефти и газа, некоторые вопросы теории прогноза оседания. (Госгеолком, ВИЭМС. Обзор по отдельным проблемам, вып. 17. М., 1965. 43 с.
33. Гармонов И. В., Гришина И. Н., Шестопалов В. М. Методические рекомендации по оценке влияния водохранилищ на ресурсы и запасы подземных вод. М., 1974. 22 с. (ВСЕГИНГЕО).
34. Геология СССР. Т. 11. Поволжье и Прикамье. М., «Недра», 1967. 871 с.
35. Геология, гидрогеология и железные руды Курской магнитной аномалии. Том 2. Гидрогеология и инженерная геология. М., «Недра», 1972. 478 с.

36. *Гидрогеология СССР*. Вып. 4. Влияние производственной деятельности человека на гидрогеологические и инженерно-геологические условия. М., «Недра», 1973. 278 с.
37. *Гидрогеология СССР*. Т. 6. Донбасс. М., «Недра», 1971. 480 с.
38. *Гидрогеология СССР*. Т. 4. М., «Недра», 1972. 495 с.
39. *Гидрогеология СССР*. Т. 13. Поволжье и Прикамье, М., «Недра», 1970. 800 с.
40. *Грунтовые воды Прикаспийской низменности и их режим*.— «Труды ГГП АН СССР», том XXVII, изд. АН СССР, 1960. 182 с. Авт.: Г. Н. Каменский, Г. Я. Богданов, И. В. Гармонов и др.
41. *Голованов А. И., Аверьянов С. Ф., Никольский Ю. И.* Расчет водного режима мелиорируемых земель.— «Гидротехника и мелиорация», 1974, с. 34—41.
42. *Гольдберг В. М.* Подземное захоронение промстоков химической промышленности. М., 1968. 79 с. (ВСЕГИНГЕО).
43. *Гольдберг В. М.* Основные положения и состояние проблемы подземного захоронения промышленных стоков.— В кн.: Воздействие хозяйственных мероприятий на подземный сток. М., 1972, с. 79—87.
44. *Гольдберг В. М.* Гидрогеологические прогнозы движения загрязненных подземных вод. М., «Недра», 1973. 193 с.
45. *Гольдберг В. М.* Загрязнение подземных вод и их охрана.— «Разведка и охрана недр», 1975, № 1, с. 40—44.
46. *Дмитриев Е. А., Манучаров А. С.* Об асимметрии в распределении водопроницаемостей.— «Почвоведение», 1967, № , с. 66—72.
47. *Доброумов Б. М., Образцов И. Н., Устюжанин Б. С.* Оценка влияния эксплуатации железорудных месторождений КМА на режим р. Осколец.— «Труды ГГИ», 1967, вып. 139, с. 206—224.
48. *Докукин А. В., Докукина Л. С.* Возникновение кислотных рудничных вод и борьба с ними. М., Углетехиздат, 1950. 352 с.
49. *Дювиньо П., Танг М.* Биосфера и место в ней человека. Пер. с французского. М., «Прогресс», 1968. 254 с.
50. *Емельянов А. Г.* Влияние режима Московского моря на развитие заболачивания в зоне подтопления.— «Уч. зап. кафедры Географии Калининского пединститута», 1967, т. 44, с. 167—176.
51. *Инженерно-геологические исследования для гидроэнергетического строительства*. Т. 1, М., Госгеолиздат, 1950. 320 с.
52. *Каменский Г. Н.* Уравнение неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях.— «Изв. АН СССР. Отделение технических наук», 1940, № 4, с. 53—56.
53. *Каменский Г. Н.* Основы динамики подземных вод. М., Госгеолиздат, 1943. 248 с.
54. *Кац Д. М.* Контроль режима грунтовых вод на орошаемых землях. М., «Колос», 1967. 183 с.
55. *Киселев П. А.* Исследования баланса грунтовых вод по колебаниям их уровня. Минск, 1961. 202 с. (АН БССР).
56. *Ковалевский В. С.* Условия формирования и прогнозы естественного режима подземных вод. М., «Недра», 1973. 153 с.
57. *Ковалевский В. С.* Основы прогнозов естественного режима подземных вод. М., Стройиздат, 1974. 208 с.

58. Коноплянцев А. А., Ковалевский В. С., Семенов С. М. Естественный режим подземных вод и его закономерности. М., Госгеолтехиздат, 1963. 231 с.
59. Коноплянцев А. А., Семенов С. М. Прогноз и картирование режима подземных вод. М., «Недра», 1974. 214 с.
60. Костяков А. Н., Фаворин Н. Н., Аверьянов С. Ф. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. М., Изд-во АН СССР, 1956. 447 с.
61. Котлов Ф. В. Город и геологические процессы. М., «Наука», 1967. 225 с.
62. Куделин Б. И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М., Изд-во МГУ, 1960. 344 с.
63. Лапшова Л. П. К методике оценки питания грунтовых вод при прогнозе уровня режима на массивах проектируемого орошения.—«Вопросы мелиоративной гидрогеологии». 1975, вып. 100, с. 42—51.
64. Лебедев А. В. Методы изучения баланса грунтовых вод. М., Госгеолтехиздат, 1963. 192 с.
65. Линзы пресных вод пустыни. Под ред. В. Н. Кунина. М., Изд-во АН СССР, 1963. 380 с.
66. Мендельсон М. М., Швидлер М. И. О дисперсионных фильтрационных эффектах в средах со случайными неоднородностями.—«Механика жидкости и газа», 1967, № 6, с. 181—184.
67. Минкин Е. Л. Расчет инфильтрации береговых водозаборов (линейного ряда скважин).—В кн.: Вопросы определения гидрогеологических параметров и расчета эксплуатационных запасов подземных вод. Вып. 1. 1967, с. 71—78.
68. Минкин Е. Л. Взаимосвязь подземных вод и ее значение при решении некоторых гидрогеологических и водохозяйственных задач. М., «Стройиздат», 1973. 104 с.
69. Мирзаев С. Ш. Запасы подземных вод Узбекистана. Ташкент, «ФАН», 1974. 224 с.
70. Никитин М. Р. Гидрогеологические прогнозы и фактическое развитие подпора грунтовых вод в берегах Куйбышевского водохранилища. Мат-лы первого науч.-техн. совещ. по изуч. Куйбышевского водохранилища, вып. 4, Куйбышев, 1963, с. 71—77.
71. Опыт и методика изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий крупных водохранилищ. Ч. 1. Под ред. Г. С. Золотарева, Д. С. Соколова, Е. Г. Чаповского. М., Изд-во МГУ, 1959. 176 с.
72. Основы гидрогеологических расчетов. М., «Недра», 1965. 306 с. Авт.: Ф. М. Бочевер, И. В. Гармонов, А. В. Лебедев, В. М. Шестаков.
73. Охрана природы. [Сборник нормативных актов.] М., «Юридическая литература», 1971. 407 с.
74. О взаимосвязи поверхностных и подземных вод в карстовых районах Центрального Казахстана в естественных и нарушенных условиях.—В кн.: Взаимосвязь поверхностных и подземных вод и вопросы управления водным балансом. М., 1973. Авт.: В. Н. Островский, М. А. Хордикайнен, С. П. Рылов, И. М. Лоскутова, с. 118—119.
75. Панасенко Г. П., Петропавловский В. Г. К вопросу прогнозирования состава и свойств шахтных вод.—В кн.: Геологическое строение и полезные ископаемые Нижнего Дона. Ростов-на-Дону, 1973, с. 125—131.
76. Пашковский И. С. Методы определения фильтрационного питания по расчетам влагопереноса в зоне аэрации. М., Изд-во МГУ, 1973. 118 с.

77. Плотников Н. И. К вопросу захоронения промышленных стоков. М., 1969, вып. 14, с. 164—192. (ВСЕГИНГЕО).

78. Плотников И. И. Особенности разработки и осушения месторождений полезных ископаемых в карбонатных карстовых массивах.— «Горный журнал», 1974, № 7, с. 10—13.

79. Попов О. В. Подземное питание рек. Л., Гидрометеиздат, 1968. 291 с.

80. Региональная оценка ресурсов подземных вод. М., «Наука», 1975. 136 с. Авт.: Н. Н. Биндеман, Б. В. Боровский, И. С. Зекцер и др.

81. Рыбин В. Ф., Шестопалов В. М. К оценке ошибок определения фильтрационного сопротивления ложа водоемов по данным режимных наблюдений.— «Геологический журнал», «Наукова думка», вып. 5, 1975, с. 115—125.

82. Саркисян В. С. О закачке в скважину с учетом различия плотностей нагнетаемой и вытесняемой жидкостей.— «Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа», 1975, № 6, с. 67—73.

83. Соболева И. М., Пельтихин С. В. Некоторые закономерности изменения и формирования химического состава шахтных вод северо-восточной части Донбасса.— «Советская геология», 1965, № 6, с. 160—164.

84. Тарасова Н. В. Подземное захоронение промышленных сточных вод.— «Бюлл. СЭВ по водному хозяйству», 1974, № 3, с. 38—42.

85. Фильтрация из водохранилищ и прудов. М., «Колос», 1975. 303 с. Авт.: С. В. Васильев, Н. Н. Веригин, Г. А. Разумов, Б. С. Шержуков.

86. Фишман Л. И. К вопросу проверки и уточнения прогнозов подпора грунтовых вод на берегах водохранилищ.— В кн.: Материалы первого научно-технического совещания по изучению Куйбышевского водохранилища, вып. 4. Куйбышев, 1963, с. 124—126.

87. Хантуш М. Новое в теории перетекания.— В кн.: Вопросы гидрогеологических расчетов. М., 1964, с. 43—59.

88. Хордикайнен М. А. К методике районирования теории СССР по условиям создания искусственных запасов подземных вод.— «Разведка и охрана недр», 1974, № 1, с. 38—43.

89. Хордикайнен М. А. Об искусственном восполнении запасов подземных вод.— «Водные ресурсы», 1974, № 2, с. 170—179.

90. Хордикайнен М. А. Особенности искусственного восполнения запасов подземных вод в трещиноватых и закарстованных коллекторах.— «Водные ресурсы», 1975, № 2, с. 122—132.

91. Хорошавин А. Н., Катаева И. В., Зайцева Т. А. Микробиологический фактор в формировании химического состава шахтных вод.— «Охрана природных вод Урала», 1971, № 4, с. 86—96.

92. Шестаков В. М. Основы гидрогеологических расчетов при фильтрации из водохранилищ промышленных стоков. М., изд. ВОДГЕО, 1961, № 3. 78 с.

93. Шестаков В. М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М., Изд-во МГУ, 1965. 233 с.

94. Шестаков В. М. Основы теории миграции подземных вод и ее практические приложения. В кн.: Воздействие хозяйственных мероприятий на подземный сток. М., 1972, с. 43—79.

95. Шестаков В. М. Динамика подземных вод. М., Изд-во МГУ, 1973. 327 с.

96. Ярцева Е. Н. Методическое пособие по определению коэффициента водоотдачи и недостатка насыщения почво-грунтов. М., 1967. 49 с. (ВСЕГИНГЕО).

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Водоотдача 58, 126, 177
Воронка депрессии 12, 13, 15, 24, 25, 28, 190, 192, 205, 212
Естественные запасы 14, 59, 128, 129, 135
— ресурсы 14, 15, 33, 34, 50, 51, 90, 94, 96, 103, 122, 125, 126
Загрязнение подземных вод 217
Инфильтрационные сооружения 247, 248, 249, 250, 251
Искусственное восполнение 134, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 252, 254, 255
— запасы 49, 57, 59, 90, 96, 126
— ресурсы 49, 58, 90, 94, 96
Истощение водоносного горизонта 214, 245, 246, 247—251
Кальматация 247
Коэффициент водоотдачи 126
Магазинирование 244—248, 249
Модуль эксплуатационных ресурсов 128, 130, 134
Оседание поверхности земли 212, 214
Питание подземных вод 56, 160, 198
Подпор подземных вод 59, 63
Привлекаемые ресурсы 49, 50, 60, 94, 96, 128
Расчетный период времени 138
Режим подземных вод 5, 6, 7, 9, 10, 11, 135, 136, 137, 202
Упругие запасы 23, 27
Фильтрационное сооружение 245, 246
Эксплуатационные запасы 14, 23, 27, 32, 33, 35, 36, 48
— ресурсы 15, 33, 47, 48, 50, 58, 62, 94, 96, 122, 126, 127, 128, 130, 133, 134, 254

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие. В. М. Фомин	3
Глава I. Естественный режим подземных вод и проблема охраны природы. А. А. Коноплянцев	5
Глава II. Влияние эксплуатации водозаборов на гидрогеологические условия территории Советского Союза. М. А. Хордикайнен, Л. С. Язвин	13
Основные положения оценки влияния водоотбора на гидрогеологические условия на территории СССР	13
Глава III. Влияние равнинных водохранилищ на режим, ресурсы и запасы подземных вод прилегающих территорий	46
Методические рекомендации по оценке влияния равнинных водохранилищ на ресурсы и запасы подземных вод. И. В. Гармонов, И. Н. Гришина, В. М. Шестопалов	48
Саратовское водохранилище. И. В. Гармонов, В. А. Епифанова, Е. М. Овсянникова, Е. И. Устинова	62
Иваньковское водохранилище. И. В. Гармонов, В. А. Михайлик, Т. А. Шейко-Кошуба	96
Горьковское водохранилище. И. В. Гармонов, И. Н. Гришина	101
Куйбышевское водохранилище. И. В. Гармонов, И. Н. Гришина, В. А. Епифанова, Л. Н. Захарова, Д. Ф. Кочетова, Е. М. Овсянникова, В. И. Устинова	112
Волгоградское водохранилище. Н. Ф. Мазанова, Л. И. Фишман	115
Кременчугское водохранилище. А. Е. Бабинец, В. Ф. Рыбин, В. М. Шестопалов	122
Глава IV. Влияние орошаемого земледелия на водный режим и баланс речных бассейнов. В. А. Барон	135
Теоретические основы оценки влияния орошения на водный режим и баланс речных бассейнов	135
Естественный режим и баланс грунтовых вод левобережья среднего течения р. Волги	145
Прогнозное питание грунтовых вод в условиях орошения	148
Влияние орошения на режим и баланс грунтовых вод малых водосборов (на примере Приволжской оросительной системы). В. А. Барон, А. Ф. Савельев	151
Влияние орошения на режим и баланс грунтовых вод в пределах части водосбора р. Волги	158
Глава V. Влияние горнорудных работ на изменение гидрогеологических условий и методы охраны водных ресурсов	165
Процессы, развивающиеся при эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых и в условиях крупного отбора подземных вод. В. Д. Бабушкин, З. П. Лебедянская	165
Оценка влияния отбора подземных вод на речной сток и общие водные ресурсы для отдельных типовых гидрогеологических условий. В. Д. Бабушкин при участии Н. В. Сокулиной	177

Охрана водозаборов подземных вод в районах разрабатываемых месторождений полезных ископаемых. В. Д. Бабушкин	185
Примеры влияния горнорудных работ на изменение гидрогеологических условий	188
Курская магнитная аномалия (КМА). В. Д. Бабушкин, Н. Н. Ванькова	188
Североуральский бокситовый бассейн (СУБР). З. П. Лебединская, В. А. Жербак	199
Центрально-промышленный район Подмосковского бурогоугольного бассейна (ЦПР). С. А. Криворог	205
Западный Донбасс. Е. А. Яковлев	211
Глава VI. Влияние производственной деятельности на загрязнение подземных вод и их охрана. В. М. Гольдберг	217
Связь загрязнения подземных вод с общим загрязнением окружающей среды и воздействием на них производственной деятельности	217
Основные виды загрязнений подземных вод	225
Гидрогеологические прогнозы для охраны подземных вод от загрязнения в связи с их эксплуатацией и влиянием промышленных предприятий	230
Подземное захоронение промышленных сточных вод в глубокие водоносные горизонты	237
Гидрогеологическое обоснование задач и мероприятий по охране подземных вод от загрязнения	240
Глава VII. Основные положения и перспективы создания искусственных запасов подземных вод. М. А. Хордикайнен	243
Гидрогеологические и народнохозяйственные (экономические) основы применения искусственного восполнения запасов подземных вод	244
Оценка изменений ресурсов подземных вод, их использование в народном хозяйстве в условиях широкого применения искусственного восполнения запасов подземных вод	252
Список литературы	257
Предметный указатель	262
Оглавление	263

ИБ № 2016

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Редактор издательства *Л. Н. Федорова*
 Переплет художника *К. В. Голикова*
 Художественный редактор *В. В. Евдокимов*
 Технические редакторы *В. В. Максимова, Л. Г. Лаврентьева*
 Корректор *Е. И. Микрякова*

Сдано в набор 19.07.77. Подписано в печать 31.01.78. Т-00058. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага № 2. Гарнитура литер. Печать высокая. Печ. л. 16,5. Уч.-изд. л. 19,01. Тираж 3000 экз. Заказ 379/12222-2. Цена 1 р. 10 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.

Ленинградская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 190000, Ленинград, Прачечный пер., 6.

1 р. 10 к.

2468

НЕДРА