



ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»

Федеральное Государственное Автономное Учреждение
«Научно-Исследовательский Институт
«Центр Экологической Промышленной Политики»

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Ирина Генриховна Казакова

Гидрогеологический центр «Геоцентр-Москва»,
АО «Центральное производственно-геологическое объединение»,
АО «Росгеология»,
кандидат геолого-минералогических наук

Ирина Олеговна Тихонова

Федеральное государственное автономное учреждение
«Научно-исследовательский институт
«Центр экологической промышленной политики»,
кандидат технических наук, доцент

Вода — первоначало всего, ибо она имеется везде, где есть жизнь; вода послужила началом земле и воздуху...

Фалес Милетский (624–547 гг. до н. э.)

ВОДА В ПРИРОДЕ

Деятельность человеческого общества немыслима без воды. Проблема водных ресурсов, их сокращения и увеличения — одна из главных в жизни современного человека. Без четкого представления о методах рационального использования этих ресурсов невозможно дальнейшее развитие промышленности, сельского хозяйства, прогресс науки и культуры.

Забота о получении достаточного количества воды, пригодной для питья и удовлетворения культурно-бытовых потребностей населения, волнует человечество на протяжении всего его существования. Достаточно вспомнить, что первый римский водопровод протяженностью 16,5 км был построен в 312 г. до н. э. Характер и формы водоснабжения менялись с изменением социально-экономических условий, прогрессом техники и естественных наук, общим подъемом культуры.

На Земле вода встречается в атмосфере, на поверхности и в земной коре. Водная оболочка земного шара, содержащая воду во всех ее агрегатных состояниях (жидком, твердом и газообразном), названа гидросферой. **Гидросфера** (от древнегреч. ὕδωρ (вода) и σφαῖρα (шар)) представляет собой совокупность атмосферных вод, поверхностных вод (океанов, морей, озер, водохранилищ, болот, рек и т. д.) и подземных вод, включая скопления воды в твердой фазе (снежный покров, ледники, лед мерзлых горных пород)¹.

В *атмосфере* вода встречается в парообразном состоянии — в воздушной оболочке, окружающей земной шар; в капельножидком — в облаках, туманах и в виде дождя; в твердом — в виде снега, града и кристалликов льда высоких облаков.

На *земной поверхности* вода встречается в жидком состоянии — воды океанов, морей (Мировой океан), озер, водохранилищ, болот, рек, а также в твердом — лед и снег в водоемах и на суше.

¹ *Киссин И. Г.* Вода под землей. — М. : Наука, 1976; *Климентов П. П.* Общая гидрогеология. — М. : Высш. шк., 1980; *Климентов П. П., Богданов Г. Я.* Общая гидрогеология. — М. : Недра, 1977; *Новиков Ю. В., Сайфутдинов М. М.* Вода и жизнь на земле. — М. : Наука, 1981; *Овчинников А. М.* Общая гидрогеология. — М. : Госгеолтехиздат, 1955; *Плотников Н. И.* Подземные воды — наше богатство. — М. : Недра, 1976; *Маккавеев А. А.* Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии. — М. : Недра, 1971; Советский энциклопедический словарь. — М. : Сов. энциклопедия, 1987.

В *земной коре* (в горных породах) по классификации Е. М. Сергеева встречаются подземные воды во всех агрегатных состояниях: парообразном (связанная вода), жидком (свободная вода — капиллярная, гравитационная) и твердом (линзы, прослойки и кристаллики льда в мерзлых породах).

Общая площадь океанов и морей в 2,5 раза превышает территорию суши. Океанические воды покрывают почти три четверти поверхности земного шара слоем толщиной около 4 тыс. м.

Общий объем воды на земле (по данным М. И. Львовича) составляет около 1,5 млрд м³, из этого количества 93,96 % воды сосредоточено в океанах и морях (Мировой океан), остальное — воды суши, из которых немногим больше 4 % представляют воды, находящиеся в жидком состоянии — поверхностные воды рек, озер и водохранилищ, подземные воды, почвенная влага, а 1,65 % вод существуют в твердом виде — скованно в ледниках².

Воды атмосферы, поверхностные и подземные воды тесно связаны между собой и находятся в постоянном движении. Под влиянием солнечной энергии и действия сил тяжести в природе происходит непрерывный (вечный) круговорот воды. **Круговорот воды в природе** представляет собой сложный процесс, состоящий из нескольких составляющих: испарения, переноса водяных паров воздушными потоками, образования облаков и выпадения осадков, поверхностного и подземного стока вод суши в Мировой океан.

Испаряясь с поверхности океанов, морей, рек, озер, суши и растительного покрова, вода переходит в атмосферу в виде пара. В процессе перемещения воздушных масс водяные пары переносятся над поверхностью земли, при определенных условиях сгущаются и выпадают на землю в виде дождя или снега. Выпавшие на поверхность земли атмосферные осадки частью стекают в реки, моря и океаны, некоторое их количество расходуется на питание растений, частично просачивается через почву в пласты горных пород, достигая уровня подземных вод, а некоторый их объем вновь испаряется в атмосферу. Через какое-то время просочившиеся осадки на пониженных участках поверхности (например, на берегах морей, в долинах рек, в балках и оврагах) могут снова появиться на поверхности в виде источников (выходы подземных вод на поверхность). Воды таких источников также стекают в реки и моря и расходуются на испарение.

В общей схеме выделяют несколько круговоротов воды: большой (внешний), малый и внутренний (рис. 1).

При *большом круговороте* часть водяных паров, образовавшихся в результате испарения воды океанов и морей переносится на сушу, где выпадает в виде осадков, некоторое количество из которых вновь стекает в моря и океаны в виде поверхностного и подземного стоков.

В процессе *малого круговорота* часть испарившейся влаги с поверхности океанов и морей выпадает здесь же в виде осадков.

² Климентов П. П. Общая гидрогеология; Климентов П. П., Богданов Г. Я. Общая гидрогеология; Новиков Ю. В., Сайфутдинов М. М. Вода и жизнь на земле; Плотников Н. И. Подземные воды — наше богатство.

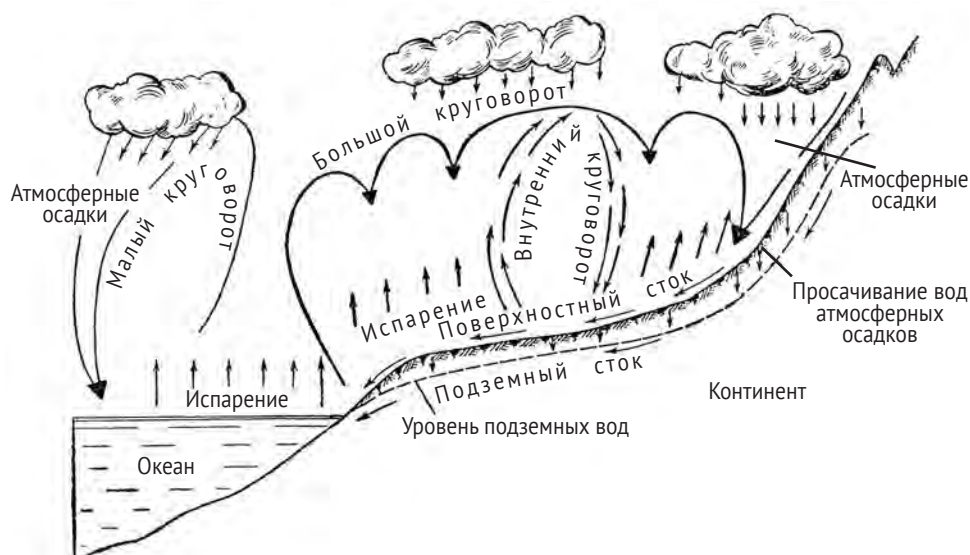


Рис. 1. Схема круговорота воды в природе

Внутренний круговорот обеспечивается водой, которая испаряется в пределах материков — с водной поверхности рек и озер, с суши и растительности и там же выпадает в виде осадков. Эти осадки снова расходуются на сток и испарение, причем часть испарившейся влаги вновь выпадает на материке.

Важными составляющими круговорота воды в природе являются поверхностный и подземный стоки³.

Поверхностный сток — процесс перемещения дождевой и талой воды по земной поверхности под влиянием силы тяжести. Поверхностный сток делится на склоновый и русловый. Склоновый сток образуется за счет дождевых и талых вод и происходит на поверхности склона вне фиксированных путей. Русловый сток проходит по определенным линейным направлениям — в руслах рек, днищах оврагов и балок.

Подземный сток — перемещение гравитационных подземных вод в зоне полного насыщения под действием гидравлического напора или силы тяжести.

Количественное выражение круговорота воды для отдельных территорий, речных бассейнов, регионов или земного шара в целом называется **водным балансом**.

³ Зекцер И. С. Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод. — М. : Научный мир, 2012; Климентов П. П. Общая гидрогеология; Климентов П. П., Богданов Г. Я. Общая гидрогеология; Новиков Ю. В., Сайфутдинов М. М. Вода и жизнь на земле; Плотников Н. И. Подземные воды — наше богатство; Подземный сток на территории СССР / под ред. Б. И. Куделина. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1966.

В общем объеме круговорота воды на Земле ведущее место занимает океаническое звено: на суше выпадает только четвертая часть (113,5 тыс. км³) всех осадков, остальные (411,6 тыс. км³) приходятся на долю Мирового океана.

Осадки на поверхности суши создают ресурсы поверхностных вод и являются основным источником формирования пресной воды. Пресные воды имеются главным образом в ледниках полярных и горных областей, озерах и водохранилищах, болотах и в руслах рек. Пресные воды составляет менее 3% от общего объема воды гидросферы, из них технически доступно для использования всего 0,3%. Большая часть пресной воды в виде ледников сосредоточена в Гренландии и Антарктиде.

Круговорот воды — это исключительно важное свойство гидросферы. Благодаря ему общее количество воды на Земле не уменьшается, и вода поэтому практически неисчерпаема. В этом заключается существенное отличие водных ресурсов от других полезных ископаемых. Все формы круговорота воды составляют единый гидрологический цикл, в процессе которого происходит возобновление всех видов вод. Подсчитано, что пары атмосферы обновляются в среднем каждые 10 сут, речные воды в руслах рек — в среднем каждые 11 сут, почвенная влага и воды верховодки Земли возобновляются ежегодно. Более медленно происходит возобновление подземных вод, особенно глубоко залегающих, а также вод в озерах, болотах и ледниках (табл. 1)⁴.

Таблица 1. Характеристика мировых запасов вод

| Составляющие гидросферы | Общий объем воды | | Объем пресных вод | | Время возобновления | Использование |
|------------------------------------------------------|----------------------|--------|----------------------|-------|---------------------|-------------------------------------|
| | тыс. км ³ | % | тыс. км ³ | % | | |
| Мировой океан | 1 370 323 | 93,96 | – | – | 3000 лет | Не используются |
| Подземные воды, в т. ч. в зоне свободного водообмена | 64 000 | 4,38 | 4000 | 14 | 5000 лет | Питьевые, хозяйственно-бытовые цели |
| Ледники | 24 000 | 1,65 | 24 000 | 85 | 8000 лет | Не используются |
| Озера и водохранилища | 280 | 0,02 | 155 | 0,55 | 7 лет | Широкое использование |
| Почвенная влага, в т. ч. оросительные воды | 85 | 0,005 | 83 | 0,3 | 1 год | Потребление растениями |
| Атмосферная влага | 14 | 0,001 | 14 | 0,05 | 10 сут | Не используются |
| Болота | 11 | 0,0008 | 8 | 0,03 | 5 лет | Не используются |
| Реки | 1,2 | 0,0001 | 1,2 | 0,005 | 11 сут | Широкое использование |

⁴ Гидрогеология СССР. Т. 1. — М. : Недра, 1966; Каменский Г. Н. и др. Гидрогеология СССР. — М. : Госгеолтехиздат, 1959; Киссин И. Г. Вода под землей; Новиков Ю. В., Сайфутдинов М. М. Вода и жизнь на земле; Овчинников А. М. Общая гидрогеология; Плотников Н. И. Подземные воды — наше богатство.

Круговорот воды оказывает решающее влияние на формирование ресурсов поверхностных вод и подземных вод верхней части земной коры.

Водные ресурсы — это запасы пресной воды на планете, которые сосредоточены в поверхностных и подземных водных объектах, атмосфере и почве. Активно используемые водные ресурсы образуют водный фонд.

Источниками питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения на Земле служат пресные поверхностные воды рек и озер, а также подземные воды.

Водный фонд РФ — совокупность водных объектов в пределах территории Российской Федерации, включенных или подлежащих включению в Государственный водный кадастр⁵. Наиболее широко используются реки, подземные водоносные горизонты и озера, в которых сосредоточено 55 % ресурса. Озера и подземные воды кроме ресурса характеризуются статическими (вековыми) запасами, которые составляют около 54 068 км³ (табл. 2).

Таблица 2. Суммарные водные ресурсы России
(по данным Центра регистра и кадастра)

| Ресурсы | Среднеголетний объем возобновляемого стока | | Статические запасы | |
|-----------------|--------------------------------------------|-----|--------------------|-----|
| | км ³ /год | % | км ³ | % |
| Речной сток* | 4270 | 42 | – | – |
| Озера | 532 | 5 | 26 068 | 27 |
| Болота | 1000 | 10 | 3000 | 3 |
| Ледники | 110 | 1 | 39 890 | 41 |
| Подземные воды | 787,5 | 8 | 28 000 | 29 |
| Почвенная влага | 3500 | 34 | – | – |
| Всего | 10 199,5 | 100 | 96 958 | 100 |

* В том числе 227 км³/год речного стока, поступающего с территории других государств.

Водные ресурсы на Земле распределены неравномерно. В первую очередь это касается запасов пресных вод, пригодных для жизнеобеспечения человека. Острый недостаток в пресной воде испытывают огромные районы Африки, Ближнего и Среднего Востока, Южной и Северной Америки, Австралии. Более трети населения земного шара живет в условиях дефицита пресной воды.

Сюда относятся такие высокоразвитые в промышленном отношении страны, как США, Германия, Нидерланды, Япония. Несмотря на значительный объем речного стока на территории Индии и Китая, водообеспеченность населения этих стран значительно ниже, чем во многих других странах⁶.

Актуальную информацию о ресурсах, качестве и использовании поверхностных и подземных вод Российской Федерации по ее субъектам, федеральным

⁵ Закон РФ «Водный кодекс Российской Федерации».

⁶ Новиков Ю. В., Сайфутдинов М. М. Вода и жизнь на земле.

округам, стране в целом, основным речным бассейнам и их участкам, а также сведения о запасах и уровнях воды в крупнейших водоемах страны можно узнать в справочном издании «Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество»⁷ — это один из видов информационной продукции Водного кадастра Российской Федерации. В соответствии с установленным регламентом его подготовка осуществляется ежегодно за предыдущий год. Издание предназначено для федеральных органов власти, органов власти федеральных округов и субъектов Российской Федерации, а также организаций, занимающихся проектированием водохозяйственных и природоохранных мероприятий в масштабе субъектов Российской Федерации.

Общий объем речного стока для территории Российской Федерации в 2020 г. составил 4565 км³, что существенно больше среднемноголетнего значения. Из этого объема 4316,9 км³ — воды местного формирования, 248,1 км³ воды поступило с территорий сопредельных государств. В Северо-Западном, Приволжском, Южном, Уральском и Дальневосточном федеральных округах наблюдалась повышенная водность рек, в Сибирском и Центральном федеральных округах — близкая к норме. В Северо-Кавказском федеральном округе водные ресурсы были ниже среднемноголетних значений (рис. 2).

Водные ресурсы рек в 2020 г. интенсивно использовались в процессе хозяйственной деятельности. Наиболее интенсивное их использование было отмечено в Центральном, Южном, Северо-Кавказском, Приволжском и Сибирском федеральных округах, где основные водопотребители — промышленность и орошаемое земледелие. Изъятия воды из рек Северо-Западного федерального округа были существенно меньшими, а из рек Уральского и Дальневосточного федеральных округов — весьма незначительными. В целом по России было забрано около 58 км³ пресной воды, из них 47 км³ из поверхностных и 11 км³ из подземных водных источников. В течение года общий запас воды в крупных водохранилищах уменьшился на 17,61 км³.

Под объемом использованной воды из природных водных источников понимается объем забранной воды за вычетом потерь при транспортировке и переброске стока. Картой и диаграммами проиллюстрированы данные, характеризующие использование вод по федеральным округам Российской Федерации в 2020 г. Карта отображает выраженные в процентах отношения объемов использования воды к объемам местного стока. Диаграммы на карте отображают объемы воды, забранной из природных источников, использованной и сброшенной во все виды водных объектов (рис. 3).

Изучением поверхностных вод занимается наука гидрология, изучением подземных вод — наука гидрогеология⁸.

⁷ Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество : (ежегодное издание) / Гос. ком. СССР по гидрометеорологии. 2020 год. — СПб., 2021.

⁸ Гидрогеология СССР. Т. 1; Каменский Г. Н. и др. Гидрогеология СССР; Климентов П. П. Общая гидрогеология; Климентов П. П., Богданов Г. Я. Общая гидрогеология; Ланге О. К. Основы гидрогеологии. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1958; Овчинников А. М. Общая гидрогеология; Плотников Н. И. Подземные воды — наше богатство.

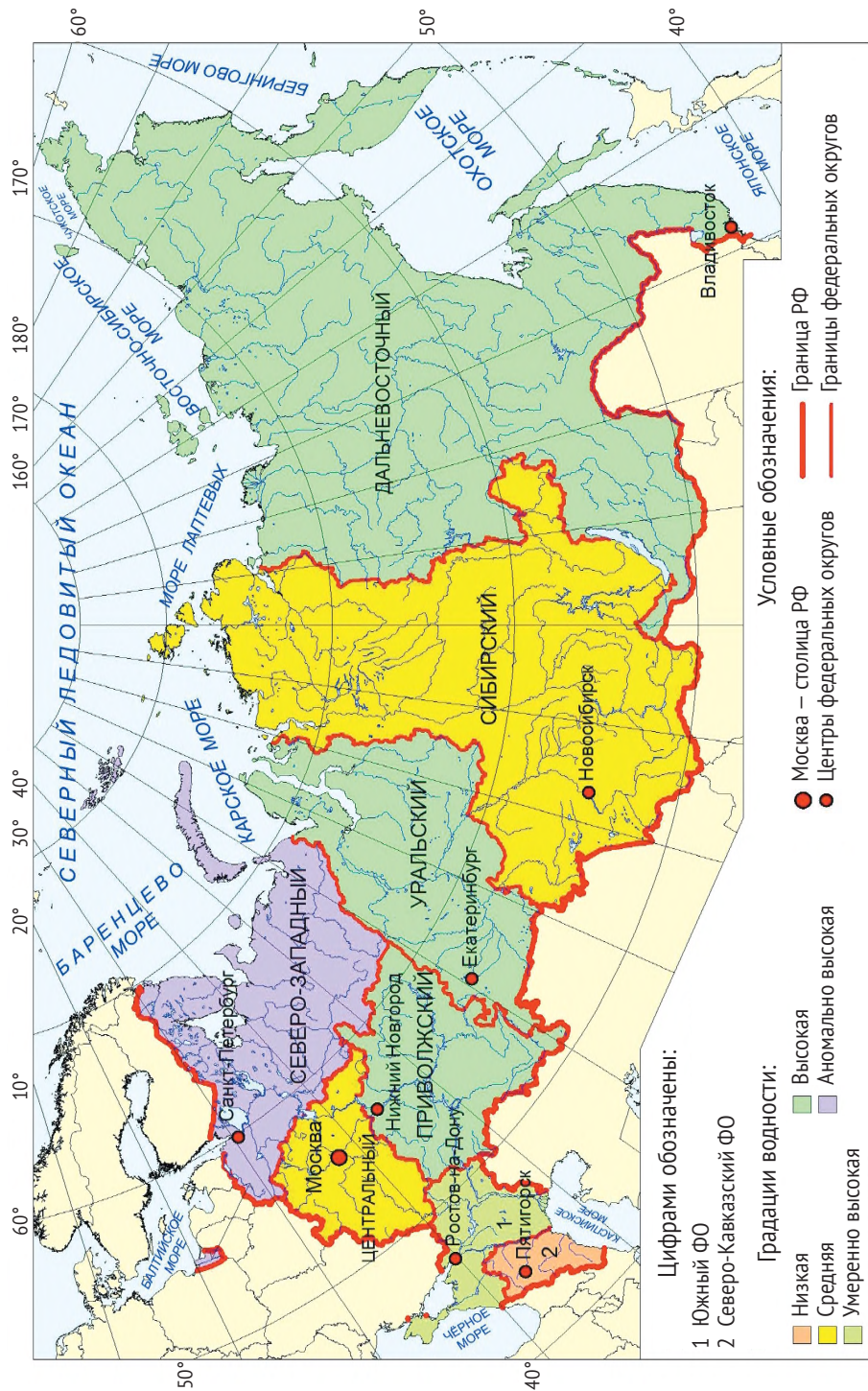


Рис. 2. Водность рек по федеральным округам Российской Федерации по данным ежегодного справочного издания Водного кадастра РФ «Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество» за 2020 г.

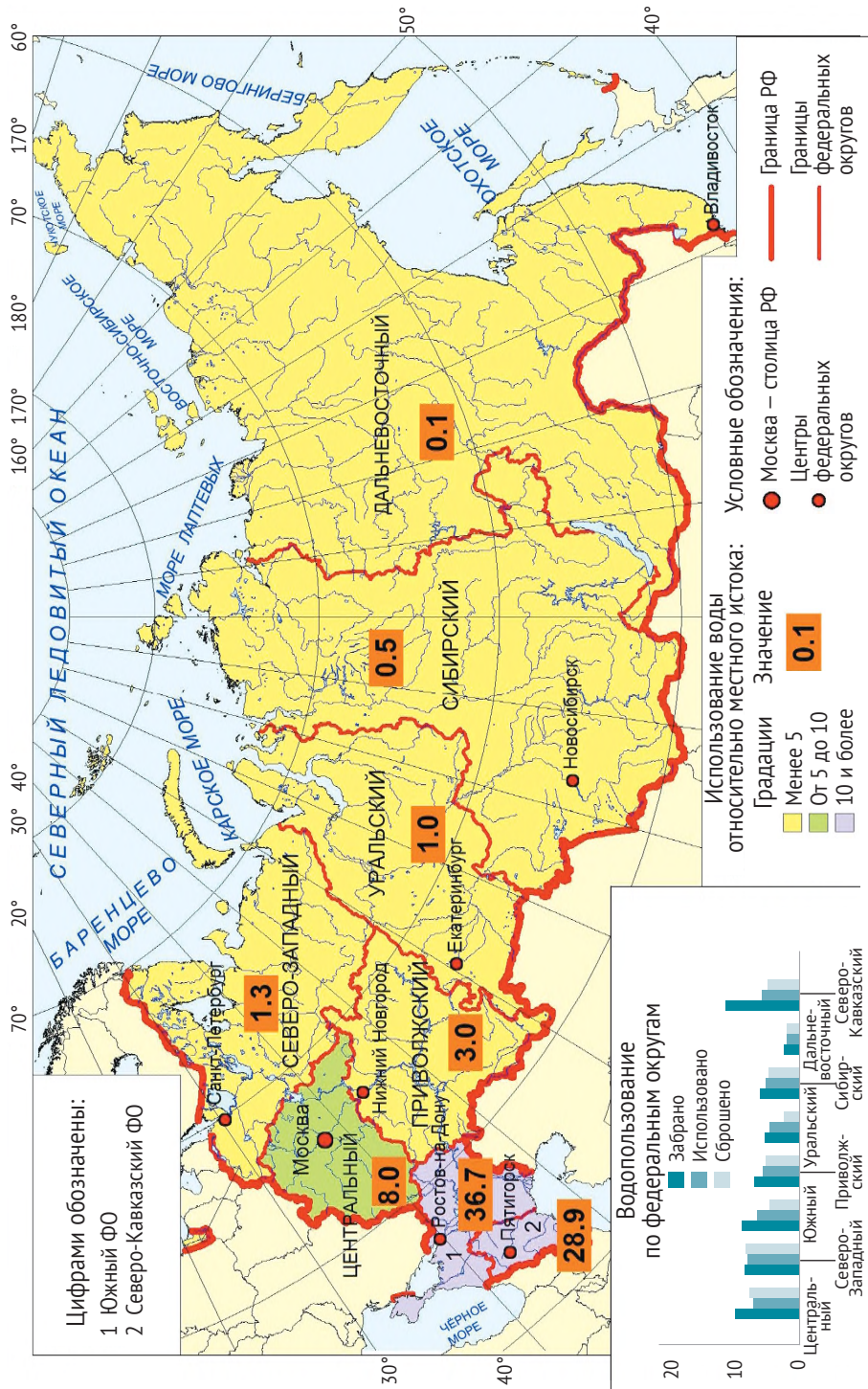


Рис. 3. Использование воды по федеральным округам Российской Федерации по данным ежегодного справочного издания Водного кадастра РФ «Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество» за 2020 г.

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

Подземные воды — это самое драгоценное полезное ископаемое.

А. Н. Карпинский (1931 г.)

Подземные воды, залегающие в толщах горных пород, являются частью водной оболочки (гидросферы) Земли, они тесно связаны с поверхностными водами и водами атмосферы. Возникновение жизни на Земле, образование современной атмосферы, расчленение земной коры на относительно устойчивые платформенные и геосинклинальные области обусловили около 2,5–3,0 млрд лет назад появление пресной воды и формирование большого круговорота воды на земном шаре. В ранний период развития Земли гидросфера претерпела сложную эволюцию как по количеству воды, так и по ее составу.

С начала возникновения большого круговорота воды на земном шаре наряду с солеными водами океанов и морей в формировании подземных вод принимают участие пресные воды атмосферных осадков, первые из них накапливаются при осадкообразовании в морских бассейнах, а вторые — на суше. В процессе геологического развития континентов их состав претерпевал значительные изменения при взаимодействии воды с горными породами, газами, органическими остатками и живыми организмами при различных температурах и давлениях.

Подземные воды играют важную роль в жизни людей. Особое значение подземные воды приобретают в тех районах, где поверхностных вод очень мало или совсем нет. В этих случаях только подземные воды дают возможность существования людям, животным и растениям.

Историческая справка об использовании подземных вод

Вода... — это та живая кровь, которая создает жизнь там, где ее не было.

А. Н. Карпинский (1931 г.)

Из истории известно, что центры древней цивилизации нередко располагались на площадях, где легко можно было добывать не только поверхностную, но и подземную воду. В отдельных районах развитие цивилизации прекращалось, если исчерпывались запасы водных источников.

Практические навыки добывания подземной воды несомненно быстрее развивались в засушливых районах, где было мало поверхностных вод. Такие районы в нашей стране расположены на юго-востоке; они характеризуются редкими поверхностными водотоками и локальным распространением пресных подземных вод. Нельзя считать случайным и то обстоятельство, что большинство поселений (в том числе и столичных городов) расположено по берегам рек, где легко использовать наряду с поверхностными водами и пресные подземные воды, залегающие часто на незначительной глубине в песчаных

отложениях. Нередко у основания склонов речных долин выходят источники с водой высокого качества. Воды этих источников широко используются для водоснабжения и других целей. Кроме того, поверхностные водотоки удобно также использовать для сброса бытовых вод.

Первые сведения о подземных водах существовали уже в глубокой древности⁹. Человек использовал подземные воды еще в доисторические времена. Развитие древних цивилизаций в засушливых районах Азии и Ближнего Востока требовало совершенствования техники водоснабжения. Еще во III–II тыс. до н. э. в Египте научились сооружать колодцы глубиной до 100 м. Колодцы были источниками водоснабжения на караванных путях в пустыне.

К древнейшим гидротехническим сооружениям относятся также водосборные галереи — кяризы. Эти водосборные галереи проходили с небольшим наклоном в водоносных породах. С поверхностью галереи сообщались посредством колодцев (рис. 4).

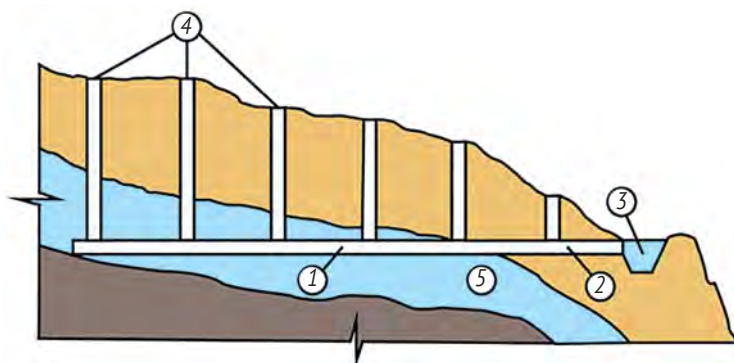


Рис. 4. Схема кяриза:

- 1 — водозаборная штольня; 2 — водоотводящая галерея; 3 — водоприемный канал;
4 — смотровые колодцы; 5 — водоносный пласт

Кяризы использовались для водоснабжения и орошения земель. Они были известны еще в Древнем Вавилоне и существуют поныне в некоторых районах Средней Азии, Азербайджане, а также в Иране, Афганистане, Индии и других странах. В Иране кяризы называют канатами. Наиболее крупные водосборные галереи здесь имеют длину до 43 км и заложены на глубине до 300 м, дебит их достигает 0,9 м³/с, общее количество кяризов в Иране — около 40 тыс., а суммарный дебит 600–700 м³/с.

В I тыс. до н. э. водопроводы Карфагена и многих греческих городов получали воду из каптированных источников. Воды источников использовались

⁹ Гусев С. Н., Небольсина К. А. Водоснабжение на базе артезианских скважин. — М. : Колос, 1976; Киссин И. Г. Вода под землей; Климентов П. П. Общая гидрогеология; Климентов П. П., Богданов Г. Я. Общая гидрогеология; Ланге О. К. Основы гидрогеологии; Маккавеев А. А. Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии; Новиков Ю. В., Сайфутдинов М. М. Вода и жизнь на земле; Овчинников А. М. Общая гидрогеология; Плотников Н. И. Подземные воды — наше богатство.

и для водоснабжения Рима. Древние римляне умели находить водоносные слои и вскрывали их с помощью дренажных каналов. Марк Витрувий Поллион — римский архитектор и инженер, живший во второй половине I в. до н. э. и первой половине I в. н. э., построил акведук, по которому воды источников поступали из долины Тибра в Рим. В Древнем Китае в III в. до н. э. для сооружения колодцев был применен станок ударно-канатного бурения. На Керченском полуострове был обнаружен колодец, выкопанный в I в. н. э.

Широко использовались подземные воды на Руси. Уже в IX–XI вв. русские умельцы приобрели большой опыт устройства колодцев и каптажа источников, а в IX в. начали бурить первые скважины для добычи рассолов, из которых вываривали соль (Соловецкий монастырь, побережье Белого моря, устье Северной Двины). Археологическими исследованиями в Новгороде был обнаружен водопровод, построенный из деревянных труб в XI в., по нему вода подавалась от родников к княжескому двору. В конце XV в. был оборудован водопровод в Московском Кремле. С XVI в. известны водопроводы в Соловецком монастыре и Троице-Сергиевой лавре. В конце XVII и начале XVIII в. сооружаются крупные водопроводы — Петергофский и Лиговский, которые использовали поверхностные и грунтовые воды окрестностей Петербурга.

Бурение скважин в Европе начали применять с XII в. В 1126 г. на севере Франции в провинции Артуа начато бурение водяных скважин. От латинского названия этой провинции произошло название напорных подземных вод — артезианские воды.

Большие масштабы бурение артезианских скважин приобретает в XIX в. в России в связи с развитием городов и увеличивающимися потребностями водоснабжения. В 30-х гг. XIX в. был пробурен ряд артезианских скважин для водоснабжения Одессы, Петербурга, Тамбова, Казани и других городов. В Москве в 1876 г. артезианская скважина на Яузском бульваре достигала глубины 458 м.

В России на территории Центрального федерального округа (ЦФО) подземные воды являются основным источником питьевого, хозяйственно-бытового и технического водоснабжения населения и предприятий. В 14 из 18 субъектов ЦФО доля использования подземных вод в системе водоснабжения превышает 50%. В Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой, Орловской, Смоленской, Тамбовской и Тульской областях водоснабжение полностью обеспечивается за счет добычи подземных вод (табл. 3)¹⁰.

Для понимания технологий добычи и эксплуатации подземных вод для целей водоснабжения необходимо знать основные положения о развитии и становлении геологической науки о подземных водах — гидрогеологии: условия залегания, распространения, зональность, состав и качество подземных вод, методы и методики поисков и разведки, оценка ресурсов и запасов подземных вод, рациональное использование и охрана подземных вод.

¹⁰ Информационный бюллетень «О состоянии недр на территории Центрального федерального округа за 2021 год» / ФГБУ «Гидроспецгеология». — М., 2022. — Вып. 27.

Таблица 3. Подземные воды в балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения на территории субъектов ЦФО (по данным ведения регионального мониторинга подземных вод на территории ЦФО)

| Субъект РФ | Доля использования подземных вод, % | Субъект РФ | Доля использования подземных вод, % |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Белгородская область | 100 | Москва | 1 |
| Брянская область | 79 | Московская область | 83 |
| Владимирская область | 82 | Орловская область | 100 |
| Воронежская область | 100 | Рязанская область | 59 |
| Ивановская область | 53 | Смоленская область | 100 |
| Калужская область | 72 | Тамбовская область | 100 |
| Костромская область | 13 | Тверская область | 100 |
| Курская область | 100 | Тульская область | 100 |
| Липецкая область | 100 | Ярославская область | 3 |

Историческая справка о становлении и развитии науки гидрогеологии, основные направления и задачи

Гидрогеология, как и многие другие научные и прикладные дисциплины, возникла и развивалась из необходимости удовлетворения многочисленных запросов народного хозяйства¹¹. Гидрогеология, подобно другим областям знаний, возникла в глубокой древности из практических потребностей человека, но оформилась как наука только в конце XIX в.

В России первые систематические исследования подземных вод связаны с созданием Российской академии наук (1724 г.). Первые научные представления о подземных водах как о природных растворах, их образовании путем инфильтрации атмосферных осадков и геологической деятельности подземных вод были высказаны М. В. Ломоносовым в сочинении «О слоях земных» (1763 г.). Термин «гидрогеология» был предложен в 1802 г. французским естествоиспытателем Ж. Б. Ламарком (1744–1829). Под гидрогеологией Ламарк понимал науку о геологической деятельности воды, явлении разрушения и отложения водой горных пород.

До середины XIX в. учение о подземных водах развивалось как составная часть геологии, после чего обособилось в отдельную дисциплину. В середине XIX в. в гидрогеологии разрабатываются законы движения подземных вод. Так, в 1856 г. французский инженер Анри Дарси (1803–1858), занимаясь проблемами водоснабжения города Дижона, установил основной закон фильтрации в пористом грунте, известном сейчас как линейный закон фильтрации или закон Дарси, являющийся базовым в подземной гидродинамике. Наряду

¹¹ Каменский Г. Н. и др. Гидрогеология СССР; Климентов П. П. Общая гидрогеология; Климентов П. П., Богданов Г. Я. Общая гидрогеология; Ланге О. К. Основы гидрогеологии; Овчинников А. М. Общая гидрогеология; Плотников Н. И. Подземные воды — наше богатство.

с гидродинамикой ведется глубокое изучение химии воды. В этом плане нельзя не назвать величайшее открытие XIX в. — Периодический закон великого русского химика Д. И. Менделеева (1834–1907). Этот закон является одним из фундаментальных в области естествознания, основополагающим для правильного понимания химии всех водных растворов Земли и базовым для геохимии в целом и гидрогеохимии в частности.

В 1882 г. в России был организован Геологический комитет, который проводил геологическую съемку страны и начал масштабные гидрогеологические исследования. Экспедициями Академии наук и Геологического комитета, а также в результате практической деятельности, связанной с организацией водоснабжения за счет использования подземных вод, были получены первые сведения о распространении подземных вод в различных районах страны; природной зональности и связи химического состава подземных вод с физико-географическими условиями; распространении глубоких артезианских вод; значительный интерес представляли результаты исследований кавказских минеральных вод, первые сведения о подземных водах районов распространения вечной мерзлоты и др.

Таким образом, ко второй половине XIX в. сформировались достаточно верные представления о происхождении, составе и распространении подземных вод в верхней части земной коры, сформулированы первые законы, заложены основы изучения региональных закономерностей, появились первые классификации подземных вод, первые гидрогеологические карты. Все это позволяет заключить, что становление гидрогеологии как науки состоялось именно в это время.

На рубеже XIX и XX столетий в России уже имелась целая группа талантливых ученых-гидрогеологов (С. Н. Никитин, И. В. Мушкетов, А. А. Краснопольский, Н. Ф. Погребов, Ф. П. Саваренский, А. Ф. Лебедев, В. И. Вернадский, Г. Н. Каменский, Н. Н. Славянов, О. К. Ланге и др.), которые заложили основы изучения подземных вод в нашей стране.

В дальнейшем гидрогеология развивалась по нескольким направлениям¹²:

- 1) региональному — исследовались все новые и новые бассейны подземных вод в разных странах мира и геологических структурах;
- 2) генетическому — в научный анализ включались воды все более и более глубоких горизонтов: соленые, рассолы, термальные;
- 3) гидродинамическому — вывод новых формул и выявление закономерностей движения воды разных видов в различных геологических структурах, математическое моделирование;
- 4) гидрогеохимическому — исследование состава и условий формирования разнообразных типов воды, использование полученных данных в решении различных задач, включая поиски полезных ископаемых;

¹² Каменский Г. Н. и др. Гидрогеология СССР; Климентов П. П. Общая гидрогеология; Климентов П. П., Богданов Г. Я. Общая гидрогеология; Ланге О. К. Основы гидрогеологии; Овчинников А. М. Общая гидрогеология; Плотников Н. И. Подземные воды — наше богатство; Плотников Н. И. Эксплуатационная разведка подземных вод. — М. : Недра, 1973; Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения : метод. пособие. — М. : Недра, 1969.

- 5) палеогидрогеологическому — история воды и ее геологическая роль;
- 6) экологическому — охрана, рациональное использование и управление подземными водами.

В настоящее время гидрогеология в России оформилась в сложную комплексную науку, включающую в себя следующие самостоятельные научно-методические направления: общая гидрогеология; динамика подземных вод; гидрогеохимия; методика гидрогеологических исследований; гидрогеология месторождений полезных ископаемых; учение о минеральных водах; радиогидрогеология; региональная гидрогеология; учение о месторождениях подземных вод; мелиоративная гидрогеология; учение о режиме и балансе подземных вод; гидрогеологическое моделирование; палеогидрогеология; криогидрогеология; инженерная и экологическая гидрогеология.

Прикладные практические задачи гидрогеологии в связи с запросами народного хозяйства страны, а также с ухудшающейся экологической обстановкой чрезвычайно разнообразны и многочисленны. Основными из них являются:

- изыскание источников и организация водоснабжения пресными подземными водами населенных пунктов, сельскохозяйственных и промышленных объектов и промышленных предприятий;
- решение задач мелиоративной гидрогеологии: гидрогеологические исследования в связи с орошением земель в аридных областях и осушением — в избыточно увлажненных (заболоченных);
- изыскания под гидротехническое строительство (гидрогеологическая оценка районов строительства, определение фильтрационных потерь воды);
- разведка и оценка месторождений минеральных вод, используемых на бальнеологических курортах и в санаториях, а также во вновь осваиваемых промышленных районах;
- поиск, разведка и геолого-промышленная оценка месторождений промышленных вод как химического сырья для извлечения йода, брома, лития, стронция и др.;
- разведка и оценка рентабельности использования термальных и перегретых вод для целей теплофикации и строительства геотермальных электростанций;
- обеспечение выполнения задач горного дела, а также промышленного и гражданского строительства;
- применение гидрогеохимических методов поисков месторождений рудных полезных ископаемых, а также нефти, газа и др.;
- радиогидрогеологические поиски месторождений атомного сырья и решение использования радиоактивных вод;
- решение задач по гидрогеологическому и геоэкологическому обоснованию строительства, охране подземных вод от истощения и загрязнения и разработке превентивных и компенсационных мероприятий.

Гидрогеология — комплексная наука. Она развивается на стыке геологии, геофизики, геохимии, гидрологии и ряда других наук. При этом гидрогеология не только использует новейшие достижения этих наук, но и обогащает их своими успехами. Ибо вода участвует во многих процессах, происходящих как на поверхности, так и в глубине нашей планеты.

Классификации подземных вод

В процессе развития науки и практической деятельности в области использования подземных вод для более широкого и глубокого понимания взаимосвязи разных направлений знаний о подземных водах и получения новых знаний разрабатывались классификации подземных вод.

Существует много классификаций подземных вод. Это объясняется сложностью и большим разнообразием природных условий нахождения подземных вод, а также различными требованиями, предъявляемыми при эксплуатации тех ли иных типов вод. Подземные воды классифицируются по происхождению, условиям залегания, гидродинамическим показателям, температуре, качественному составу, литологическим особенностям вмещающих пород, геологическому возрасту водоносных пластов и другим признакам. Существующие классификации подземных вод можно объединить в три группы.

1. *Химические классификации природных вод*, в том числе подземных, включая минеральные и нефтяные, В. И. Вернадского (1929, 1932, 1933, 1934, 1936 гг.), Ч. Пальмера (1911 г.), В. А. Александрова (1932 г.), Н. Н. Славянова (1933 г.), Н. И. Толстихина (1936, 1937 гг.), Г. А. Максимовича (1944 г.), О. А. Алекина (1946 г.), А. М. Овчинникова (1947, 1955 гг.), М. Е. Альтовского и В. М. Швеца (1956 г.) и др.

2. *Общие классификации подземных вод* по происхождению, условиям залегания и другим признакам, предложенные Штейером (1907 г.), О. Е. Мейнцером (1923 г.), М. Канавари (1928 г.), А. М. Жирмунским и А. А. Козыревым (1928 г.), в настоящее время имеют только исторический интерес; О. К. Ланге (1933, 1938, 1950, 1958 гг.), Н. Н. Славяновым (1933, 1935 гг.), Ф. П. Саваренским (1935, 1939 гг.), Г. Н. Каменским (1947 г.), Г. А. Максимовичем (1948 г.), А. Н. Семихатовым (1954 г.), Н. И. Толстихиным (1954, 1956, 1959 гг.), М. Е. Альтовским (1958 г.), А. М. Овчинниковым и П. П. Климентовым (1962 г.), Н. Н. Биндеманом (1968 г.) и др.

3. *Частные классификации*, объединенные с общими и разработанные по одному или нескольким признакам Н. И. Толстихиным (1933, 1940, 1941 гг.) для подземных вод области распространения многолетнемерзлых пород, А. И. Дзенс-Литовским (1940, 1945, 1948 гг.) для вод соляных месторождений, А. М. Овчинниковым (1949 г.) и С. В. Троянским (1956 г.) для вод районов молодого вулканизма, А. Н. Токаревым (1956 г.) для радиоактивных вод, Н. И. Плотниковым, М. В. Сыроватко и Д. И. Щеголевым (1957 г.) для подземных вод рудных месторождений, Н. И. Плотниковым (1959 г.) для подземных вод, используемых при водоснабжении.

Строение подземной гидросферы

Подземная гидросфера сверху ограничена поверхностью земли, нижняя ее граница достоверно еще не установлена. По мнению одних исследователей, ее условно можно провести на глубине 12–16 км, других — на глубине 70–100 км в разных геотектонических областях.

В пределах подземной гидросферы состояние воды, ее структура и свойства меняются по мере изменения температуры и давления в земной коре и мантии. В подземной гидросфере выделяют следующие гидрофизические зоны¹³: 1) зона аэрации; 2) мерзлая зона земной коры; 3) зона насыщения; 4) зона переплотненного водяного флюида; 5) зона жидкопластического водного раствора силикатов и алюмосиликатов; 6) зона диссоциированных молекул воды.

Практический интерес для народного хозяйства представляют три зоны.

Зона аэрации охватывает верхние слои литосферы от дневной поверхности до уровня подземных вод. В этой зоне поры пород обычно заполнены воздухом и парами воды, а также прочно- и рыхлосвязанной капиллярной водой. Периодически весной в период таяния снега или во время выпадения интенсивных дождей в породах зоны аэрации образуется свободная (гравитационная) вода.

Мощность зоны аэрации зависит от литологических особенностей пород (глубины залегания водонепроницаемых толщ), рельефа местности, степени расчлененности поверхности земли (дренированности территории), климатических условий. Она изменяется в широких пределах — от долей метра до 100 м и более. На обширных площадях, где подземные воды достигают поверхности земли, образуя заболоченные территории, зона аэрации может отсутствовать.

Через зону аэрации осуществляется тесная связь подземных вод с атмосферой — дождевыми и талыми водами, проникающими вглубь и пополняющими ресурсы подземных вод.

Мерзлая зона земной коры (криолитозона) отличается преимущественным распространением подземных вод в твердой фазе. Она охватывает обширные северные районы Евразии и Америки, Антарктиду, а также высокогорные территории горно-складчатых сооружений, всего многолетнемерзлые породы (ММП) занимают около 24 % территории суши. В данной зоне господствуют отрицательные температуры, значения которых колеблются от 0 до -15°C . Мощность мерзлой зоны изменяется до 1000 м и более. В зоне распространения ММП также встречаются подземные воды в жидкой фазе в виде таликов пресных вод и минерализованные воды с отрицательными температурами. Пресные воды непромерзаемых надмерзлотных таликов и пластовые межмерзлотные и подмерзлотные воды используются для постоянного водоснабжения населенных пунктов, железнодорожных станций и других объектов. Подземные воды районов распространения ММП (их происхождение, распространение, залегание и т. д.) изучает криогидрогеология в рамках геокриологии (мерзлотоведения).

Зона насыщения (жидких вод) распространяется повсеместно и охватывает почти всю площадь континентальной литосферы. Основная особенность ее заключается в том, что все пустоты и поры пород в ней полностью заполнены (насыщены) свободной и связанной водой. Исключения составляют только

¹³ Каменский Г. Н. и др. Гидрогеология СССР; Климентов П. П. Общая гидрогеология; Климентов П. П., Богданов Г. Я. Общая гидрогеология; Ланге О. К. Основы гидрогеологии; Овчинников А. М. Общая гидрогеология; Плотников Н. И. Подземные воды — наше богатство.

площади месторождений нефти и газа. Сверху эта зона граничит с зоной аэрации или мерзлой зоной. Нижняя граница зоны (глубина залегания критической температуры воды 374–450° С) зависит от тектонического строения территории земной коры. В областях современной вулканической деятельности она прослеживается на глубине около 8–10 км, а в областях докембрийской складчатости достигает 30–35 км и более.

Понятие водоносных и водоупорных пород

Зона насыщения сложена различными по литологическим особенностям и геологическому возрасту породами. При аккумуляции подземных вод, просачивании их через толщи пород, а также отдаче породами воды при их эксплуатации колодцами и скважинами выделяются водоносные (закрывающие гравитационную воду) и водоупорные (практически водонепроницаемые) породы¹⁴.

Водоносными называются такие породы, которые содержат свободную воду и способны пропускать ее через свою толщу и сравнительно легко отдавать под действием силы тяжести. К таким породам относятся: галечники, гравелиты, слабосцементированные конгломераты и песчаники, пески, алевролиты, известняки и доломиты, трещиноватые магматические и метаморфические породы.

К **водоупорным (водонепроницаемым)** относятся такие породы, которые весьма слабо пропускают (фильтруют) или совсем не способны пропускать и отдавать воду в природных условиях; такими породами являются глины, тяжелые суглинки, плотный хорошо разложившийся торф, глинистые сланцы, аргиллиты, каменная соль, гипс, мергели, а также все плотные магматические и часть метаморфических пород.

Стратификация (от лат. *stratum* — слой, пласт; *facere* — делать) — положение отдельных частей геологических образований в вертикальном разрезе. Может устанавливаться на основании возрастных, литологических, петрографических, химических, морфологических и других особенностей геологических образований, слагающих разрез.

При расчленении разрезов рыхлых и слабосцементированных осадочных и метаморфических пород, представляющих собой пластово-поровые или порово-трещинные коллекторы подземных вод, следует пользоваться наиболее распространенными гидрогеологическими подразделениями (от более мелких к крупным): водоносный горизонт, водоносный комплекс, гидрогеологический этаж.

Под **водоносным горизонтом** принято понимать относительно выдержанную по площади и в разрезе насыщенную свободной гравитационной водой

¹⁴ Гусев С. Н., Небольсина К. А. Водоснабжение на базе артезианских скважин; Киссин И. Г. Вода под землей; Климентов П. П. Общая гидрогеология; Климентов П. П., Богданов Г. Я. Общая гидрогеология; Ланге О. К. Основы гидрогеологии; Маккавеев А. А. Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии; Овчинников А. М. Общая гидрогеология; Плотников Н. И. Подземные воды — наше богатство.

одно- или разновозрастную толщу горных пород, представляющую собой в гидродинамическом отношении единое целое.

По условиям залегания и режиму выделяются водоносные горизонты *грунтовых, межпластовых ненапорных и артезианских (или напорных) вод* (рис. 5).

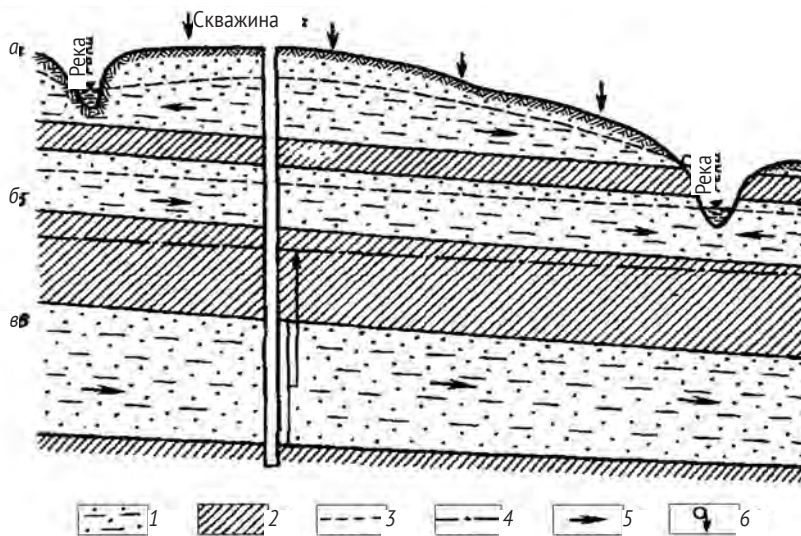


Рис. 5. Типовые схемы залегания водоносных горизонтов:

1 – водоносные горизонты (*а* – грунтовые воды; *б* – межпластовые ненапорные; *в* – артезианские); 2 – водоупорные породы; 3 – уровень ненапорных вод; 4 – пьезометрический уровень напорных вод (стрелкой обозначен напор); 5 – направление движения подземных вод; 6 – разгрузка грунтовых вод через нисходящий родник

Водоносный горизонт может быть представлен как одним, так и несколькими слоями водонасыщенных пород, отличающихся или сходных по геологическому возрасту, литологическим особенностям и фильтрационным свойствам; при сложении только одним пластом горизонт будет простым однослойным, а при многих пластах — сложным слоистым: двух-, трехслойным или многослойным.

Водоносный комплекс представляет собой выдержанную в вертикальном разрезе и имеющую региональное распространение водонасыщенную толщу одно- или разновозрастных и разнородных по составу пород, ограниченную сверху и снизу регионально выдержанными водоупорными (или относительно водоупорными) пластами, исключаящими или затрудняющими гидравлическую связь со смежными водоносными комплексами и обеспечивающими присущие данному комплексу определенные особенности гидродинамического и гидрогеохимического режима вод. Водоносный комплекс включает в себя несколько в различной степени выдержанных водоносных горизонтов. В отличие от горизонтов в комплексе напоры подземных вод могут изменяться в вертикальном разрезе, что предопределяется степенью гидравлической связи отдельных составляющих его горизонтов (рис. 6).

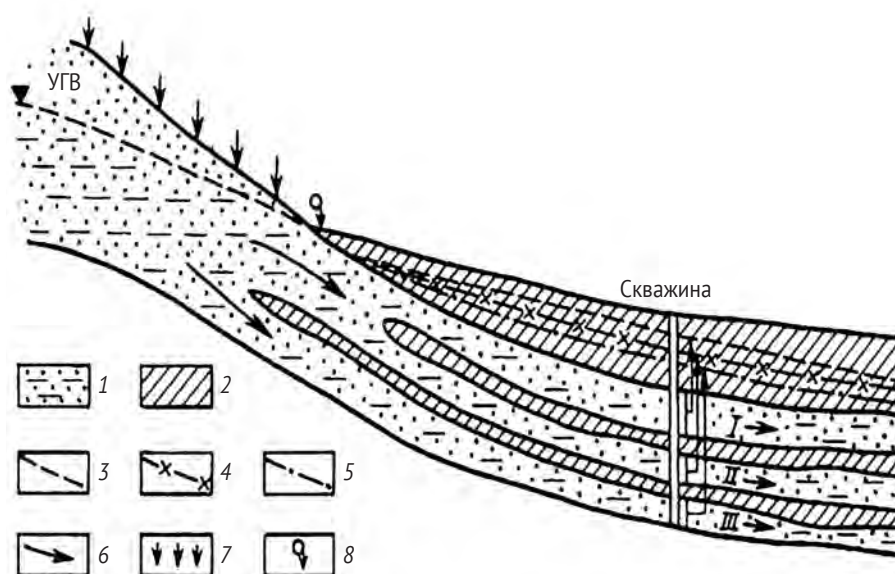


Рис. 6. Схема строения водоносного комплекса:

1 — водопроницаемые породы (пески); 2 — водоупорные породы; 3–5 — пьезометрические уровни соответственно I, II, III водоносных горизонтов; 6 — направление движения подземных вод; 7 — область питания водоносного комплекса (поглощение осадков); 8 — нисходящий источник

Под **гидрогеологическим этажом** понимается совокупность водоносных комплексов, ограниченных или только снизу, или и сверху и снизу мощными регионально выдержанными в пределах водонапорной системы толщами водоупорных пород. Гидрогеологические этажи отличаются друг от друга степенью водообмена, различными особенностями процесса формирования подземных вод, а также неодинаковыми чертами палеогидрогеологического развития.

Верховодкой называются подземные воды, которые образуются за счет инфильтрации атмосферных и поверхностных вод в породах зоны аэрации, а также в результате конденсации водяных паров в горных породах на линзах водоупорных пластов на сравнительно небольшой глубине от поверхности земли и имеющие в плане ограниченное распространение (рис. 7). Верховодка обычно насыщает различные пористые породы четвертичного возраста — пески, покровные суглинки, лессы и пр. Верховодка также встречается в верхней части коры выветривания скальных пород. Кроме того, она распространена в районах многолетней мерзлоты, где относится к надмерзлотным водам. На территориях городов и на крупных промышленных площадках образованию верховодки способствуют многочисленные понижения, котлованы, техногенные насыпные и намывные грунты. Режим верховодки всецело зависит от количества инфильтрующихся атмосферных осадков, а на застроенных территориях городов и промышленных площадок — загрязненных техногенных вод. Водоупором для верховодки служат нередко линзы морены и выклинивающиеся водонепроницаемые или слабопроницаемые пласты другого генезиса.

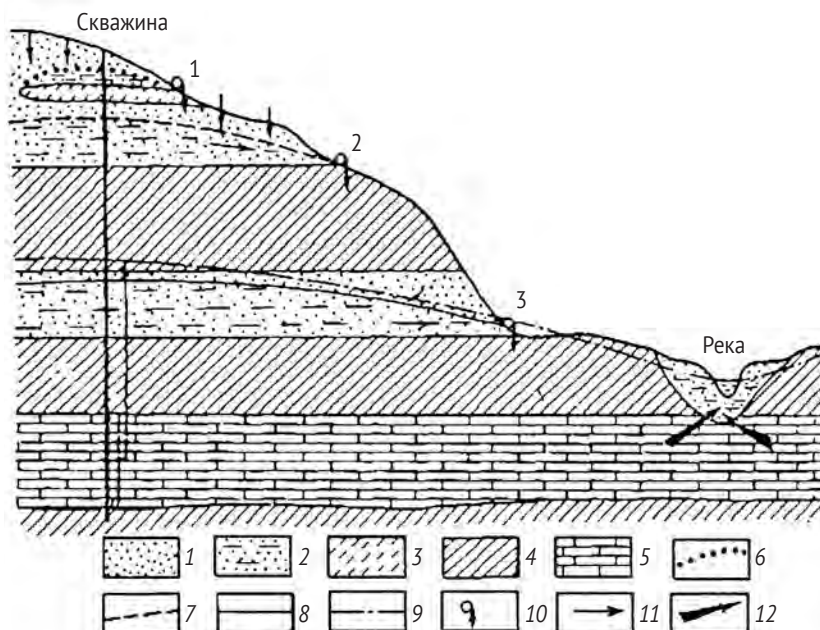


Рис. 7. Схематический гидрогеологический разрез части речной долины с залеганием различных видов подземных вод:

1 – песок; 2 – песок водоносный; 3 – супеси; 4 – глины; 5 – известняки трещиноватые; 6 – уровень верховодки; 7 – уровень грунтовых вод; 8 – уровень межпластовых ненапорных вод; 9 – уровень артезианских вод; 10 – источники нисходящие; 11 – направления движения безнапорных подземных вод; 12 – разгрузка артезианских вод в речной аллювий; 1–3 – источники, расположенные на разных высотах, но все на уровне безнапорного движения грунтовых вод по водоупорному слою

Отличительными признаками верховодки являются: ограниченная площадь распространения; временный характер; резкие колебания уровня, состава и запасов. Воды верховодки обычно пресные, слабоминерализованные, часто бывают загрязнены. Верховодка, как правило, не может служить хорошим источником водоснабжения. Однако при необходимости принимаются меры для искусственного сохранения верховодки: устройство прудов; отводы из рек, обеспечивающие постоянным питанием эксплуатируемые колодцы; насаждение растительности, задерживающей снеготаяние; создание водоупорных перемычек и т. п. В пустынных районах путем устройства канавок на глинистых участках — такырах — атмосферные воды отводятся в прилегающий участок песков, где создается линза верховодки, представляющая собой некоторый запас пресных вод.

Грунтовые воды — подземные гравитационные воды первого от поверхности земли постоянно действующего водоносного горизонта, расположенного на первом выдержанном водоупорном слое. Грунтовые воды имеют повсеместное распространение на земном шаре, заключены в рыхлых и в слабосцементированных породах (вода пластового типа) или заполняют трещины в магматических, метаморфических или осадочных сцементированных

породах (вода трещинного типа), залегают в четвертичных отложениях (поровые воды). Большинство грунтовых вод безнапорные, имеют свободную водную поверхность; сплошная кровля из водонепроницаемых пород, как правило, отсутствует.

Грунтовые воды формируются за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод. Область питания грунтовых вод обычно совпадает с областью распространения водоносного горизонта. Мощность горизонта непостоянна и зависит от свойств водосодержащих пород, расстояния до области разгрузки, интенсивности питания и т. д. Существенное влияние на режим грунтовых вод оказывают метеорологические условия (атмосферные осадки, испарения, температура, атмосферное давление и т. д.), гидравлические условия (изменение режима поверхностных водоемов, питающих или дренирующих подземные воды), хозяйственная деятельность человека (строительство гидротехнических и гидромелиоративных сооружений, откачка воды и нефти из недр, добыча полезных ископаемых, удобрение сельскохозяйственных земель, промышленные стоки и др.) (рис. 8).

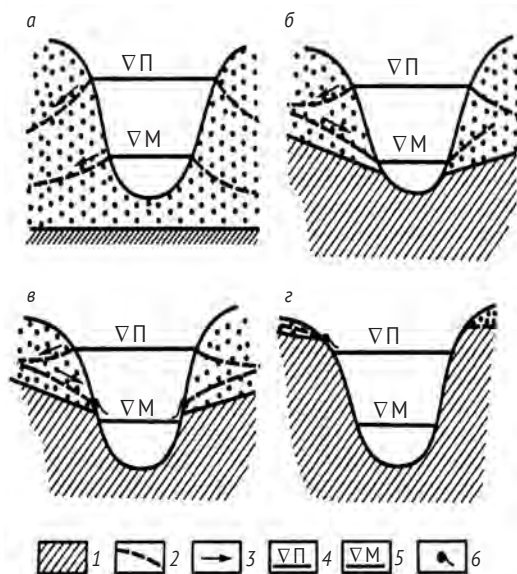


Рис. 8. Схема взаимодействия речных и грунтовых вод:

а – постоянная односторонняя гидравлическая связь (река в течение всего года питает грунтовые воды); *б* – постоянная двусторонняя гидравлическая связь (река питает грунтовые воды в половодье и дренирует их в межень); *в* – временная гидравлическая связь; *г* – отсутствие гидравлической связи; 1 – водоупорный пласт; 2 – уровень грунтовых вод; 3 – направление движения грунтовых вод; 4 – уровень воды в реке в половодье; 5 – уровень воды в реке в межень; 6 – источники (родники)

Грунтовые воды наиболее доступны для практического использования, но в то же время они относятся к категории незащищенных вод от загрязнения с поверхности.

Различают следующие типы поровых грунтовых вод: речных долин, ледниковых отложений, степей, полупустынь и пустынь, горных и предгорных областей, песчаных морских побережий.

Грунтовые воды в речных долинах приурочены к древним и современным аллювиальным песчано-гравийным, песчаным и песчано-глинистым отложениям. Глубина залегания этих вод от поверхности земли изменяется от 0 до 10–15 м и более. Воды аллювиальных отложений обычно пресные, преимущественно гидрокарбонатные кальциевые, пригодные для водоснабжения. В настоящее время в связи с тотальным ухудшением экологической обстановки грунтовые воды для централизованного водоснабжения населенных пунктов, как правило, не используются. Использование грунтовых вод осуществляется в основном копаными колодцами и неглубокими скважинами для технических нужд.

Грунтовые воды ледниковых отложений широко развиты в северных, западных, северо-западных районах европейской части России, в Северной Германии, Польше. Ледниковые отложения в этих районах представлены валунными глинами и суглинками, а также флювиогляциальными песками и галечниками. Пески и галечники слагают озы, камы, зандровые поля и заполняют долины стока талых вод ледника. Ширина долин изменяется от 3 до 25 км, а мощность аллювиально-флювиогляциальных песков и галечников достигает десятков метров. Особенно обширные песчаные поля с большими запасами грунтовых вод развиты в районах Минска, Мытищ. Грунтовые воды района Мытищ долгое время использовались для водоснабжения Москвы; в настоящее время они идут на водоснабжение местных предприятий и некоторых населенных пунктов.

Грунтовые воды степных, полупустынных и пустынных районов имеют свои особенности, обусловленные климатом и гидрографией этих районов. Малое количество осадков, слабо развитая гидрографическая сеть, широкое распространение лессовидных пород и сухих песков, высокое испарение обуславливают весьма неблагоприятные условия формирования грунтовых вод. В районах распространения лессовидных пород грунтовые водоносные горизонты залегают глубоко от поверхности, обладают слабой водообильностью, а воды их — повышенной минерализацией.

Грунтовые воды сухих степей и полупустынь (Прикаспийская низменность и др.) залегают на различных глубинах от поверхности и имеют, как правило, высокую минерализацию — непригодны для водоснабжения.

Грунтовые воды горных областей связаны с песчано-глинистыми отложениями конусов выноса и предгорных наклонных равнин, аллювиальными образованиями горных рек, породами межгорных котловин, иногда бессточных. Грунтовые воды в горных областях преимущественно пресные, пригодные для водоснабжения: в замкнутых межгорных котловинах — пестрые по химическому составу; в краевых частях котловин грунтовые воды залегают неглубоко от поверхности, являются пресными и широко используются для водоснабжения и орошения. Эксплуатация осуществляется скважинами и колодцами.

Трещинные грунтовые и напорные воды — подземные воды, залегающие и циркулирующие в трещиноватых магматических, метаморфических и осадочных породах. Различают три типа трещин по их происхождению: трещины

тектонические, образовавшиеся при формировании геологических структур; трещины выветривания, возникающие при выветривании и размывании горных пород; трещины литогенетические, связанные с формированием пород. Подземные воды различных трещин нередко бывают гидравлически связаны между собой, чем и объясняется во многих случаях пестрота химического состава вод, вскрываемых скважинами в трещиноватых породах или выходящих из них на поверхность в виде источников. Наибольшая трещиноватость, а следовательно, и водообильность приходится на первые 2–3 м зоны выветривания пород; меньшая — характерна для последующих 20–30 м; наконец, слабая трещиноватость и водообильность имеют место в нижней части, достигающей 100–200 м.

Карстовые грунтовые и напорные воды — подземные воды, залегающие и циркулирующие в трещинах, пустотах, каналах, пещерах, образовавшихся в результате выщелачивания известняков, доломитов, гипсов, ангидритов и солей. Состав карстующихся пород, гидродинамическая зональность земной коры, химические, биохимические и другие процессы, протекающие в земной коре, определяют химический состав и минерализацию карстовых вод.

Менее минерализованные воды характерны для известнякового карста, более минерализованные — для гипсового, наиболее минерализованные — для соляного карста. *Карстовые воды известняков*, доломитов, мраморов зоны интенсивного водообмена обычно пресные гидрокарбонатные; зоны затрудненного водообмена — минерализованные, сульфатные и хлоридные, зоны весьма затрудненного водообмена — высокоминерализованные соленые воды и рассолы хлоридного состава. *Карстовые воды гипсов* и ангидритов зоны интенсивного водообмена — сульфатные, а в зонах затрудненного и весьма затрудненного водообмена — хлоридные, часто рассольного типа. *Карстовые воды солей* во всех трех зонах соленые хлоридного состава.

Наиболее изучены карстовые воды в Крыму, на Кавказе, в Ленинградской области и Прибалтике, в Тульской, Московской, Воронежской и других областях, в Карпатах, на западном склоне Урала, Уфимском плато, Алтае, по реке Волге, в бассейне реки Лены и многих других районах России и Средней Азии.

Артезианские воды — подземные воды, находящиеся в водоносных горизонтах (комплексах), перекрытых и подстилаемых водоупорными пластами, и обладающие напором, который обуславливает подъем уровня воды над их кровлей при вскрытии воды скважинами. При благоприятных геоструктурных и гидрогеологических условиях скважины дают фонтанирующую воду.

Артезианские воды широко распространены в пределах синеклиз, впадин, мульд, краевых и предгорных прогибов моноклинальных структур, а также в межгорных впадинах, синклиналиных прогибах, грабенах и в зонах тектонических разломов, сложенных породами, как правило, дочетвертичного возраста.

Характерные особенности артезианских вод следующие:

- залегают глубже горизонтов грунтовых вод в водоносных горизонтах и комплексах, подстилаемых и перекрытых водоупорными пластами, потому более защищены от поверхностного загрязнения;
- обладают напором, т. е. установившийся уровень в скважине, вскрывшей водоносный горизонт, выше появившегося при бурении;

- область питания и создания напора артезианских вод и область их распространения не совпадают и часто удалены друг от друга на значительные расстояния;
- режим артезианских вод более стабилен: физико-географические факторы оказывают меньшее влияние, пьезометрический уровень мало подвержен сезонным колебаниям, химический состав более стабилен, температура вод возрастает с глубиной.

По условиям залегания артезианских вод выделяют артезианские бассейны. **Артезианский бассейн** — совокупность артезианских водоносных горизонтов и комплексов, приуроченных к отрицательным синклиналим геологическим структурам. В пределах бассейна выделяются три области: питания, разгрузки и напора (рис. 9).

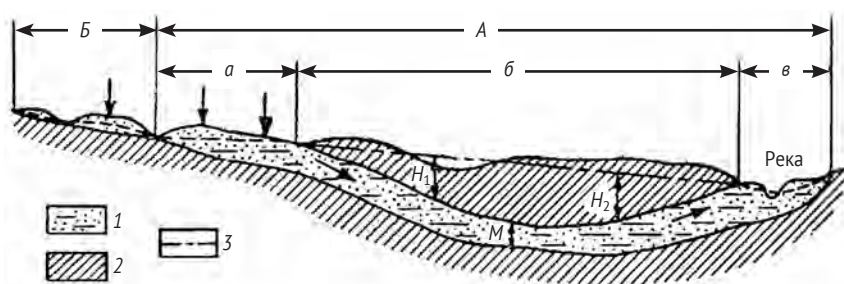


Рис. 9. Схема строения артезианского бассейна (по А. М. Овчинникову):

1 — водоносные породы; 2 — водоупорные породы; 3 — пьезометрический уровень; А — пределы распространения артезианских вод; Б — пределы распространения грунтовых вод; а — область питания напорных вод; б — область распространения напора; в — область разгрузки; H_1 — пьезометрический напор выше поверхности земли, вызывающий фонтанирование скважин; H_2 — пьезометрический напор ниже поверхности земли; М — мощность артезианского водоносного горизонта. Стрелками в пласте показано направление движения артезианских вод

Область питания расположена в приподнятой части бассейна, где выходят на поверхность водоносные горизонты и осуществляется инфильтрация атмосферных осадков. В области разгрузки, приуроченной к наиболее низкой (по рельефу) части артезианского бассейна, происходит разгрузка, дренирование водоносных горизонтов, выходящих на поверхность. Между областями питания и разгрузки водоносные горизонты залегают на более или менее значительной глубине. Это область напора, где распространены напорные воды и осуществляется их сток от областей питания к областям разгрузки.

Артезианские бассейны на территории Земли различны по площади, мощности и возрасту слагающих их горных пород, они встречаются как в платформенных, так и в горно-складчатых областях и районах¹⁵. Крупные артезианские

¹⁵ Гидрогеология СССР; Информационный бюллетень «О состоянии недр на территории Центрального федерального округа за 2021 год»; Киссин И. Г. Вода под землей; Климентов П. П., Богданов Г. Я. Общая гидрогеология; Овчинников А. М. Общая гидрогеология; Плотников Н. И. Эксплуатационная разведка подземных вод.

бассейны обычно имеют сложное строение. Область прогибания, занятая таким бассейном, расчленяется на несколько впадин, к которым приурочены более мелкие артезианские бассейны — бассейны второго порядка. Самый крупный в мире артезианский бассейн — Западно-Сибирский, площадь которого — около 3,5 млн км². Он расположен в пределах Западно-Сибирской равнины, между Уралом на западе, Енисейским кряжем на востоке и Казахским мелкосопочником на юге. Северная окраина бассейна находится под дном Карского моря. На дислоцированном фундаменте залегают осадочные отложения мезокайнозойского возраста, мощность которых увеличивается от периферии к центральным частям бассейна, где достигает 3–4 км, а на севере превышает 5 км. В общей структуре Западно-Сибирского бассейна различают ряд депрессий, к которым приурочены артезианские бассейны второго порядка: Обский, Иртышский, Чулымо-Енисейский и др.

В осадочном чехле бассейна выделяют два водоносных этажа, которые содержат ряд водоносных комплексов, сложенных песчаниками и алевролитами, и разделены мощной толщей глин. Воды верхних комплексов питаются за счет атмосферных осадков на водораздельных пространствах и разгружаются в долинах рек и в котловинах озер. Водоносные комплексы, принадлежащие нижнему этажу, получают питание в периферийных частях бассейна, где эти комплексы залегают на небольшой глубине и не перекрыты глинистой толщей. Местами по периферии бассейна происходит разгрузка вод нижнего этажа в речную сеть. В центральной части бассейна эти воды разгружаются по тектоническим нарушениям, а также посредством затрудненной восходящей фильтрации через толщу глин.

В водоносных комплексах верхнего этажа распространены преимущественно пресные воды, которые используются для водоснабжения. Глубокие водоносные комплексы содержат соленые воды и рассолы с минерализацией до 80 г/л. Большую ценность здесь представляют термальные воды, йодобромные промышленные воды. Встречаются также различные типы минеральных вод, обнаружены и эксплуатируются богатейшие месторождения нефти и газа.

Среди артезианских бассейнов зарубежных стран самый крупный — Большой Артезианский бассейн в Австралии площадью 1,7 млн км². Он расположен в восточной и центральной частях Австралийского континента и приурочен к крупному прогибу кристаллического фундамента, который выполнен осадочными отложениями мощностью до 4 км. Основные водоносные горизонты представлены мезозойскими песчаниками. Западная часть бассейна расположена на пустынной территории, где имеются лишь временные водотоки. Подземные воды здесь используются для водоснабжения и обводнения пастбищ.

Условия водообмена, зональность подземных вод

В процессе круговорота воды в природе происходит постоянное возобновление природных вод, в том числе и подземных. Процесс смены первоначально накопившихся вод поступающими вновь водами называют **водообменом**. Подсчитано, что в круговороте воды на Земле ежегодно участвует более 500 тыс. км³ воды.

Интенсивность водообмена подземных вод различна и зависит от глубины их залегания. По Н. К. Игнатовичу, в верхней части земной коры выделяют следующие вертикальные зоны (рис. 10):

- *зона интенсивного водообмена* (воды преимущественно пресные) расположена в самой верхней части земной коры до глубины 300–400 м, реже — более; подземные воды этой зоны дренируются реками; в масштабе геологического времени — это воды молодые; водообмен осуществляется за десятки и тысячи лет;
- *зона замедленного водообмена* (воды солоноватые и соленые) занимает промежуточное положение и располагается до глубины 600–2000 м; обновление вод в процессе круговорота происходит в течение сотен тысяч лет;
- *зона весьма замедленного водообмена* (воды типа рассолов) приурочена к глубоким зонам земной коры и полностью изолирована от поверхностных вод и атмосферных осадков; водообмен — в течение сотен миллионов лет.

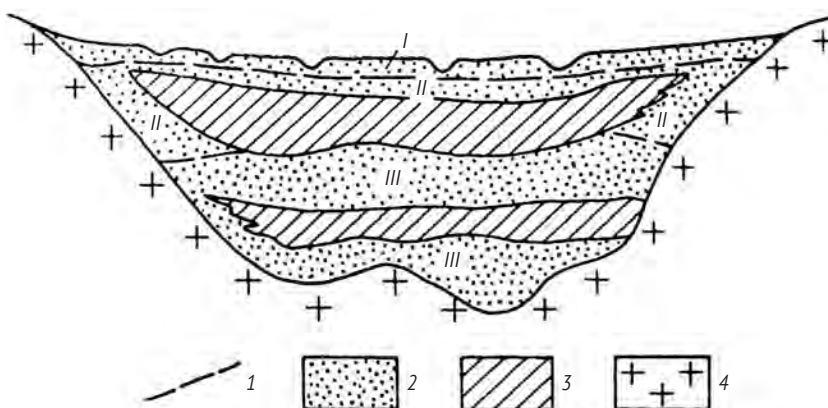


Рис. 10. Схема гидрогеодинамической зональности артезианского бассейна:

- 1 — границы между гидрогеодинамическими зонами: I — интенсивного водообмена, II — затрудненного водообмена, III — весьма затрудненного водообмена; 2 — водонаосные горизонты и комплексы чехла артезианского бассейна; 3 — региональные водоупоры; 4 — фундамент и складчатое обрамление артезианского бассейна

Наибольшее значение для водоснабжения имеют подземные воды, циркулирующие в зоне интенсивного водообмена. Постоянно пополняясь атмосферными осадками и водами поверхностных водоемов, они, как правило, отличаются значительными запасами и высоким качеством. Воды двух нижних зон, расположенных до глубины 10–15 км, практически в процессе круговорота не возобновляются, запасы их не пополняются. Ниже глубины 10–15 км вода предположительно находится в парообразном состоянии.

Вертикальная зональность подземных вод характеризуется изменением условий водообмена — изменением гидравлических и гидродинамических характеристик; увеличением минерализации и изменением химического состава подземных вод; повышением температуры подземных вод, вплоть до изменения агрегатного состояния. В каждом артезианском бассейне

наблюдается своя гидрогеохимическая зональность, во многом обусловленная интенсивностью водообмена и палеогидрогеологическими условиями формирования напорных вод.

Месторождение подземных вод — пространственно оконтуриваемые в пределах водонапорной системы скопления вод определенного состава и в количестве, достаточном для их экономически целесообразного извлечения и использования.

Понятие запасов и ресурсов подземных вод и их использования

Использование артезианских вод возможно только при достаточности их запасов, которые зависят от величины артезианских бассейнов, размеров областей их питания, числа, мощности, фильтрационных свойств водоносных горизонтов, водоотдачи пород, слагающих водоносные горизонты, климатических условий, различных техногенных нагрузок и других факторов, оказывающих влияние на гидродинамический, гидрогеохимический и температурный режим подземных вод¹⁶.

Под *прогноznыми ресурсами* какой-либо территории понимается количество подземных вод определенного качества и целевого назначения, которое может быть получено в пределах этой территории и отражает потенциальные возможности использования подземных вод. Прогнозные ресурсы питьевых, технических и минеральных подземных вод оцениваются по водоносным горизонтам (комплексам) в пределах артезианских гидрогеологических структур различных порядков (или их частей), речных бассейнов и водоносным горизонтам (комплексам) или водоносным зонам в пределах гидрогеологических складчатых областей.

Под *запасами* понимается объем подземных вод, который может быть получен рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям в течение всего расчетного срока водопотребления. Запасы представляют собой разведанную и изученную часть прогнозных ресурсов подземных вод. Запасы питьевых, технических и минеральных подземных вод подсчитываются по результатам геологоразведочных работ, выполненных в процессе геологического изучения и оценки предоставленных в пользование участков недр, а также по данным разведки таких участков

¹⁶ Биндеман Н. Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. — М. : Гостеолтехиздат, 1963; Боcheвер Ф. М. Расчеты эксплуатационных запасов подземных вод. — М. : Недрa, 1968; Климентов П. П., Богданов Г. Я. Общая гидрогеология; Плотников Н. И. Эксплуатационная разведка подземных вод; Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения; Классификация запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод / МПР РФ. — М., 2007; Методические рекомендации по применению Классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных вод, утвержденной Приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 30 июля 2007 г. № 195; ОСТ 41-05-263-86 «Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре». — М. : ВСЕГИНГЕО, 1986.

недр или эксплуатации действующих водозаборных сооружений для добычи подземных вод.

Объектом подсчета запасов подземных вод является месторождение питьевых, технических и минеральных подземных вод. Объектом оценки прогнозных ресурсов являются водоносные горизонты (комплексы) в пределах артезианских гидрогеологических структур различного порядка, речных бассейнов, водоносные зоны гидрогеологических складчатых областей, фланги месторождений подземных вод, оцененные на основании комплекса благоприятных гидрогеологических предпосылок, обоснованных по результатам региональных гидрогеологических исследований, регионального математического моделирования, балансовых и гидродинамических подсчетов, экспертных оценок с использованием данных геофизических и гидрометрических исследований, гидрогеологического опробования скважин различного назначения.

Запасы артезианских вод определяются по результатам их разведки и опробования. Разведка и эксплуатация артезианских вод осуществляются скважинами различной глубины и конструкции, которые устанавливаются исходя из конкретных гидрогеологических условий района и участка артезианского бассейна.

Подсчет и учет запасов месторождений питьевых, технических и минеральных подземных вод производятся в расходах подземных вод, м³/сут, которые могут быть получены на месторождении проектными водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и качестве воды, удовлетворяющем требованиям ее целевого использования в течение расчетного срока эксплуатации (как правило, 25 лет).

Одной из важных предпосылок рационального использования пресных подземных вод является их правильная оценка и дальнейшая эксплуатация. При планировании перспективного использования подземных вод наиболее сложный вопрос — прогноз изменения их качества и количества при длительной эксплуатации. Поэтому разведка месторождений, проектирование новых водозаборов и введение их в эксплуатацию, собственно эксплуатация регламентируются нормативными и методическими документами и осуществляются под контролем со стороны государственных и надзорных органов — обязательное лицензирование той или иной деятельности, выполнение лицензионных условий и государственная статистическая отчетность, прохождение экспертиз и пр. Важное значение имеет ведение государственного мониторинга состояния недр, по результатам которого принимаются экономически целесообразные управляющие решения, в том числе и по дальнейшему развитию водообеспечения населения.

О ведении мониторинга подземных вод и его роли в оценке истощения и загрязнения подземных вод при водоснабжении

Государственный мониторинг состояния недр (ГМСН) в соответствии с законодательством Российской Федерации является частью государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей

среды) и представляет собой систему регулярных наблюдений, сбора, накопления, обработки, анализа и обобщения информации с целью оценки состояния геологической среды и прогноза ее изменений под влиянием природных и техногенных факторов¹⁷.

В соответствии с положением «О порядке осуществления государственного мониторинга состояния недр», утвержденным Минприроды России (Приказ № 433 от 21.05.2001) и зарегистрированным Минюстом России (регистрационный № 2818 от 24.07.2001), ведение ГМСН производится *на федеральном уровне по территории РФ, на региональном — по территории федерального округа, на территориальном — по территории субъекта РФ*. По территории субъекта РФ осуществляются ведение полевых работ (наблюдения и измерения на государственной опорной наблюдательной сети, отбор проб подземных вод, специальные гидрогеологические и инженерно-геологические обследования), а также сбор, анализ и обобщение информации о состоянии недр. На региональном уровне происходят сбор, анализ материалов территориального уровня, их систематизация и обобщение в границах федерального округа, подготовка регламентной информационной продукции.

По данным государственного мониторинга состояния недр на территории РФ разведано 20 500 месторождений (участков) питьевых и технических подземных вод, из них находится в эксплуатации 60%. По состоянию на 1 января 2022 г. утвержденные запасы питьевых и технических подземных вод составили 76,49 млн м³/сут, из них 18% составляют запасы Московской области (8,87 млн м³/сут) и Краснодарского края (4,24 млн м³/сут) (рис. 11–13)¹⁸.

В 2021 г. прирост запасов подземных вод за счет разведки 485 новых месторождений составил 0,60 млн м³/сут. Наибольшее количество запасов оценено в Оренбургской (0,09 млн м³/сут по 14 месторождениям (участкам)) и Московской (0,08 млн м³/сут по 41 месторождению (участку)) областях.

По результатам завершенных в 2021 г. геологоразведочных работ, осуществленных за счет средств федерального бюджета, выполнена оценка запасов подземных вод для обеспечения водоснабжения населения пгт. Октябрьский (Архангельская область), г. Томари (Сахалинская область), с. Верхневилуйск (Республика Саха (Якутия)).

Учет добычи, извлечения и использования подземных вод основан на анализе и обобщении статистической отчетности недропользователей (4-ЛС), данных из отчетов недропользователей по ведению мониторинга в рамках действующих лицензий, материалов обследования водозаборов и других документов.

В 2021 г. на территории РФ водоотбор из подземных водных объектов составил 21,42 млн м³/сут, в том числе добыча на водозаборах — 16,42 млн м³/сут, извлечение без дальнейшего использования при разработке месторождений полезных ископаемых и иных видов недропользования, не связанных с добычей

¹⁷ Информационный бюллетень «О состоянии недр на территории Российской Федерации в 2021 году» / ФГБУ «Гидроспецгеология». — М., 2022. — Вып. 45.

¹⁸ Информационный бюллетень «О состоянии недр на территории Российской Федерации в 2021 году»; Справочное издание Водный кадастр...

полезных ископаемых, — 5,00 млн м³/сут. На эксплуатирующихся 12 264 месторождениях (участках) подземных вод добыча составила 60 % от общего водоотбора, или 78 % от объема добычи. Общее количество действовавших водозаборов в 2021 г. по территории РФ — 55 922.

Наибольшее количество подземных вод отбирается на территории ЦФО — 24 % от общего отбора по России. Основной объем извлечения подземных вод (33 %) приходится на Сибирский федеральный округ.

Наибольшая эксплуатационная нагрузка на подземные воды отмечается в пределах Центрального (Москва, Московская область) и Северо-Кавказского (Республика Северная Осетия-Алания) федеральных округов. Менее интенсивно питьевые и технические подземные воды осваиваются в Северо-Западном, Уральском, Сибирском и Дальневосточном округах, где значение модуля добычи и извлечения в целом по округу не превышает 3 м³/(сут·км²).

В экономике и социальной сфере на территории РФ в 2021 г. было использовано 97 % от общего количества добытой воды. В сравнении с 2020 г. потребление подземных вод возросло на 0,99 млн м³/сут (~6 %).

Распределение по видам использования подземных вод следующее: питьевые и хозяйственно-бытовые нужды — 73 %; техническое водоснабжение — 23 %; на иные цели, включая нужды сельского хозяйства, орошение земель и обводнение пастбищ, — 4 %.

Удельное водопотребление на питьевые нужды населения (использование подземных вод в расчете на одного человека в сутки) в 2021 г. в целом по России составило 80 л/(сут·чел.). Наибольшее удельное водопотребление в ЦФО — 100 л/(сут·чел.), наименьшее — в Северо-Западном федеральном округе — 34 л/(сут·чел.). Сброс вод без использования составил 26 % от общего объема добычи и извлечения подземных вод.

Таким образом, состояние ресурсной базы питьевых и технических подземных вод в 2021 г. не претерпело существенных изменений. Оцененные запасы питьевых и технических подземных вод за 2021 г. в целом по территории России сохранились на уровне 2020 г. и составили 76,49 млн м³/сут.

Гидрохимическое состояние подземных вод в естественных условиях зависит от основных природных закономерностей их формирования и в региональном масштабе в течение года практически не меняется. Под воздействием техногенных факторов происходит локальное изменение гидрохимического состояния подземных вод, выражающееся в их загрязнении. В наибольшей степени подвержены загрязнению грунтовые воды и напорные воды первых от поверхности водоносных горизонтов, имеющие тесную гидравлическую связь с поверхностными водами.

Загрязнение подземных вод рассматривается относительно требований к качеству вод питьевого назначения, которое определяется СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». По состоянию на 1 января 2022 г. на территории России, по данным ГМСН, постоянное или эпизодическое загрязнение подземных вод было отмечено на 2730 водозаборах питьевого и хозяйственно-бытового назначения, преимущественно

представляющих собой одиночные эксплуатационные скважины с производительностью менее 1,0 тыс. м³/сут. В 2021 г. загрязнение подземных вод было впервые выявлено на 116 водозаборах и по 603 водозаборах ранее выявленное загрязнение подземных вод подтвердилось.

Наибольшую опасность представляет загрязнение подземных вод на водозаборах питьевого и хозяйственно-бытового назначения компонентами 1-го класса опасности, которое в 2021 г. было выявлено по отдельным водозаборным и наблюдательным скважинам на 31 водозаборе.

Среди загрязняющих компонентов 1-го класса опасности наиболее часто встречается мышьяк, по единичным пробам в скважинах фиксировались бериллий и ртуть. Как правило, загрязнение подземных вод этими компонентами носит случайный (реже периодический) характер, и интенсивность его в основном не превышает 5 ПДК.

Практически повсеместно загрязнение проявляется в районах промышленных и городских агломераций, там обнаруживается практически весь перечень выявленных загрязняющих веществ, как неорганических, так и органических; при сельскохозяйственном типе загрязнения наблюдаются преимущественно соединения азота, пестициды; при коммунальном типе загрязнения — соединения азота, железо, марганец, хлориды, фенолы; при загрязнении некондиционными природными водами — хлориды, сульфаты, железо, марганец, фтор, стронций.

Информация, полученная об изменениях состояния подземных вод — уровня, химического состава, температуры, позволяет проанализировать, выявить причины и тенденцию этих изменений, а следовательно, принять необходимые меры по улучшению обстановки.

Большой вклад в изучение подземных вод региона вносит система государственного мониторинга состояния недр, в рамках которой в течение многих десятков лет производятся сбор, систематизация и анализ данных по эксплуатации подземных вод, гидрорежимные наблюдения, гидрогеохимические исследования и обследование водозаборов на территории Москвы и Московской области.

Пример территориального мониторинга подземных вод Московского региона (Москвы и Московской области)¹⁹

Гидрогеологические условия Московского региона определяются его расположением на юго-западном склоне Московского артезианского бассейна, представляющего собой систему водоносных и относительно водоупорных горизонтов и комплексов. В обводненной толще пород по гидрогеодинамическим и гидрогеохимическим признакам выделяются две зоны: активного и затрудненного водообмена.

¹⁹ Информационный бюллетень «О состоянии недр на территории Центрального федерального округа за 2021 год»; О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области : Информационные выпуски за 2011–2015 гг. — 2012–2016.



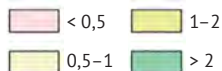
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ
ФГБУ "Гидроспещеология"
КАРТА ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И СТЕПЕНИ ИХ ОСВОЕНИЯ
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(по состоянию на 01.01.2022)

Составитель: Дежникова И.Ю.
 Компьютерное исполнение: Марфин С.М.
 2022 г.

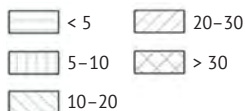


Условные обозначения:

1. Запасы подземных вод, млн м³/сут



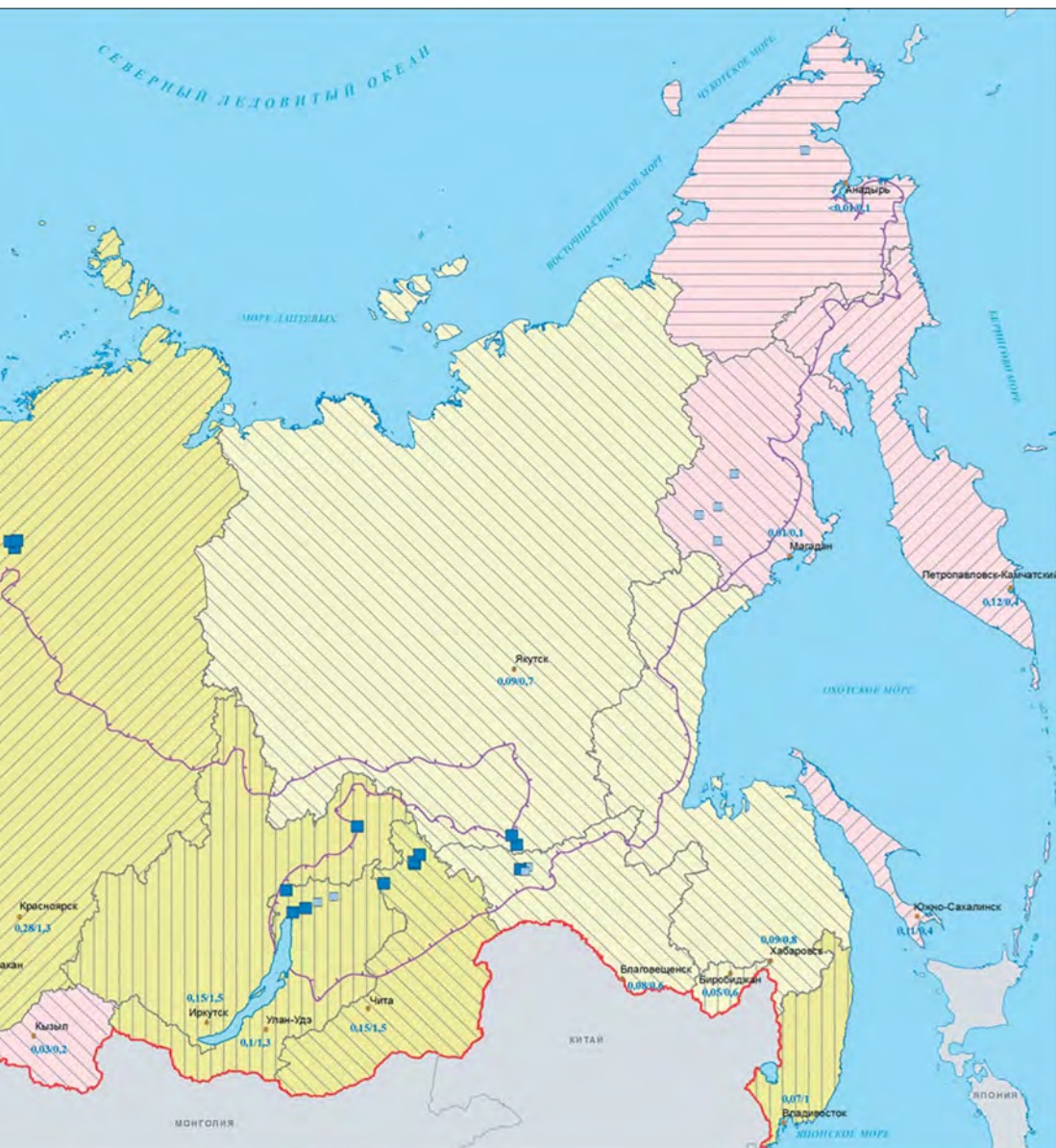
2. Степень освоения запасов подземных вод, %



3. Цифры на карте, млн м³/сут
 (по субъектам Российской Федерации)

0,37/1,47 в числителе – добыча подземных вод на месторождениях (участках),
 в знаменателе – запасы подземных вод

Рис. 11. Карта запасов питьевых и технических на территории Российской Федерации (по состоянию



4. Месторождения подземных вод в зоне сплошного распространения многолетне-мерзлых пород с запасами, млн м³/сут

■ 0,01-0,03 ■ >0,03

5. Границы

- Российский Федерации
- субъектов Российской Федерации
- области сплошного распространения многолетне-мерзлых пород

6. Прочие обозначения

- Центры субъектов Российской Федерации
- Зарубежные государства

подземных вод и степени их освоения на 1 января 2022 г.) по данным ФГБУ «Гидроспецгеология»



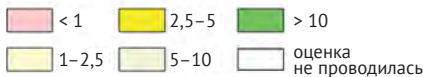
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ
ФГБУ "Гидроспецгеология"
КАРТА ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И СТЕПЕНИ ИХ
ОСВОЕНИЯ ПО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИМ СТРУКТУРАМ
ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(по состоянию на 01.11.2022)

Составитель: Дежникова И.Ю.
 Компьютерное исполнение: Марфин С.М.
 2022 г.

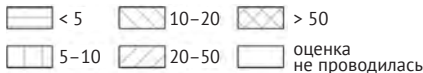


Условные обозначения:

1. Запасы подземных вод, млн м³/сут



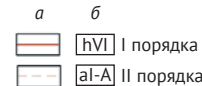
2. Степень освоения запасов подземных вод, %



3. Цифры на карте, млн м³/сут

0,37/1,47 в числителе – добыча подземных вод на месторождениях (участках), в знаменателе – запасы подземных вод

4. Границы (а) и (б) гидрогеологических структур



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------|------------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|------------------|----------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| II Сифский САБ | III Тимано-Пенорский САБ | IV Западно-Сибирский САБ | V Сибирский САБ | VI Балтийский СГМ | VII Анабарский СГМ | VIII Алдан-Становой СГМ | IX Алданская ГСО | X Становая ГСО | XI Байкало-Витимская ГСО | IX-A Байкало-Патомский ГМ | IX-B Байкало-Муйская ГСО | IX-C Хамардабан-Баргузинская ГСО | IX-D Джиджа-Витимская ГСО | IX-E Малхано-Становая ГСО | IX-F Монголо-Охотская ГСО | IX-G Восточно-Забайкальская ГСО | IX-H Амуро-Охотская ГСО | IX-I Верхнеамурская ГСО | IX-J Алтай-Саянская ГСО | IX-K Алтай-Томский ГМ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| al-A Азово-Кубанский АБ | al-B Восточно-Предкавказский АБ | al-V Эргенинский АБ | al-G Донецкая ГСО | II Восточно-Европейский САБ | al-A Балтийско-Польский АБ | al-B Северо-Двинский АБ | al-D Ленинградский АБ | al-E Московский АБ | al-F Ветлужский АБ | al-H Волго-Сурский АБ | al-J Приволжско-Хоперский АБ | al-Z Сурьковский АБ | al-I Камско-Вятский АБ | al-K Днепровско-Донецкий АБ | al-Л Предуральский ПАЕ | al-M Прикаспийский АБ | III Тимано-Пенорский САБ | al-A Канино-Тиманский ГСО | al-B Пенорский АБ | al-C Пеноро-Предуральский ПАБ | IV Западно-Сибирский САБ | al-V Иртыш-Обский АБ | al-B Тазовско-Пурский АБ | V Сибирский САБ | al-A Ангаро-Ленский АБ | al-B Якутский АБ | al-V Тулунский АБ | al-G Оленекский АБ | al-D Хатангский АБ | VI Балтийский СГМ | VII Анабарский СГМ | VIII Алдан-Становой СГМ | IX Алданская ГСО | X Становая ГСО | XI Байкало-Витимская ГСО | IX-A Байкало-Патомский ГМ | IX-B Байкало-Муйская ГСО | IX-C Хамардабан-Баргузинская ГСО | IX-D Джиджа-Витимская ГСО | IX-E Малхано-Становая ГСО | IX-F Монголо-Охотская ГСО | IX-G Восточно-Забайкальская ГСО | IX-H Амуро-Охотская ГСО | IX-I Верхнеамурская ГСО | IX-J Алтай-Саянская ГСО | IX-K Алтай-Томский ГМ |

Рис. 12. Карта запасов питьевых и технических подземных вод территории Российской Федерации (по состоянию



5. Индексы и наименования гидрогеологических структур (Перечень объектов гидрогеологического районирования территории Российской Федерации, протокол №18/83-пр. от 07.02.2012 г.)

6. Месторождения подземных вод в зоне сплошного распространения многолетне-мерзлых пород с запасами, млн м³/сут

■ 0,01–0,03 ■ >0,03

- | | |
|-------------------------------------------|------------------------------------|
| eXI-B Горно-Алтайская ГСО | gXIV Курильская СГСО |
| eXI-B Саяно-Тувинская ГСО | gXV Сахалинская СГСО |
| eXI-Г Самгиленская ГСО | eXV-A Западно-Сахалинская ГСО |
| eXI-Д Восточно-Саянская ГСО | eXV-B Восточно-Сахалинская ГСО |
| eXI-E Енисейская ГСО | gXVI Таймыро-Североземельская СГСО |
| gXII Сихотэ-Алинская СГСО | gXVII Лаптевская СГСО |
| eXII-A Малохингано-Ульбано-Баджалская ГСО | gXVIII Новосибирско-Чукотская СГСО |
| eXII-B Центрально-Сихотэ-Алинский ГМ | gXIX Верхояно-Колымская СГСО |
| dXII-B Центрально-Сихотэ-Алинская ГСО | gXX Кольмо-Омолонская СГСО |
| eXII-Г Восточно-Сихотэ-Алинская ГСО | gXXI Охотско-Чукотская СГСО |
| gXIII Корякско-Камчатская СГСО | gXXII Уральская СГСО |
| eXIII-A Корякско-Анадырская ГСО | dXXII-A Западно-Уральский ГМ |
| eXIII-B Камчатская ГСО | dXXII-B Центрально-Уральский ГМ |
| | eXXII-B Талило-Магнитогорская ГСО |
| | eXXII-Г Восточно-Уральская ГСО |
| | gXXIII Пяйхой-Новоземельская СГСО |
| | gXXIV Кавказская СГСО |
| | eXXIV-A Большешевкавская ГСО |
| | dXXIV-B Центрально-Кавказский ГМ |

Сокращения типов гидрогеологических структур

- АБ ГСО артезианский бассейн
 ГСО гидрогеологическая складчатая область
 САБ сложный артезианский бассейн
 СГСО сложная гидрогеологическая складчатая область
 ГМ гидрогеологический массив
 ПАБ предгорный артезианский бассейн

7. Прочие обозначения

- Центры субъектов Российской Федерации
- Граница Российской Федерации
- Зарубежные государства
- Граница области сплошного распространения многолетне-мерзлых пород

и степени их освоения по гидрогеологическим структурам на 1 января 2022 г.) по данным ФГБУ «Гидроспецгеология»

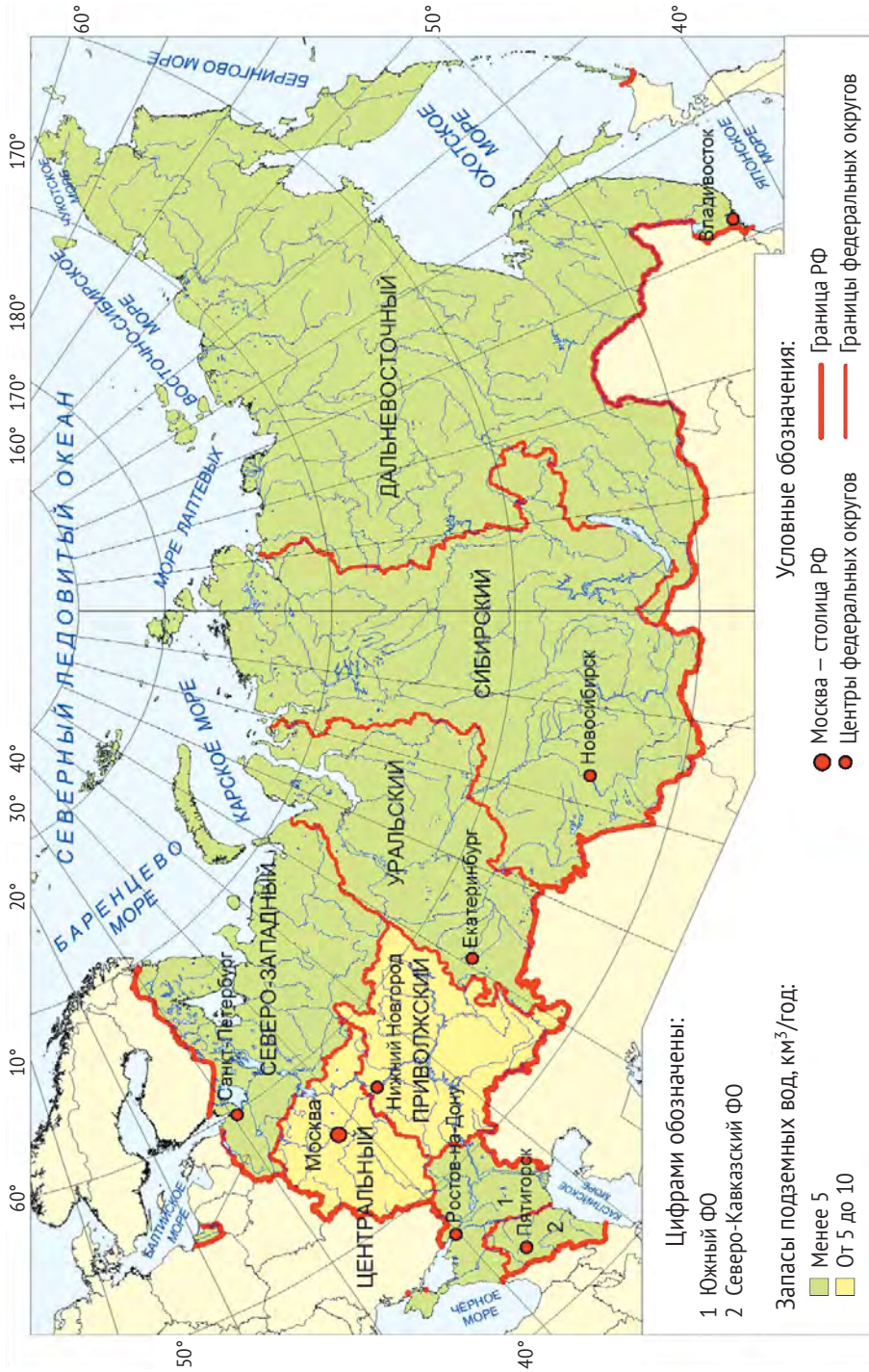


Рис. 13. Запасы подземных вод по федеральным округам Российской Федерации по данным ежегодного справочного издания Водного кадастра РФ «Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество» за 2020 г.

Верхняя зона активного водообмена содержит преимущественно пресные воды с минерализацией (в естественном состоянии) до 1 г/л и характеризуется активной связью с поверхностными водами и атмосферными осадками. Зона затрудненного водообмена характеризуется замедленным движением подземных вод, отсутствием связи с речной сетью и атмосферными явлениями. Минерализация этих вод увеличивается с глубиной от 1,5 г/л до 260,0 г/л.

Верхняя часть зоны активного водообмена в пределах Московского региона представлена мезокайнозойскими (современными, четвертичными, меловыми, юрскими) и каменноугольными образованиями, слагающими систему в различной степени взаимосвязанных водоносных горизонтов и комплексов. По условиям водообмена эти водоносные горизонты и комплексы можно условно объединить в два гидрогеологических этажа, разделенных верхнеюрским водоупором. Верхний — мезокайнозойский гидрогеологический этаж — сложен рыхлыми образованиями различного генезиса, нижний — каменноугольный — терригенно-карбонатными образованиями морского генезиса. Верхний этаж содержит, как правило, безнапорные грунтовые воды, нижний — в основном напорные подземные воды.

Верхний мезокайнозойский гидрогеологический этаж объединяет в своем составе водоносные горизонты и комплексы современных, четвертичных, меловых и верхнеюрских образований. Подземные воды, содержащиеся в мезокайнозойских отложениях в основном безнапорные грунтовые, подверженные загрязнению, потому практически не используются для питьевых целей в хозяйстве региона. Однако некоторые сельские населенные пункты используют грунтовые воды для локального местного водоснабжения с помощью копаных колодцев, каптированных родников, реже — буровых скважин.

Питание гидрогеологических подразделений верхнего гидрогеологического этажа осуществляется за счет:

- инфильтрации атмосферных осадков;
- техногенных вод на застроенных территориях (утечки по сетям водонесущих коммуникаций — водопровод, канализация, теплотрассы; утечки на сооружениях водопотребляющих производств — ТЭЦ, насосные станции водопровода и канализации, градирни и др.; полив зеленых насаждений, мытье улиц и т. п.);
- инфильтрации и подпертой фильтрации из прудов и рек.

Инфильтрационное питание грунтовых вод происходит на большей части площади их распространения. Исключение составляют участки, в основном в долинах рек, где в структуре водного баланса преобладают разгрузка в реки и испарение с поверхности неглубоко залегающих грунтовых вод. Интенсивность инфильтрационного питания меняется по площади в зависимости от ландшафтных условий и глубины залегания поверхности грунтовых вод.

Разгрузка осуществляется в водотоки и водоемы путем испарения, а также перетеканием в нижележащие водоносные горизонты каменноугольных отложений.

Глубина дренирования подземных вод определяется врезом местной эрозийной сети и составляет 100–200 м. На плоских водоразделах с молодой

эрозионной сетью, врезанной на 25–75 м, и на обширных заболоченных низменностях со слабым (до 25 м) врезом долин (Мещерская низменность) глубина дренирования не превышает 100 м. По склонам возвышенностей с интенсивно развитой эрозионной сетью и врезами до 100–125 м (Клинско-Дмитровская гряда, Смоленско-Московская возвышенность) дренирующее воздействие рек распространяется до глубины 150–200 м. Это определяет направление движения подземных вод в каменноугольных отложениях к долинам рек — Верхней Волги, Клязьмы, Москвы-реки и Оки.

Грунтовые воды залегают на глубине от нескольких сантиметров до 20–30 м в зависимости от геоморфологических условий, степени дренированности, условий инфильтрационного питания и оттока подземных вод. Зона аэрации представлена преимущественно песчаными, песчано-глинистыми аллювиальными и водно-ледниковыми отложениями в пределах пониженных равнин и моренными суглинками и глинами — на возвышенных участках территории.

Соотношение уровней водоносных горизонтов в естественных условиях подчиняется общей закономерности: на междуречных пространствах пьезометрические уровни более глубоких горизонтов располагаются ниже уровней вышележающих горизонтов, в речных долинах наблюдается обратное соотношение. Таким образом, на междуречных пространствах имеется возможность нисходящего движения подземных вод из верхних горизонтов в нижние, а в долинах — возможность разгрузки вод нижних горизонтов в вышележащие и в русла рек.

Строение мезокайнозойских отложений, являющихся перекрывающей толщей залегающих ниже пород, весьма сложное и разнообразное, в связи с чем значительно различаются условия питания и степень защищенности каменноугольных водоносных горизонтов и комплексов.

Нижний каменноугольный гидрогеологический этаж объединяет в своем составе водоносные горизонты и комплексы верхне-, средне- и нижнекаменноугольных отложений, воды которых интенсивно используются для водоснабжения населения и предприятий области. Выделяют следующие основные продуктивные водоносные подразделения:

- гжельско-ассельский водоносный комплекс C_3g-P_1a ;
- касимовский водоносный комплекс C_3ksm ;
- подольско-мячковский водоносный горизонт C_2pd-mc ;
- каширский водоносный комплекс C_2ks , включающий в себя
- алексинско-протвинский водоносный комплекс C_1al-pr .

Распространение и условия залегания основных водоносных горизонтов и комплексов карбонатных каменноугольных отложений (карбона) на территории Московского региона имеют свою специфику. Они характеризуются общим наклоном пластов, увеличением мощности и напоров в северо-восточном направлении (рис. 14, 15). Преобладание в разрезе трещиноватых и карвернозных известняков и доломитов, с достаточно выдержанными прослоями мергелей и глин, определяет наличие многоэтажной водонапорной системы с трещинно-пластовыми и карстово-пластовыми водами. Каменноугольные водоносные горизонты и комплексы в верхней и краевой частях их распространения содержат преимущественно пресные гидрокарбонатные кальциевые

и магниевые-кальциевые воды. При погружении в северо-восточном направлении условия водообмена осложняются, возрастает минерализация и изменяется химический состав подземных вод.



Рис. 14. Схема распространения основных (продуктивных) водоносных горизонтов и комплексов на территории Московского региона

Особенности эксплуатации подземных вод на территории Московского региона

В Москве в настоящее время хозяйственно-питьевое водоснабжение (ХПВ) городских территорий почти на 99% осуществляется за счет поверхностных вод из двух независимых источников: Волжского и Москворецкого, на базе которых построена сеть водохранилищ. Доля использования подземных вод в общем балансе ХПВ Москвы мала и составляет около 1%²⁰. Добыча подземных вод осуществляется из каменноугольных горизонтов и комплексов в основном для водоснабжения отдельных предприятий; кроме того, значительная часть извлеченных вод приходится на водопонижающие мероприятия (шахтный и дренажный водоотлив) в строительстве и при эксплуатации инженерных сооружений и метрополитена и в дальнейшем не используется.

²⁰ Информационный бюллетень «О состоянии недр на территории Российской Федерации в 2021 году».

Условные обозначения:

I Гидрогеологические подразделения

| | |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Водоносный четвертичный комплекс; пески, супеси, суглинки |
| | Водоносный сеноман-сантонский (надпарамоновский) комплекс; пески, алевроиты, опоки |
| | Водоупорный верхнеальбский (парамоновский) горизонт; глины |
| | Водоносный волжско-альбский комплекс; пески с прослоями алевроитов, алевролиты |
| | Водоупорный келловей-кимериджский горизонт; глины |
| | Слабоводоносный бат-келловейский горизонт; |
| | пески с прослоями алевроитов, глины углефицированные, пирит |
| | Водоупорный татарский горизонт; глины пестроцветные, отитсованные, с прослоями мергелей, песчаников, пессков |
| | Водоносный кулузовско-ассельский горизонт; известняки, доломиты |
| | Водоупорный малнинковский горизонт; глины, мергели |
| | Водоносный турабьевский горизонт; известняки, доломиты |
| | Водоупорный щелковский горизонт; глины, мергели |
| | Водоносный касимовский горизонт; известняки, доломиты, мергели |
| | Водоупорный кривякинский горизонт; глины, мергели |
| | Водоносный подольско-мячковский горизонт; известняки, доломиты |
| | Водоупорный ростиславский (лопасненско-смедвиновский) горизонт; глины, мергели |
| | Водоносный каширский горизонт; известняки, доломиты, мергели с прослоями глин |
| | Водоупорный верейский горизонт; глины |
| | Слабоводоносный азавский комплекс; пески, супеси, суглинки, глины |
| | Водоносный протвинский горизонт; доломиты, известняки окремленные |
| | Водоупорный стешевский горизонт; глины, мергели |
| | Водоносный михайловско-тарусский горизонт; известняки, доломиты с прослоями мергелей |
| | Водоупорный михайловский горизонт; глины, мергели |

| | |
|--|--------|
| | С.м. |
| | С.з.м. |
| | С.п. |
| | С.т.п. |
| | В.м.п. |

Водоносный алексинский горизонт; доломиты, известняки
 Слабоводоносный бобривско-тульский комплекс; алевроиты, пески с прослоями глин, линзы угля
 Водоносный улгинский горизонт; известняки, доломиты
 Водоупорный малевский горизонт; глины, мергели
 Водоносный озерско-хованский горизонт; доломиты, известняки сильно отитсованные

II Показатели водообмена

| | |
|--|-------------------------------------------------|
| | Уровень подземных вод со свободной поверхностью |
| | Пьезометрический уровень воды: |
| | турабьевского водоносного горизонта |
| | касимовского водоносного горизонта |
| | подольско-мячковского водоносного горизонта |
| | алексинско-протвинского водоносного горизонта |

| | |
|--|--------|
| | С.м. |
| | С.з.м. |
| | С.п. |
| | С.т.п. |
| | В.м.п. |

III Минерализация и химический состав

Скважина гидрогеологическая, в которой проведено гидрохимическое опробование; интервал заправки соответствует цвет заправки — типу воды, цифра — минерализация воды

Тип воды:

| | |
|--|----------------------------|
| | Гидрокарбонатный |
| | Сульфатный |
| | Гидрокарбонатно-сульфатный |
| | Гидрокарбонатно-хлоридный |
| | Сульфатно-гидрокарбонатный |
| | Хлоридно-гидрокарбонатный |
| | Хлоридно-сульфатный |

IV Прочие знаки

| | |
|--|----------------------------------------------------------------|
| | Граница гидрогеологических подразделений |
| | Граница различного литологического состава водовмещающих пород |
| | Граница отитсованности пород |
| | Граница зоны пресных вод |

V Литологический состав пород

| | |
|--|------------------------------------|
| | Суглинки |
| | Глина песчаная |
| | Суглинки моренные |
| | Пески |
| | Углистые сланцы, углистость |
| | Глины |
| | Алевроитовые пески |
| | Алевроиты |
| | Переслаивание алевроита и песка |
| | Мергели |
| | Супесь и глина песчаная |
| | Известняки |
| | Супесь |
| | Доломиты |
| | Глинистая щебенка |
| | Песок с включением гальки и гравия |
| | Гипсы |
| | Пирит |

Рис. 15. Схематический геолого-гидрогеологический разрез по линии: Пушино — Домодедово — Москва — Мытищи — Старая Хотча — Белый Городок

По состоянию на 1 января 2023 г. количество извлеченной воды составило 255,66 тыс. м³/сут, в том числе на участках с разведанными запасами — 149,99 тыс. м³/сут, при этом на водоотлив (сброс без использования) — 75,15 тыс. м³/сут.

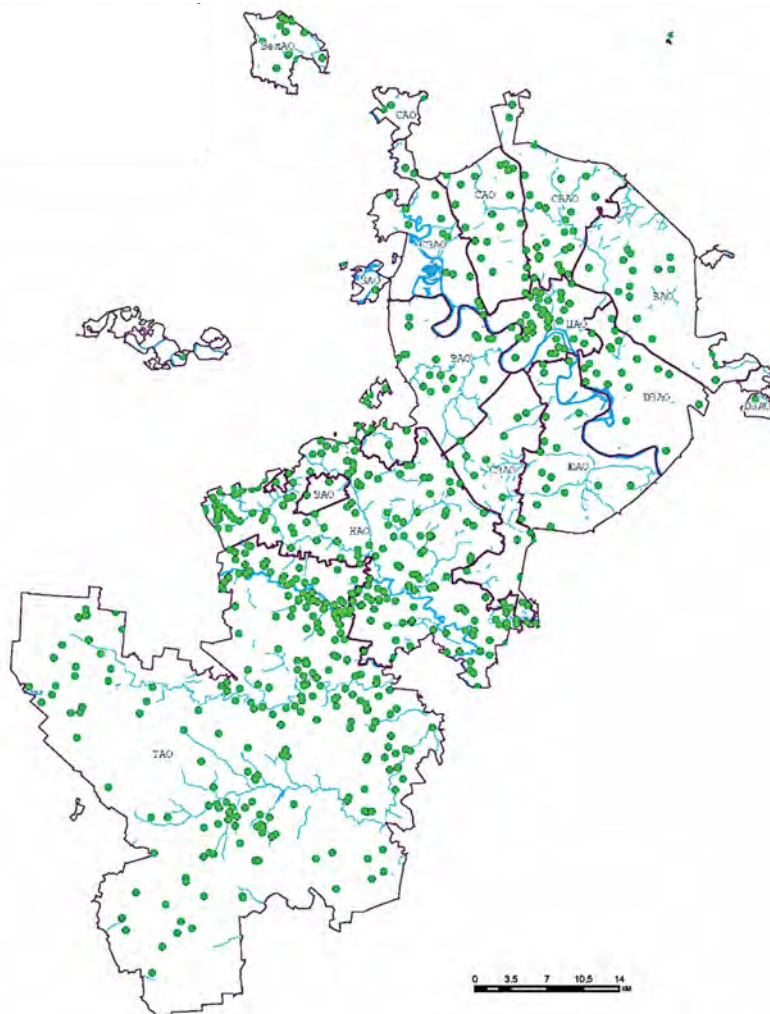
В Москве 691 недропользователь, они владеют 976 водозаборными устройствами (ВЗУ), состоящими из 1685 скважин. По данным ведения мониторинга подземных вод (в основном по отчетности недропользователей), добыча производится 638 ВЗУ, состоящими из 1075 скважин (рис. 16).

Химический состав подземных вод в Москве в настоящее время характеризуется значительной пестротой, высокими концентрациями в водах компонентов техногенного происхождения, превышающими ПДК, а также повышенным содержанием природных компонентов, образовавшихся вследствие интенсивного выщелачивания и растворения водовмещающих пород.

Сложная гидрогеохимическая обстановка на территории мегаполиса предопределена неравномерностью техногенных нагрузок и неоднородностью геолого-гидрогеологических условий территории Москвы как в плане, так и в разрезе. В центральной части города на площади современных долин рек Москвы и Яузы отмечается участок размыва юрских глин, совпадающий с обширной погребенной долиной субширотного направления, прослеживающейся на всей территории Москвы. Этот участок служит сквозным гидрогеологическим «окном» и является наиболее уязвимым с точки зрения защищенности подземных вод каменноугольных водоносных комплексов от поверхностного загрязнения. Конфигурация гидрогеологического «окна» и границы выклинивания касимовского водоносного комплекса делают возможным загрязнение нижележащего подольско-мячковского водоносного горизонта, карбонатные водовмещающие породы которого подстилают песчаные образования погребенной долины. Кроме того, в Москве в подавляющем большинстве случаев нет возможности для организации зон санитарной охраны водозаборов.

Исходя из результатов многолетних регулярных химических анализов можно констатировать, что подземные воды каменноугольных водоносных подразделений в пределах Москвы (не считая присоединенных в 2012 г. новых территорий) не удовлетворяют нормам питьевого водоснабжения по целому ряду показателей органолептических и токсических химических веществ²¹. Тем не менее подземные воды каменноугольных отложений являются единственным защищенным источником водоснабжения, и в условиях чрезвычайных ситуаций могут быть использованы для хозяйственно-питьевых целей после определенного вида водоподготовки. Для этого ведется контроль оценки качества подземных вод в современных условиях.

²¹ СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».



Условные обозначения:

I Водозаборы питьевых и технических подземных вод (цвет внутри знака):

● Действующие водозаборы подземных вод

II Границы

□ Административная граница

III Прочие обозначения

~ Реки

○ Озера, водохранилища

Рис. 16. Карта водозаборов питьевых и технических подземных вод территории Москвы (по данным ведения территориального мониторинга подземных вод по Москве и Московской области)

Водоотбор по гидрогеологическим подразделениям осуществляется неравномерно, основная нагрузка приходится на подольско-мячковский водоносный горизонт (54%), остальная нагрузка распределяется следующим образом:

- четвертичный водоносный комплекс — 0,01 тыс. м³/сут;
- гжельско-ассельский водоносный комплекс — 0,45 тыс. м³/сут;
- касимовский водоносный комплекс — 80,48 тыс. м³/сут (32%);
- подольско-мячковский водоносный горизонт — 138,75 тыс. м³/сут (54%);
- каширский водоносный комплекс — 6,64 тыс. м³/сут (3%);
- совмещенные водоносные комплексы верхне-среднекаменноугольных отложений — 3,60 тыс. м³/сут (1%);
- алексинско-протвинский водоносный комплекс — 25,73 тыс. м³/сут (10%) (рис. 17).



Рис. 17. Соотношение водоотбора по основным водоносным горизонтам и комплексам, эксплуатируемым на территории Москвы по состоянию на 1 января 2023 г. (по данным ведения территориального мониторинга подземных вод по Москве и Московской области)

В Московской области для питьевого, хозяйственно-бытового и технического водоснабжения населения, предприятий и организаций используются преимущественно подземные воды. Водоснабжение Московской области базируется в основном на подземных водах и составляет около 90% от общего водопотребления. По состоянию на 1 января 2023 г. количество извлеченной воды составило 2287,53 тыс. м³/сут, в том числе на участках с разведанными запасами — 1751,96 тыс. м³/сут.

Количество недропользователей в Московской области составляет 4712, они владеют 8112 водозаборными устройствами (ВЗУ), состоящими из 14 360 скважин, из них 6211 ВЗУ (9839 скважин) — с водоотбором (рис. 18).

Водоотбор по гидрогеологическим подразделениям Московской области распределяется следующим образом:

- мезокайнозойский водоносный комплекс в четвертичных, меловых, верхнеюрских отложениях — 6,35 тыс. м³/сут (< 1%);
- гжельско-ассельский водоносный комплекс — 305,43 тыс. м³/сут (13%);
- касимовский водоносный комплекс — 499,13 тыс. м³/сут (22%);
- подольско-мячковский водоносный горизонт — 907,54 тыс. м³/сут (40%);

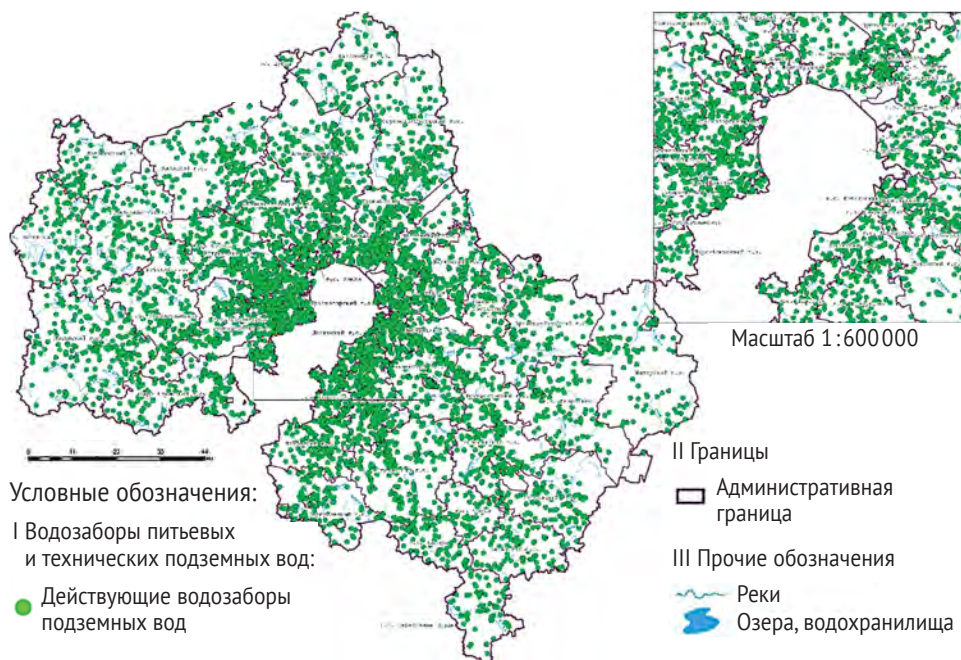


Рис. 18. Карта водозаборов питьевых и технических подземных вод на территории Московской области (по данным ведения территориального мониторинга подземных вод по Москве и Московской области)

- каширский водоносный горизонт — 147,61 тыс. м³/сут (7%);
- совмещенные водоносные комплексы верхне-средне-нижнекаменно-угольных отложений — 123,56 тыс. м³/сут (5%);
- алексинско-протвинский водоносный комплекс — 297,91 тыс. м³/сут (13%) (рис. 19).



Рис. 19. Соотношение объемов водоотбора по основным водоносным горизонтам и комплексам, эксплуатируемым на территории Московской области по состоянию на 1 января 2023 г. (по данным ведения территориального мониторинга подземных вод по Москве и Московской области)

Гидрогеодинамическое состояние подземных вод на территории Московского региона

Длительная интенсивная эксплуатация подземных вод привела к изменению гидрогеологической обстановки, выражающейся в снижении уровня подземных вод и образовании депрессионных воронок, истощении ресурсов водоносных горизонтов на отдельных участках, изменении условий питания водоносных горизонтов и их взаимосвязи между собой, изменении химического состава и качества подземных вод, температурного режима водоносных горизонтов. Территория с нарушенным режимом подземных вод охватывает полностью Московский регион²².

Для оценки современной гидрогеологической ситуации и перспектив увеличения водоотбора подземных вод производятся предварительные гидрогеодинамические расчеты на региональной геофильтрационной модели Московского региона, созданной ОАО «Геоцентр-Москва» совместно с ЗАО «Геолинк-Консалтинг» и ЗАО «ГИДЭК» в рамках региональной переоценки эксплуатационных запасов пресных подземных вод центральной части Московского артезианского бассейна (2002 г.). В настоящее время при ведении государственного мониторинга состояния недр Москвы и Московской области данная модель постоянно пополняется и корректируется, широко применяется в работах по оценке запасов подземных вод, при расчетах зон санитарной охраны водозаборов и других специальных гидрогеологических работах.

В результате многолетнего интенсивного водоотбора во всех эксплуатируемых водоносных горизонтах и комплексах каменноугольных отложений сформировалась региональная депрессия уровней подземных вод. По эксплуатируемым горизонтам и комплексам депрессионная воронка имеет разные границы, при этом существует общая тенденция расширения ее площади от верхних горизонтов к нижним — максимальные размеры воронки отмечаются в алексинско-протвинском водоносном комплексе (рис. 20).

Конфигурация и глубина воронки в каждом из водоносных горизонтов определяются интенсивностью эксплуатации как самого горизонта, так и ниже лежащих, а особенно вышележащих, горизонтов. Московская область находится на юго-западном склоне Московского артезианского бассейна, в региональной области питания подземных вод каменноугольных отложений, погружающихся в северо-восточном направлении. В целом увеличение площади региональной депрессионной воронки от верхних горизонтов к нижним связано с перехватом естественного питания нижних горизонтов эксплуатационным водоотбором верхних горизонтов.

В результате интенсивной эксплуатации напорных водоносных горизонтов и комплексов каменноугольных отложений в течение многолетнего периода уровень подземных вод на некоторых участках упал ниже их кровли, образовались зоны безнапорного режима фильтрации (рис. 21). В естественных условиях безнапорный режим в водоносных горизонтах карбона существовал только

²² О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области...

в областях их выхода на поверхность (под четвертичные отложения), а также на участках локальных структурных поднятий и флексур (Щелковский, Ногинский и другие районы). В ходе эксплуатации водоносных горизонтов области безнапорного режима естественного происхождения значительно расширились, и появились новые, связанные только с интенсивным водоотбором из горизонтов. Особенно хорошо это проявляется в подольско-мячковском водоносном горизонте, испытывающем наибольшую техногенную нагрузку, — зоны безнапорной фильтрации фиксируются практически по всей площади эксплуатации горизонта.



Рис. 20. Модельная схема распространения региональной депрессионной воронки в эксплуатируемых водоносных горизонтах и комплексах Московского региона (по данным мониторинга подземных вод АО «Центральное ПГО». М., 2014)

Когда водоотбор осуществляется в области выхода горизонтов на поверхность (под четвертичные отложения) или в пределах локальных структурных поднятий, зоны безнапорного режима естественного происхождения расширяются; в качестве примера можно привести водоносные горизонты верхнекаменноугольных отложений. Для наиболее интенсивно эксплуатируемого подольско-мячковского горизонта можно приблизительно выделить две области различного генезиса безнапорного режима: естественного происхождения (районы, находящиеся за пределами депрессионной воронки, — Озерский, Зарайский, частично Ступинский, Каширский, Коломенский) и техногенного

происхождения (Красногорский, Одинцовский, Наро-Фоминский, Ленинский, Подольский, Домодедовский, Чеховский, Люберецкий, Раменский, Воскресенский районы). Появление и расширение зон безнапорного режима фильтрации может приводить к истощению и загрязнению эксплуатируемых водоносных горизонтов.



Рис. 21. Модельная схема зон безнапорного режима фильтрации в эксплуатируемых водоносных горизонтах и комплексах Московского региона (по данным мониторинга подземных вод АО «Центральное ПГО». М., 2014)

В целом на территории Московского региона гидродинамическая обстановка в эксплуатируемых водоносных горизонтах и комплексах в 2021 г. практически не изменилась относительно предыдущих лет.

Условия залегания и особенности гидрогеохимического состава подземных вод на территории Московского региона

Подземные воды каменноугольных водоносных горизонтов являются основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения Московской области, а в особый период возникновения чрезвычайных ситуаций — это единственный резервный источник, поэтому необходимо исключить его дальнейшее истощение и загрязнение.

Каждый горизонт имеет свои условия залегания и водообмена и характеризуется различной эксплуатационной нагрузкой на рассматриваемой территории. Этими факторами обусловлены различия природного химического состава и качества вод²³.

На большей части территории Московской области нарушен гидрогеодинамический режим, что предопределяет нарушение гидрогеохимического режима и соответственно изменение химического состава подземных вод. Поэтому можно предполагать, что естественные условия формирования химического состава подземных вод основных (продуктивных) водоносных горизонтов на территории Московской области в настоящее время остались только за пределами депрессионных воронок каждого водоносного горизонта (комплекса). К ним относятся некоторые территории административных районов — Талдомского, Шатурского, Егорьевского, Лотошинского, Шаховского, Волоколамского, Луховицкого, Озерского, Можайского, Серпуховского, Каширского, Зарайского, Серебряно-Прудского, за исключением районных центров и крупных населенных пунктов.

Происхождение большей части компонентов и показателей, превышающих ПДК в подземных водах, используемых для питьевых целей, связано с природными условиями, а именно с химическим составом водовмещающих пород. При интенсивной эксплуатации водоносных горизонтов нарушаются естественные гидрогеодинамические условия, что влечет за собой интенсивное выщелачивание минералов водовмещающих пород и неизбежное увеличение концентраций нормируемых компонентов и показателей в извлекаемых подземных водах. Другими словами, ухудшение качества питьевых подземных вод напрямую зависит от увеличения водоотбора.

Территория Московской области представляет собой сложный природно-техногенный объект, на котором осуществляется интенсивная эксплуатация подземных вод одновременно из разных водоносных горизонтов и комплексов, т. е. подземные воды территории испытывают комплексное влияние техногенной нагрузки.

Верхнекаменноугольные водоносные отложения включают в себя гжельско-ассельский и касимовский водоносные комплексы

Гжельско-ассельский водоносный комплекс (C_{3g}-P_{1a}) распространен лишь на северо-востоке Московской области, где граница его распространения проходит северо-восточнее Москвы — от северо-востока Клинского до северной окраины Шаховского района: северо-восточнее линии Клин — Лобня — Икша — Мытищи — Балашиха — Электроугли — Ликино-Дулево — Шатура (см. рис. 14). Водовмещающие породы — доломитизированные известняки и доломиты, иногда загипсованные, с прослоями глин и мергелей.

На территории области этот водоносный комплекс является первым от поверхности. Практически повсеместно он перекрывается юрским-келловей-киммериджским терригенным водоупорным горизонтом за исключением

²³ Информационный бюллетень «О состоянии недр на территории Центрального федерального округа за 2021 год»; О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области...

эрозионных размывов водоупора, расположенных в речных долинах. Ниже гжельско-ассельский водоносный комплекс подстилается щелковским терригенным водоупорным горизонтом.

Гжельско-ассельский водоносный комплекс является основным источником централизованного водоснабжения в Талдомском, Дмитровском, Сергиево-Посадском, Пушкинском, Щелковском, Ногинском, Павлово-Посадском, северной части Орехово-Зуевского и Шатурского административных районов. Наибольший водоотбор отмечается в Сергиевом Посаде, Щелкове, Орехово-Зуеве, Ногинске, Дмитрове.

По имеющимся данным территориального мониторинга подземных вод воды комплекса пресные. Их общая минерализация в среднем составляет ~ 330–368 мг/л. Состав вод гидрокарбонатный, реже хлоридно-гидрокарбонатный с преобладанием катионов кальция и магния; рН среды — нейтральная: ~ 7,4. Воды жесткие, их общая жесткость составляет ~ 6,14° Ж и для 19,2% определений превышает допустимую норму.

Качество подземных вод комплекса для питьевых целей, определяемое действующими нормативными документами, практически повсеместно не соответствует по природным показателям: железу общему (от 1 до 70 ПДК) и общей жесткости (от 1 до 5,66 ПДК), в местах наибольшего водоотбора увеличиваются концентрации лития (до 5,47 ПДК), марганца (до 7,45 ПДК) и фторидов (до 2,6 ПДК).

Железо — основной компонент, ухудшающий качество подземных вод комплекса. Его содержание в воде достигает 21 мг/л и в среднем составляет 1,14 мг/л (3,8 ПДК). Некондиционное содержание железа наблюдается для 75,8% определений, что требует дополнительной водоподготовки практически на всех водозаборах. Для 5,8% определений в водах комплекса превышает норму содержание марганца, который сопутствует железу и вместе с ним накапливается в подземной воде. Содержание других природных показателей (фторидов, стронция, лития) редко превышает норму и наблюдается лишь по отдельным водозаборам.

Поскольку гжельско-ассельский водоносный комплекс — первый от поверхности, он в большей степени подвержен загрязнению подземных вод азотосодержащими показателями, тяжелыми металлами и др. Загрязнения вод комплекса в основном наблюдаются по водозаборам ближнего Подмосковья (в основном Щелковского района), а также на водозаборах городских округов.

В гжельско-ассельском водоносном комплексе депрессия охватывает практически всю площадь его распространения на территории Московской области и выходит за ее пределы в восточном направлении во Владимирскую область. Наибольшие понижения уровней относительно естественных условий зафиксированы в Сергиево-Посадском районе — 50–60 м, локальные воронки с глубиной более 20 м сформировались в районе городов Ногинска и Орехово-Зуево. Практически отсутствует региональное понижение уровней в Талдомском районе и северной части Дмитровского района.

Касимовский водоносный комплекс (C_3ksm) распространен в северо-восточной и восточной частях территории Московской области. Граница его

распространения проходит от юго-восточной окраины Истринского района по центральной части Москвы до южной окраины Шаховского района: северо-восточнее линии — долина р. Ламы — Истринское водохранилище — Дедовск — Москва — Люберцы — Воскресенск — долина р. Ялмы. Содержит трещинно-пластовые и карстово-пластовые воды в карбонатных отложениях. На юго-западной территории своего распространения комплекс является первым от поверхности продуктивным водоносным комплексом, и его перекрывает келловей-киммериджский водоупорный горизонт. На северо-востоке области он залегает ниже гжельско-ассельского водоносного комплекса и перекрыт щелковским водоупором. Повсеместно его подстилает кривякинский водоупорный горизонт.

Комплекс включает в себя от одного до трех пластов, принадлежащих к измайловской, перхуровской и ратмировской толщам. Водоносные пласты разделены глинисто-мергелистыми слоями неверовской и мешеринской толщ. Водовмещающими породами являются известняки, доломиты и доломитизированные мергели. Мощность касимовского водоносного комплекса определяется количеством его слагающих пластов и достигает 100 м. Абсолютные отметки кровли составляют от 140 м до минус 95 м. Погружение кровли — в северо-восточном направлении. Воды комплекса пресные, их общая минерализация составляет ~ 344–414 мг/л. Тип вод комплекса гидрокарбонатный, редко сульфатно- и хлоридно-гидрокарбонатный с преобладанием катионов кальция и магния; рН среды — нейтральная: ~ 7,42. Воды жесткие, их общая жесткость в среднем составляет ~ 6° Ж, и для 18,3% определений ее значение превышает ПДК, достигая 4,11 ПДК.

Как и для вышезалегающего гжельско-ассельского водоносного комплекса, воды касимовского водоносного комплекса зачастую имеют некондиционное качество по таким компонентам, как железо и марганец. В связи с этим возникает необходимость дополнительной водоподготовки вод на многих водозаборах. Так, железо превышает норму по 64% определений, и в среднем его концентрация в воде составляет 1,04 мг/л (3,5 ПДК), достигая 24,3 мг/л (81 ПДК). Содержание марганца превышает норму для 9,2% определений. Концентрации других природных компонентов в воде редко превышают норму, в местах наибольшего водоотбора увеличиваются концентрации лития (до 8,67 ПДК), марганца (до 10 ПДК) и фторидов (до 2,93 ПДК).

Касимовский водоносный комплекс также подвержен загрязнению подземных вод, особенно на той площади распространения, где он залегает первым от поверхности. Азотосодержащие показатели, связанные с фекальными загрязнениями, чаще других ухудшают качество подземных вод комплекса. Помимо этого, на некоторых водозаборах отмечаются загрязнения вод металлами, хлоридами и др. Это наблюдается в основном в Ногинском, Щелковском районах и городских округах Мытищ, Балашихи, Электрогорска.

Питание касимовского водоносного комплекса осуществляется за счет инфильтрации из вышезалегающих водоносных горизонтов, разгрузка — в основном за счет водоотбора. Воды комплекса в основном напорные, но в результате интенсивного водоотбора, осуществляющегося практически по всей территории распространения водоносного комплекса в Московский

области, напор вод снижается, а местами вовсе исчезает, и воды приобретают безнапорный характер.

В касимовском водоносном комплексе депрессионная воронка занимает практически всю площадь его распространения в Московской области. Максимальная глубина воронки зафиксирована в Солнечногорском, Пушкинском и Сергиево-Посадском районах — 50–60 м. Практически во всех районных центрах и крупных городах в пределах общей региональной депрессии сформировались локальные воронки депрессии с глубиной 10 м и более.

Среднекаменноугольные водоносные отложения объединяют в своем составе подольско-мячковский водоносный горизонт и каширский водоносный комплекс.

Подольско-мячковский водоносный горизонт (C₂pd-тс) распространен практически на всей территории Московской области за исключением ее юго-запада (Можайский, частично Наро-Фоминский районы) и юга (Серпуховский, Серебряно-Прудский, Каширский, Зарайский, частично Озерский районы) (см. рис. 14). Причем практически на половине территории Московской области (Лотошинский, Шаховской, Волоколамский, Рузский, Истринский, Одинцовский, Домодедовский, частично Раменский, Воскресенский, Коломенский, Ступинский, Луховицкий и другие районы) он является первым от поверхности водоносным горизонтом, приуроченным к каменноугольным отложениям. Водовмещающими породами служат трещиноватые органогенные известняки с подчиненными прослоями глин, мергелей и доломитов.

Абсолютные отметки кровли подольско-мячковского водоносного горизонта уменьшаются в северо-восточном направлении от 189 до минус 140 м. Нижний водоупор подольско-мячковского водоносного горизонта представлен ростиславльскими глинами и мергелями. Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации из вышележающих водоносных горизонтов — на севере из касимовского водоносного комплекса, на юге — из мезокайнозоя, разгрузка осуществляется за счет интенсивного водоотбора.

Подольско-мячковский водоносный горизонт — основной эксплуатационный горизонт Московской области. Он имеет самую высокую эксплуатационную нагрузку и достаточно пестрый химический состав вод. Воды горизонта пресные, общая минерализация вод составляет ~ 457–474 мг/л. Состав вод в основном гидрокарбонатный с преобладанием катионов кальция и магния. Подземные воды горизонта в основном жесткие, их общая жесткость составляет ~ 7,35° Ж (1,05 ПДК), превышая ПДК для 39,4% определений и достигая 5,17 ПДК.

Перечень показателей, ухудшающих качество подземных вод горизонта, достаточно пестрый, что вызвано как природными условиями формирования химического состава, так и эксплуатационной нагрузкой на водоносный горизонт. Так, помимо уже наблюдающейся в вышележающих водоносных комплексах ассоциации показателей «железо — общая жесткость — марганец» качество вод данного водоносного горизонта нередко усугубляется такими компонентами, как фтор, литий и стронций, накапливающихся в содержаниях выше нормы в условиях более затрудненного водообмена, которые формируются при значительном погружении водоносного горизонта на востоке и северо-востоке области.

Железо в подземной воде горизонта составляет в среднем 1,4 мг/л (4,7 ПДК) и превышает норму для 66 % определений, достигая 120 ПДК. Содержание марганца в среднем равно 0,06 мг/л и превышает ПДК для 15,25 % определений, достигая по отдельным водозаборам 10,2 ПДК. Концентрация фтора, лития и стронция заметно увеличивается и нередко ухудшает качество подземных вод для 21,35 % определений — по фтору (до 7 ПДК), для 2,95 % — по литию (до 11 ПДК), 15,12 % — по стронцию (до 5 ПДК). Загрязнения подземных вод горизонта наиболее часто наблюдаются по водозаборам Люберецкого и Раменского районов, а также городских округов Подольск, Дзержинский, Домодедово, Шаховская.

Горизонт в основном напорный, однако местами в результате сработки уровня напор над кровлей не только исчез, но и уровень стал ниже кровли водоносного горизонта. В подольско-мячковском водоносном горизонте депрессия охватывает большую часть его распространения в Московской области. Наибольшие понижения уровней (до 50–80 м) зафиксированы в Химкинском, Солнечногорском, Мытищинском, Пушкинском, Щелковском и Балашихинском районах. Почти во всех районных центрах и крупных городах, где эксплуатируется подольско-мячковский горизонт, в пределах общей депрессии также сформировались локальные воронки с глубиной относительно фона 10 м и более.

Каширский водоносный комплекс (C₂ks) распространен практически на всей территории Московской области, где его повсеместно перекрывает ростиславльский водоупорный горизонт. Водоносный комплекс лишь на юго-восточной окраине Московской области является первым от поверхности. На остальной территории комплекс залегает ниже подольско-мячковского водоносного горизонта и других верхнекаменноугольных водоносных комплексов. Подстигает каширский водоносный комплекс региональный верейский водоупор, изолирующий его от алексинско-протвинского водоносного комплекса.

Водовмещающими породами являются трещиноватые известняки и доломиты. Мощность каширского водоносного комплекса на территории области достигает 109 м. Абсолютные отметки кровли — от 190 до минус 160 м.

По гидрогеохимическому составу природные воды комплекса, а также их характеристики качества схожи с водами подольско-мячковского водоносного горизонта, отличие — меньшая жесткость и увеличение содержания сульфатов. Воды комплекса пресные, общая минерализация составляет ~ 370–466 мг/л; рН среды — нейтральная: ~ 7,4. Состав вод гидрокарбонатный и сульфатно-гидрокарбонатный с преобладанием катионов кальция и магния, редко — хлоридно-гидрокарбонатный с преобладанием катионов кальция и магния. Повышенное содержание сульфатов связано с условиями затрудненного водообмена и характеризует природный состав вод комплекса. Воды жесткие, общая жесткость вод составляет ~ 6,81° Ж и для 26 % определений превышает допустимую норму, достигая 3,2 ПДК.

В водах каширского водного комплекса ассоциация природных показателей «железо — общая жесткость — марганец» также ухудшает качество подземных вод, но не имеет доминирующего значения, как в водах горизонтов, залегающих выше. Железо превышает норму только в 30,5 % определений, средняя

концентрация его в воде понижается, составляя ~ 0,51 мг/л (1,7 ПДК), местами достигает 21 ПДК. Однако в данных условиях водообмена в подземных водах накапливается другая ассоциация природных компонентов — «фториды-литий-стронций-бор», и качество вод становится некондиционным по этим показателям. Так, наиболее часто (для 37,8% определений) встречается превышение нормы по литию (от 1 до 5 ПДК), средняя концентрация которого в подземных водах комплекса составляет 0,034 мг/л (1,13 ПДК). Также для 23,5% определений в водах отмечено превышение ПДК по фторидам (от 1 до 6,7 ПДК), содержание которых в среднем составляет 1,13 мг/л и достигает 14 мг/л. Заметно увеличивается в воде содержание стронция и бора, превышения по которым наблюдались для 23,5% (от 1 до 5 ПДК) и 10,4% (от 1 до 2,8 ПДК) определений соответственно.

Водоносный комплекс в основном глубоко залегает на всей площади распространения в Московской области и потому мало подвержен загрязнению подземных вод. Однако в местах выклинивания вышезалегающего подольско-мячковского водоносного горизонта и выхода каширского комплекса на поверхность под четвертичные отложения наблюдаются загрязнения по азотосодержащим показателям, и зафиксированы они в Шаховском, Наро-Фоминском и Зарайском районах.

В пределах области собственно каширский водоносный комплекс эксплуатируется относительно мало, в основном совместно с подольско-мячковским водоносным горизонтом.

В каширском водоносном комплексе депрессионная воронка занимает большую часть его распространения в Московской области и не отмечается лишь в местах выхода его на поверхность. Отдельные депрессионные воронки сформировались в Коломенском, Луховицком и Озерском районах. Максимальная глубина воронки (70–90 м) зафиксирована в Химкинском, Солнечногорском, Мытищинском, Пушкинском, Щелковском и Балашихинском районах.

Нижнекаменноугольные водоносные отложения представлены в основном алексинско-протвинским водоносным комплексом.

Алексинско-протвинский водоносный комплекс (C_{1al-pr}) распространен на всей территории Московской области. Этот водоносный комплекс залегает ниже других (рассмотренных в этом разделе) водоносных комплексов. Лишь на отдельных участках на юге и юго-востоке Московской области он является первым от поверхности.

Водовмещающие породы — известняки и доломиты — разделены прослоями глини протвинской, серпуховской и окской серий. Общая мощность пород — 5–109 м. Верхним водоупором служат глины и мергели верейского горизонта (14–21 м), нижним — черные и темно-серые углистые глины тульского горизонта (18–25 м). Абсолютные отметки кровли — от 200 м на юге до 240 м на северо-востоке. Практически на всей территории области воды комплекса напорные, но местами уровень снижается ниже кровли.

Питание вод комплекса осуществляется за счет инфильтрации из вышезалегающих водоносных горизонтов, разгрузка — за счет водоотбора и латеральным потоком в сторону погружения водовмещающих пород.

Алексинско-протвинский водоносный комплекс интенсивно эксплуатируется водозаборными скважинами, воды используются для хозяйственно-бытовых и технических целей. Наивысшее положение пьезометрической поверхности отмечается на участках, удаленных от крупных водозаборов.

Воды комплекса пресные, общая минерализация составляет ~ 445–484 мг/л; рН среды — нейтральная: ~ 7,45. Воды комплекса в основном имеют сульфатно-гидрокарбонатный, реже гидрокарбонатный состав с преобладанием катионов кальция и магния.

Алексинско-протвинский водоносный комплекс залегает под региональным водоупорным горизонтом, а потому для него характерны наиболее затрудненные условия водообмена. Следствием этого является увеличение содержания сульфатов в подземной воде. Воды комплекса жесткие, их общая жесткость в среднем составляет ~ 6,51°Ж, и для 25,1% определений значение общей жесткости превышает норму, достигая 4 ПДК.

В воде увеличиваются концентрации фторидов (от 1 до 7,5 ПДК), стронция (от 1 до 4,5 ПДК), лития (от 1 до 6 ПДК) и бора (от 1 до 5 ПДК), средние содержания которых превышают предельно допустимые и составляют для фторидов ~ 2,12 мг/л (1,4 ПДК), стронция — 9,15 мг/л (1,3 ПДК), лития — 0,038 мг/л (1,3 ПДК), бора — 0,37 мг/л соответственно. При этом превышение нормативов содержания этих компонентов отмечается в большинстве определений. Так, фториды превышают норму для 59,2% определений, стронций — для 55,5%, литий — для 45,9%, бор — для 33,3%. Как и в других водоносных горизонтах и комплексах, зачастую подземные воды имеют некондиционное качество по железу, превышение по которому отмечается для 40,8% определений, а среднее содержание составляет ~ 0,64 мг/л (2,1 ПДК), достигая 10,72 мг/л (35 ПДК).

Загрязнения в водах комплекса в основном отмечаются по водозаборам ближнего Подмосковья: Люберецкого, Одинцовского районов и Реутова, а также в Серпуховском районе, где водоносный комплекс является первым от поверхности.

В алексинско-протвинском водоносном комплексе депрессионная воронка охватывает практически всю территорию Московской области, за исключением крайних западных и юго-восточных районов, где наблюдается его выход на поверхность. На юго-западе области депрессия сочленяется с воронкой, образовавшейся на территории Обнинского промышленного района Калужской области. Наибольшие понижения уровней отмечаются в Наро-Фоминском, Одинцовском, Красногорском, Химкинском, Солнечногорском, Мытищинском, Балашихинском, Люберецком, Ленинском и Подольском районах и составляют 70–90 м.

***Особенности гидрогеохимического состава подземных вод
Московского региона, предопределяющие способы водоподготовки
для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения***

Каждый эксплуатируемый водоносный горизонт и комплекс при общих гидрогеохимических характеристиках, обусловленных карбонатным составом водовмещающих пород, имеет свои особенности²⁴.

²⁴ О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области...

Водоносные горизонты и комплексы *верхнекаменноугольных* отложений Московского региона характеризуются превышением железа практически повсеместно — более 70 % определений, стронций и литий превышают норматив в 2–3 % определений, фтор — в ~5 %.

В водоносных горизонтах и комплексах *среднекаменноугольных* отложений превышение по железу встречается несколько реже — в 50 % определений, увеличивается превышение по литию, стронцию и фтору до 15–20 % определений.

В водоносных горизонтах и комплексах *нижнекаменноугольных* отложений уменьшается количество превышений по концентрации железа до средних 40 % определений, но значительно увеличивается количество превышений по концентрации фтора, стронция и лития — до 55–65 % определений.

Кроме того, в отдельных городах подземные воды разных водоносных горизонтов содержат в концентрациях, превышающих ПДК, такие нормируемые компоненты, как марганец и магний, хром и кадмий. Их присутствие в воде первых от поверхности эксплуатируемых горизонтов карбона имеет явно техногенное происхождение. Повышенное содержание аммония и рост окисляемости (как индикаторы антропогенной нагрузки на подземные воды) обуславливаются коммунально-бытовым загрязнением. Эти данные подтверждаются результатами как собственного опробования в рамках ведения ГМСН, так и полученными от недропользователей. Основные причины ухудшения качества подземных вод — ухудшение общей гидрогеологической обстановки, произошедшей за последние 20–30 лет в регионе, а также локальное техногенное загрязнение на самих участках размещения водозаборов.

В силу природных гидрогеологических особенностей территории Московского региона, а также высокой антропогенной нагрузки качество подземных вод питьевого назначения на 70–80 % не соответствует современным нормативным требованиям. Использование этой воды возможно после доведения отдельных показателей до нормативных значений путем дорогостоящей водоподготовки или смешения с более чистой водой.

Виды необходимой водоподготовки для районов Московской области и городов ближайшего Подмосковья определяются исходя из характеристик качества подземных вод основных эксплуатационных водоносных горизонтов (комплексов). При этом учитывается теоретическая возможность смешения воды разных горизонтов в пределах каждого района, основанная на величине водоотбора по каждому эксплуатируемому водоносному горизонту и комплексу.

Выбор методов очистки воды, расчетных параметров сооружений, а также вида и доз реагентов следует осуществлять на основании технологических изысканий, проводимых непосредственно у источников водоснабжения, в соответствии с СП 31.13330.2021 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» СНиП 2.04.02-84* «Свод правил от 27.12.2021 № 31.13330.2021».

Решения о способах водоподготовки и возможности смешения подземных вод разных водоносных горизонтов могут приниматься только индивидуально на каждом водозаборе в соответствии с конкретными характеристиками качества подземных вод эксплуатируемых водоносных горизонтов.

**Обзор технологий водоподготовки подземных вод
для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения
на территории Московского региона**

Выбор технологии водоподготовки определяется видом загрязнений (примесей) воды, а также ее физико-химическими свойствами (температура, щелочность, минерализация и пр.)²⁵. В представляемой классификации примесей подземных вод (табл. 4) к лимитирующим отнесены компоненты, среднее содержание которых в питьевой воде превышает ПДК.

Таблица 4. Классификация примесей подземных вод
и соответствующих технологических решений

| № п/п | Лимитирующие примеси | Технология водоподготовки | Тип водоподготовки | Категория водоподготовки |
|-------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| | <i>Компоненты стандартного набора</i> | | | |
| 1 | Железо, марганец | Обезжелезивание (+деманганация) | 1 | 1 |
| | Фтор | Дефторирование | 2 | 2 |
| | Жесткость, стронций, минерализация | Умягчение (опреснение) | 2 | 2 |
| | Совместное присутствие компонентов (Fe, Mn, F, жесткость, Sr, M) | Умягчение с реагентной предпочисткой | 2 | 2 |
| | <i>Специфические компоненты при индивидуальном присутствии</i> | | | |
| 2 | Кремний | Обескремнивание | 3.1 | 3 |
| | Микроэлементы (B, Cd, Li, Ni, As, Se, Pb) | Очистка от микроэлементов | 2 | 2 |
| | Нефтепродукты | Очистка от нефтепродуктов | 3.2 | 3 |
| | Перманганатная окисляемость | Очистка от органических примесей | 3.2 | 3 |
| | α-радиоактивность | Очистка воды от радиоактивных компонентов | 3.2 | 3 |
| 3 | <i>Специфические компоненты на фоне стандартных компонентов</i> | Сопутствующая очистка в технологических процессах типа 1, 2 | 1, 2 | 1, 2 |
| 4 | Любые при незначительном превышении ПДК (1–3 ПДК) | Разбавление чистой водой | 4.1 | 4 |
| 5 | Любые при значительном превышении ПДК по отдельным компонентам (свыше 3 ПДК) | Предочистка или доочистка с разбавлением чистой водой | 4.2 | 4 |

²⁵ О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области...

Железо и марганец объединены в одну группу, так как действующие нормативные документы рекомендуют проводить деманганацию воды совместно с его обезжелезиванием. Стронций не является классической примесью воды, однако он отнесен к компонентам жесткости вследствие близости его химических характеристик свойствам кальция. Умягчение и опреснение воды объединены в одну группу, так как сегодня для их реализации применяется одна и та же технология (мембранное разделение — обратный осмос).

Приведем описание основных методов водоподготовки, применяемых и возможных для применения на территории Московской области, и их принципиальные технологические схемы (для краткости изложения использована цифровая маркировка типов и категорий водоподготовки)²⁶.

Обезжелезивание воды (1)

Выбор метода обезжелезивания воды определяется такими характеристиками ее качества, как щелочность, жесткость, температура.

Для Московской области характерны достаточно высокие значения этих величин: жесткость ≥ 2 мг-экв/дм³, щелочность ≥ 2 мг-экв/дм³, температура $\geq 6^\circ\text{C}$. В таких условиях для окисления двухвалентного железа может быть использован кислород воздуха, а для отделения продуктов реакции — фильтрование через песок (рис. 22).

Согласно схеме, в напорный коллектор исходной воды в узле ввода 1 компрессором 6 подается воздух. Вода с воздухом поступает на автоматическую напорную фильтровальную установку 2, где в объеме загрузки происходит окисление железа (+2) и отделение нерастворимых продуктов реакции (взвеси). В поток фильтрата в узле ввода 3 посредством насоса-дозатора 13 из бака 14 дозируется товарный раствор гипохлорита натрия, за счет чего обеспечивается обеззараживание питьевой воды. Далее по схеме вода поступает в резервуар чистой воды 4, а из него отбирается насосной станцией II подъема 5 и подается потребителям.

Грязные промывные воды обрабатываются флокулянтном, его раствор вводится в узле ввода 7 посредством насоса-дозатора 10, отбирающего реагент из растворно-расходного бака 11. Вода с флокулянтном отстаивается в тонкослойных отстойниках 8. После осветления насосная станция 9 возвращает промывную воду в голову станции обезжелезивания. Технологические решения по обороту промывной воды позволяют избежать потерь воды на собственные нужды в количестве до 10% суточного расхода станции.

Шлам из отстойника периодически откачивается насосной установкой 12 и вывозится на станции приема концентрированных сточных вод или полигоны промышленных отходов.

²⁶ Журба М. Г., Ж. М. Говорова Методология анализа эффективности действующих водоочистных комплексов // ВСТ. — 2009. — № 8. — С. 29–37; Журба М. Г. и др. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : в 3 т. — Т. 1. — М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2003; Николадзе Г. И. Улучшение качества подземных вод. — М., 1987; О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области...



Рис. 22. Технологическая схема станции обезжелезивания подземных вод (1):

1 – узел ввода воздуха; 2 – напорная фильтровальная установка; 3 – узел ввода раствора гипохлорита; 4 – резервуар чистой воды; 5 – насосная станция II подъема; 6 – компрессор безмасляный; 7 – узел ввода флокулянта; 8 – отстойник промывных вод; 9 – насосная станция возврата промывных вод; 10 – насос-дозатор флокулянта; 11 – растворно-расходный бак флокулянта; 12 – насосная установка осадка; 13 – насос-дозатор гипохлорита; 14 – расходный бак гипохлорита

Следует отметить, что при удалении из воды 1 г/м^3 железа образуется около $0,2 \text{ кг/м}^3$ обводненного шлама — осадка гидроксида железа (+3) с влажностью более 99%, который не может быть сброшен в трубопроводную сеть городской бытовой канализации. Поэтому для утилизации шлама необходим его вывоз на станцию приема концентрированных стоков или полигон промышленных отходов.

*Дефторирование (обесфторивание), умягчение (опреснение)
и комплексная очистка подземной воды от микрокомпонентов (2)*

Согласно СП 31.13330.2021 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» СНиП 2.04.02-84* «Свод правил от 27.12.2021 № 31.13330.2021», для обесфторивания воды с содержанием фтора до 5 мг/дм^3 рекомендуется метод контактно-сорбционной коагуляции. Однако этот метод требует применения реагента — сульфата алюминия, с расходом около 80 г/г удаляемого фтора. Такая доза реагента приводит к образованию обводненного шлама гидроксида алюминия в количестве около $4,2 \text{ кг/г}$ фтора. Утилизация этого шлама затруднена, при хранении осадок выделяет растворимые фториды. Поэтому сегодня все чаще применяется гиперфильтрационное обесфторивание воды в процессе комплексной очистки от микрокомпонентов (рис. 23).

При использовании гиперфильтрационной технологии (обратный осмос) качество исходной воды, которая подается на мембрану, нормируется по таким показателям, как взвешенные вещества, железо, марганец, окисляемость, нефтепродукты. В связи с этим полная технологическая схема включает в себя

сооружения предварительной очистки воды. Обычно в качестве реагента предочистки используются коагулянты или окислитель (перманганат калия) с последующим отделением нерастворимых продуктов реакции путем фильтрования через песок.

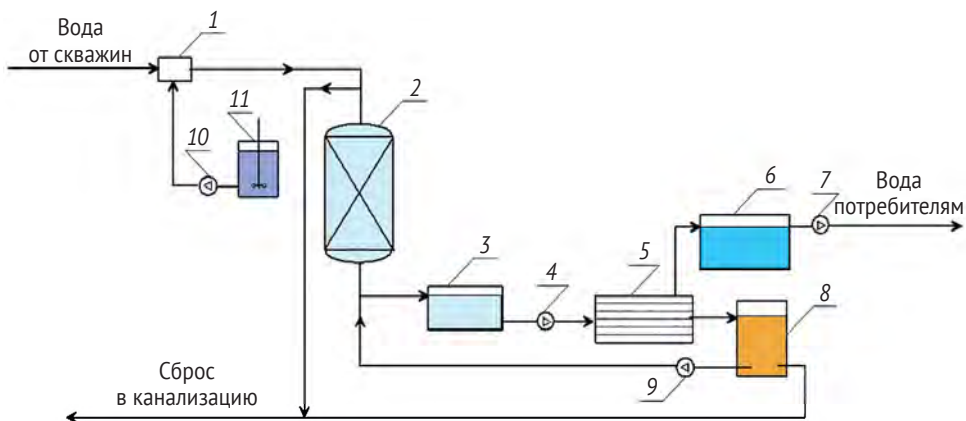


Рис. 23. Технологическая схема комплексной очистки подземных вод гиперфильтрацией (обратный осмос (2)):

1 – узел ввода реагента; 2 – песчаные фильтры предочистки; 3 – резервуар осветленной воды; 4 – насос высокого давления; 5 – модуль гиперфильтрации; 6 – резервуар чистой воды; 7 – насосная станция II подъема; 8 – резервуар концентрата; 9 – промывной насос; 10 – насос-дозатор реагента предочистки; 11 – растворительно-расходный бак реагента предочистки

Согласно схеме, в поток исходной воды в узле ввода 1 дозируется раствор реагента предочистки. Приготовление последнего производится в растворительно-расходных баках 11, а дозирование обеспечивается насосом-дозатором 10. Отделение взвеси производится на автоматических напорных фильтрах 2. Фильтрат собирается в промежуточном резервуаре 3, откуда отбирается насосом высокого давления 4 и подается на мембранный модуль 5. Здесь поток воды делится на две части: чистая (обесфторенная) вода и концентрат, содержащий фториды и другие микрокомпоненты состава исходной воды в высоких концентрациях. Очищенная вода самотеком поступает в резервуар чистой воды 6, откуда отбирается насосной станцией II подъема 7 и подается потребителям. Концентрат собирается в резервуаре концентрата 8, откуда сбрасывается в канализацию. Часть расхода концентрата используется для промывки фильтров предочистки (насос 9). Грязные промывные воды также сбрасываются в канализацию. Объем промывных вод обычно составляет 5–7%, а объем концентрата — 15–25% суточного расхода воды.

Таким образом, подлежит сбросу значительное количество загрязненной воды, что приводит к необходимости больших платежей за прием загрязнений в городскую канализацию. Иногда техническая возможность легального приема таких сточных вод вообще отсутствует.

Следует отметить, что приведенная технологическая схема (2) помимо фтора, жесткости и микрокомпонетов обеспечивает комплексную очистку

подземных вод по показателям — железо, марганец, окисляемость, нефтепродукты, стронций, кремний, минерализация, а также по общей α -радиоактивности. Получаемая вода стерильна по бактериологическим показателям и не требует обеззараживания. При ее транспортировке на большие расстояния необходимо хлорирование малыми дозами.

Обескремнивание воды (3.1)

Для неглубокого обескремнивания воды из всего разнообразия существующих методов для условий Московской области предпочтительно использовать сорбцию гидроксидами железа (рис. 24).

В узле ввода 1 в поток подземной воды посредством насоса-дозатора 9 из растворно-расходного бака 8 дозируется щелочной реагент (каустическая или кальцинированная сода). Затем в узле ввода 2 дозируется железный коагулянт. Приготовление его рабочего раствора производится в растворно-расходном баке 10, а дозирование обеспечивается насосом-дозатором 11. Отделение большей части взвеси происходит в осветлителе 3, доочистка обеспечивается фильтрованием через песчаный фильтр 4. В узле ввода 5 производится дозирование товарного раствора гипохлорита натрия (насос-дозатор 12, расходный бак 13). Далее фильтрат поступает в резервуар чистой воды 6, откуда отбирается насосом II подъема и подается потребителям.

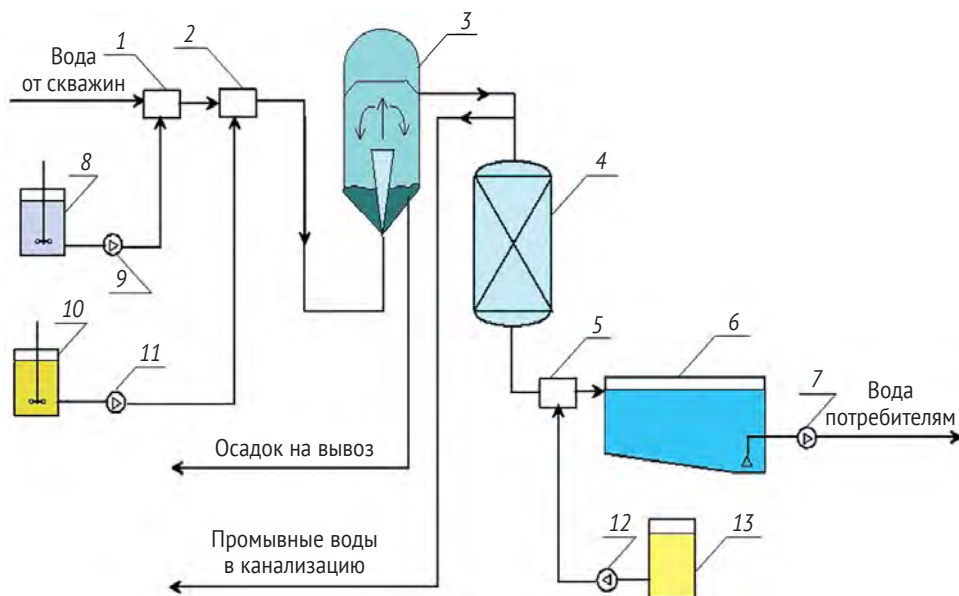


Рис. 24. Технологическая схема обескремнивания воды (3.1):

1 — узел ввода щелочного реагента; 2 — узел ввода коагулянта; 3 — напорный осветлитель; 4 — автоматический напорный фильтр; 5 — узел ввода гипохлорита; 6 — резервуар чистой воды; 7 — насосная станция II подъема; 8 — растворно-расходный бак щелочного реагента; 9 — насос-дозатор щелочного реагента; 10 — растворно-расходный бак коагулянта; 11 — насос-дозатор коагулянта; 12 — насос-дозатор гипохлорита; 13 — расходный бак гипохлорита

Следует отметить, что при использовании такой технологии для снижения содержания соединений кремния на 1 мг/дм^3 требуется около 30 г/м^3 сульфата железа (+3), что приводит к образованию около $0,78 \text{ кг/м}^3$ обводненного шлама гидроксида железа (+3). Потери воды с осадком и в виде промывных вод достигают 15% суточного расхода сооружений.

Очистка подземных вод от микроэлементов (2)

Очистка воды от микроэлементов (бор, кадмий, литий, никель, мышьяк, селен, свинец и др.) в связи с низкими значениями их ПДК вызывает определенные трудности. Требуемые селективность и эффективность обеспечиваются применением селективных синтетических ионообменных материалов. Однако в этом случае требуется обеспечить глубокую очистку исходной воды от тяжелых металлов фона (железо, марганец) и полярных органических соединений. Необходимость такой предварительной очистки делает всю технологию дорогой, особенно с учетом обезвреживания всех образующихся отходов. Поэтому в последние годы для очистки воды от микроэлементов все чаще применяют комплексную очистку (2) — мембранные методы (см. рис. 23). Путем подбора типа мембраны, количества ступеней и режима работы обычно удается обеспечить необходимую селективность разделения по всем компонентам.

Очистка подземных вод от нефтепродуктов, других органических и радиоактивных компонентов (3.2)

Очистка воды от нефтепродуктов и/или других органических примесей, содержание которых косвенно передается показателем «перманганатная окисляемость», обычно обеспечивается путем применения коагулянтов или мягких окислителей (перманганат калия). Эффективность последнего объясняется наличием хороших сорбционных свойств у продукта реакции — гидрата диоксида марганца $\text{MnO}(\text{OH})_2$. Из коагулянтов предпочтение обычно отдается солям алюминия.

Универсальная схема реагентной обработки приведена на рисунке 25. Низкие значения доз реагентов позволяют обеспечить необходимое качество воды при использовании одноступенчатого осветления фильтрованием. По этой же причине количество и загрязненность промывных вод невелики, что обычно позволяет сбросить их в существующие системы канализации. Согласно схеме, в узлах ввода 1 и 2 в поток подземных вод вводятся щелочной реагент и коагулянт (или перманганат калия). Приготовление необходимых растворов производится в баках 7 и 9, а их дозирование обеспечивается насосами-дозаторами 8 и 10. Отделение нерастворимых продуктов реакции происходит в теле загрузки осветлительных фильтров 3. В узле ввода 4 вода обеззараживается товарным раствором гипохлорита натрия. Последний подается насосом-дозатором 11 из расходного бака 12. Под остаточным напором вода поступает в резервуар чистой воды 5, откуда отбирается насосами II подъема и подается потребителям. Объем сбрасываемой в канализацию воды обычно не превышает 5–7% суточного расхода.

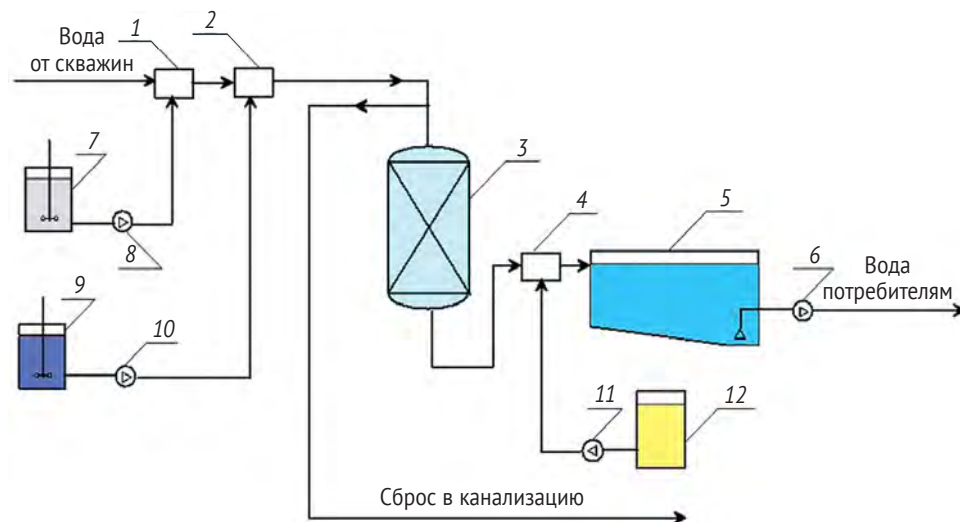


Рис. 25. Технологическая схема реагентной обработки подземных вод (3):

1 – узел ввода щелочного реагента; 2 – узел ввода коагулянта (перманганата калия); 3 – напорный песчаный фильтр; 4 – узел ввода гипохлорита; 5 – резервуар чистой воды; 6 – насосная станция II подъема; 7 – растворо-расходный бак щелочного реагента; 8 – насос-дозатор щелочного реагента; 9 – растворо-расходный бак коагулянта (перманганата калия); 10 – насос-дозатор коагулянта (перманганата калия); 11 – насос-дозатор гипохлорита; 12 – расходный бак гипохлорита

Технология реагентной обработки позволяет обеспечить также снижение радиоактивности воды на 50–70%, что обычно достаточно для условий Московской области. Повышение эффективности достигается применением больших доз реагентов, индивидуальным подбором коагулянтов и условий образования гидроксидов (рН).

Очистка подземных вод сложного состава

В Московской области часто встречаются подземные воды сложного состава, когда специфические компоненты (см. табл. 4, группа 2) присутствуют на фоне традиционных примесей (см. табл. 4, группа 1) в различных сочетаниях. Строго говоря, в таких случаях технологические решения могут быть приняты только на основании испытаний (технологических исследований)²⁷. Однако в большинстве случаев можно рассчитывать на достижение необходимого качества очищенной воды за счет явлений сопутствующей очистки в технологических процессах группы 1 или 2. Необходимая эффективность достигается подбором реагентов и их рабочих доз. Соответствующие технологические схемы приведены ранее (см. рис. 22, 23, 25).

²⁷ Журба М. Г., Ж. М. Говорова Методология анализа эффективности действующих водоочистных комплексов; Журба М. Г. и др. Водоснабжение...

Использование разбавления чистой водой

Технический прием разбавления чистой водой (при ее доступности) является эффективным способом достижения нормативного качества подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения, при их умеренной загрязненности.

Обычно рассматриваются два случая использования разбавления:

- незначительное превышение ПДК (1–3 ПДК) по любым компонентам; необходимые значения содержания примесей достигаются путем смешения с более чистой водой другого горизонта или ближайшей существующей системы водоснабжения;
- значительное превышение ПДК (свыше 3 ПДК) по отдельным компонентам (при наличии незначительных превышений по другим примесям); необходимое качество воды достигается путем применения технологии предварительной очистки по компонентам с большими превышениями ПДК и последующего разбавления чистой водой.

Для предварительной очистки воды могут быть использованы технологические решения (см. табл. 4) типа 1 (см. рис. 22) или 3 (см. рис. 25).

Выбор оптимальных способов водоподготовки подземных вод на территории Московского региона

Качество подземных вод на территории Москвы и Московской области отличается исключительным разнообразием, и для различных районов на фоне традиционных (железо, фтор, жесткость) характерно присутствие специфических компонентов как природного (кремний, стронций, бор, литий, селен и пр.), так и техногенного (нефтепродукты, никель, свинец и пр.) происхождения²⁸. Обеспечить нормативное качество питьевой воды позволит использование двух технологических схем — это обезжелезивание (1) и комплексная водоочистка (2) (см. рис. 22 и 23).

Технология обескремнивания воды (3.1) сопряжена с образованием значительного количества трудноутилизуемых отходов²⁹. Поэтому сегодня ее применение принято считать нерациональным, особенно на объектах малой и средней производительности. Качество воды по содержанию кремния будет обеспечено при использовании технологии 2, которая достаточно универсальна и может применяться для комплексной очистки подземных вод при различных сочетаниях компонентов, превышающих нормативное содержание более чем в 25 % определений.

Снижение повышенной α -радиоактивности (1–5 ПДК) достигается не только применением технологии реагентной обработки (3), но также путем обезжелезивания (1) и комплексной очистки (2). Использование мембранных методов (обратного осмоса) позволяет снизить значения общей α -радиоактивности

²⁸ О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области...

²⁹ Журба М. Г., Ж. М. Говорова Методология анализа эффективности действующих водоочистных комплексов.

примерно на 70%. Поэтому в районах Московской области, где в подземных водах имеют место повышенные значения общей α -радиоактивности в сочетании с высокими концентрациями (а) — Fe и (б) — Li, Sr, F, B, наиболее целесообразно применение технологий обезжелезивания (1) и комплексной очистки (2) соответственно.

Как следует из описания технологических решений по водоподготовке, все они сопровождаются образованием трудноутилизируемых отходов (обводненных шламов или концентрированных растворов). Их переработка с последующим вывозом является затратной и, как правило, нецелесообразна на объектах малой и средней производительности. Кроме того, сброс таких отходов в маломощные системы канализации может вызвать затруднения уже на стадии согласования таких решений.

Таким образом, учитывая специфику химического состава вод разных эксплуатируемых водоносных горизонтов на территории районов Московской области, для доведения качества до соответствующего нормативным требованиям в отсутствие смешения возможно применение всего двух технологий очистки, а именно обезжелезивания (1) и комплексной очистки (2). В связи с этим всегда следует рассматривать возможность применения технологий типа 4.1 и 4.2 (см. табл. 4): разбавление чистой водой другого горизонта или ближайшей существующей системы водоснабжения — в данном случае системы МГУП «Мосводоканал».

Охрана подземных вод

В последние десятилетия подземные воды начинают играть все более возрастающую роль и в тех районах, где ранее водоснабжение основывалось на использовании поверхностных вод. Связано это с двумя основными обстоятельствами. Первое — загрязнение поверхностных вод сточными водами, количество которых непрерывно увеличивается с ростом промышленности и благоустройством населенных пунктов. Многие реки в развитых в промышленном отношении странах загрязнены настолько, что в некоторых случаях уже не могут служить источником водоснабжения. Вторым обстоятельством, определяющим преимущественный по сравнению с поверхностными водозаборами рост значения подземных источников водоснабжения, является значительно лучшая их защищенность от любого вида загрязнений.

Совершенно очевидно, что столь важная роль подземных вод в жизни человечества определяет необходимость их надежной охраны, в первую очередь охраны от загрязнения. Почти до конца XIX столетия этой проблеме не уделялось должного внимания. Значительные количества подземных вод получались часто из самоизливающихся скважин, в районе которых хорошая естественная защищенность подземных вод определяла весьма редкое их загрязнение. Слабое развитие микробиологии и бактериологии еще не позволяло анализировать качество подземных вод и связывать эпидемии желудочно-кишечных заболеваний с бактериальным загрязнением этих вод. Сточные воды слаборазвитой

в это время промышленности не создали еще серьезной угрозы химического загрязнения подземных вод.

Лишь в самом конце XIX в. и в начале XX столетия в связи с возросшим использованием подземных вод для целей водоснабжения впервые были поставлены вопросы охраны их качества. Однако вплоть до революции 1917 г. для охраны подземных вод от загрязнения практически почти ничего не предпринималось. Весьма незначительными были мероприятия по борьбе с загрязнением подземных вод и в первые годы советского периода, примерно до 1924–1927 гг. они сводились в основном к выработке мероприятий по определению конструкции отдельных водозаборных скважин и по санитарному режиму на ограниченной территории, прилегающей к этой скважине. Основой для этих рекомендаций служил анализ гидрогеологических условий района работы скважины.

Начавшаяся индустриализация страны, строительство крупных промышленных предприятий определили новый подход к охране подземных вод от загрязнения. Появление крупных водозаборов подземных вод для обеспечения этих предприятий и населенных пунктов водой хозяйственно-питьевого назначения, связанное с этим вовлечение значительных территорий в зону влияния водозаборов настоятельно требовали установления определенного санитарного режима уже на больших территориях. До 1930–1940 гг. задачи охраны подземных вод сводились к предупреждению бактериального загрязнения.

Бурное развитие промышленности, в первую очередь химической, в послевоенные годы (особенно с начала 1950-х гг.), увеличение количества поступающих на дневную поверхность и в водоемы сточных вод, загрязненных стойкими химическими соединениями, привело к появлению многочисленных случаев серьезного химического загрязнения подземных вод. Число случаев загрязнения подземных вод росло с угрожающей быстротой как в нашей стране, так и за рубежом — в Европе и Америке. Возникла настоятельная необходимость в проведении мероприятий по предупреждению загрязнения и по ликвидации уже обнаруженных в подземных водах очагов загрязнения — участков распространения загрязненных вод³⁰.

В настоящее время охрана подземных вод на территории Российской Федерации регламентируется государственными нормативными правовыми и методическими документами³¹.

³⁰ Минкин Е. Л. 1) Гидрогеологические расчеты для выделения зон санитарной охраны водозаборов подземных вод. — М. : Недра, 1967; 2) Исследования и прогнозные расчеты для охраны подземных вод. — М. : Недра, 1972.

³¹ Закон РФ «Водный кодекс Российской Федерации»; Закон РФ «О недрах»; Закон РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»; Об утверждении Порядка ведения собственниками водных объектов и водопользователями учета объема забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов и объема сброса сточных вод и (или) дренажных вод, их качества : Приказ Минприроды России от 08.07.2009 г. № 205; Об утверждении требований к структуре и оформлению проектной документации на разработку месторождений подземных вод : Приказ Минприроды России от 27.10.2010 г. № 463; Положение об осуществлении государственного санитарно-эпидемиологического

По результатам буровых и опытно-фильтрационных работ разрабатывается **Проект зоны санитарной охраны (ЗСО)** в составе трех поясов в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения» (зарегистрирован в Минюсте РФ 24.04.2002 г. № 3399).

По проекту ЗСО «Недропользователь» получает Экспертное заключение ФБУЗ «Гигиены и эпидемиологии...», а также Санитарно-эпидемиологическое заключение Территориального отдела Управления федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Московской области (ТОУ «Роспотребнадзор»).

«Недропользователь» обязан разработать рабочую программу контроля качества в соответствии с Федеральным законом «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», п. 4 СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования...» и п. 3 МУ 2.1.4.682-97 «Методические указания по внедрению и применению санитарных правил и норм...». Разработанная **рабочая программа контроля качества** согласовывается с органами Роспотребнадзора и утверждается сроком на пять лет. По результатам лабораторных исследований воды и утвержденной программы контроля качества «Недропользователь» получает Санитарно-эпидемиологическое заключение ТОУ «Роспотребнадзор» «О соответствии водного объекта санитарным правилам и условиям безопасного для здоровья населения использования водного объекта».

Для предотвращения загрязнения подземных вод с поверхности необходимо строгое соблюдение режима хозяйственной деятельности в пределах зон санитарной охраны недропользователями и действующего законодательства в области охраны подземных вод от загрязнения. Для оперативной оценки состояния недр по режиму, качеству и загрязнению подземных вод необходимо ведение постоянного локального (объектного) мониторинга подземных вод недропользователями и представление данных в систему ГМСН.

Роль подземных вод в хозяйственно-питьевом и техническом водоснабжении

Из всех видов полезных ископаемых пресные подземные воды являются наиболее ценными и играют существенную роль в развитии многих отраслей

надзора в Российской Федерации, утвержденное Постановлением Правительства РФ от 15 сентября 2005 г. № 569; СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий»; СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения» (зарегистрирован в Минюсте РФ 24.04.2002 г. № 3399); СП 31.13330.2021 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» СНИП 2.04.02-84* «Свод правил от 27.12.2021 № 31.13330.2021». Применяется с 28.01.2022 г. взамен СП31.13330.2012.

народного хозяйства. В структуре общего потребления водных ресурсов в нашей стране на долю подземных вод приходится около 13%, остальные 87% — на поверхностные воды. Однако по отдельным областям удельный вес подземных вод в общем водопотреблении очень высок. Артезианские воды имеют огромное значение в народном хозяйстве. Пресные воды используются для водоснабжения городов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий и других объектов, минеральные, в зависимости от их состава, могут иметь лечебное значение или использоваться в химической промышленности для извлечения из них компонентов (поваренной соли, бора, йода, брома, лития, калия, вольфрама и др.), термальные воды имеют лечебное и энергетическое значение.

Роль подземных вод в водоснабжении во многих странах мира существенно возрастает. Это связано с рядом преимуществ подземных вод по сравнению с поверхностными, прежде всего их лучшей защищенностью от загрязнения, меньшей подверженностью существенным многолетним сезонным колебаниям, связанным с климатом и водностью отдельных лет. Подземные воды относятся к стратегическому виду водных ресурсов, т. к. по существу остаются единственным надежным источником питьевого водоснабжения населения на период чрезвычайных природных и техногенных ситуаций, а от их наличия и возможности эффективного использования в этих случаях существенно зависит национальная безопасность страны. Значение подземных вод как наиболее защищенных от загрязнения источников питьевого водоснабжения особенно возросло в последние годы в связи с участвовавшими техногенными катастрофами и террористическими актами.

Наличие для каждого населенного пункта надежно защищенного источника питьевого водоснабжения, который может быть использован в чрезвычайных ситуациях, в том числе в критические маловодные периоды, имеет важнейшее значение. Когда возникал дефицит поверхностных источников водоснабжения в связи с маловодьем (Владивосток, Курган и др.), загрязнением поверхностных вод (Чернобыльская катастрофа, Уфимский разлив фенолов, прорыв Стебниковского накопителя рапы калийных солей на р. Днестр, Орловский выброс фекалий и т. д.), всегда возникал вопрос о полном или частичном покрытии возникающего дефицита за счет подземных вод. Надежно защищенные от антропогенного и техногенного загрязнения подземные воды должны рассматриваться как приоритетный источник хозяйственно-питьевого водоснабжения населения; они обладают возможностью годового и многолетнего регулирования водоотбора за счет большой емкости водовмещающих пород.

Водным кодексом Российской Федерации предусмотрено создание резервных источников водоснабжения на базе защищенных от загрязнения месторождений подземных вод. Установлено, что системы хозяйственно-питьевого водоснабжения средних и крупных городов должны базироваться не менее чем на двух независимых источниках. Доля подземных источников в системах централизованного водоснабжения крупных населенных пунктов должна составлять не менее 25–30%. Минимальная гигиеническая норма в период чрезвычайных ситуаций — не менее 30 л/сут на человека. Сейчас доля подземных

вод в системах водоснабжения городов России крайне недостаточна и резко уменьшается с увеличением крупности города. Создание резервных защищенных источников водоснабжения является важнейшей государственной стратегической задачей. Для этих целей могут использоваться и некондиционные подземные воды, требующие специальной водоподготовки. Бурное развитие и совершенствование систем водоподготовки, также с применением обратного осмоса, в последние десятилетия поставили на повестку дня вопрос о расширении использования некондиционных для питьевых целей подземных вод, в том числе грунтовых, в районах, где пресные питьевые воды отсутствуют.

Требования к источникам питьевого водоснабжения за счет подземных вод

1. Наличие подземных вод, эксплуатационные запасы которых позволяют полностью или частично удовлетворить потребности населения в воде питьевого качества; степень изученности этих запасов, определяющая возможность эксплуатации подземных вод или необходимость их дальнейшего изучения.
2. Качество подземных вод в естественных условиях и в процессе эксплуатации, определяющее возможность их использования для питьевого водоснабжения населения непосредственно или после применения тех или иных промышленных методов (технологий) водоподготовки.
3. Естественная защищенность подземных вод от поверхностного антропогенного загрязнения, возможность и условия создания зоны санитарной охраны водозаборных сооружений.
4. Геолого-экономическая и технологическая изученность и обоснованность строительства и эксплуатации водозаборных сооружений.
5. Допустимая степень воздействия эксплуатации на основные компоненты окружающей природной среды или возможность снижения негативных последствий эксплуатации.

Государственное регулирование недропользования

Решение вопросов рационального использования и охраны подземных вод от загрязнения и истощения регламентируется системой государственного учета и ведения баланса подземных вод, порядком лицензирования участков недр (подземных водных объектов) для хозяйственного освоения, а также системой государственного мониторинга состояния недр.

В результате взаимодействия структур управления недрами, учета водных ресурсов и контроля за их использованием выявлен существенный дисбаланс между общим количеством и состоянием эксплуатационных запасов, реальной возможностью их рационального использования и фактическим освоением ресурсной базы подземных вод. Наиболее распространенными общими причинами недостаточной освоенности эксплуатационных запасов являются: изменение юридического статуса земельного участка месторождения или

режима землепользования; застройка площадей разведанных месторождений, исключающая возможность строительства водозабора и организации зон санитарной охраны; изменение водохозяйственной, санитарной и экологической обстановки; изменение законодательной базы недропользования и требований действующих нормативных документов к качеству подземных вод и зонам санитарной охраны; экономическая нецелесообразность освоения месторождений.

Постоянно растущее население городских агломераций, усложняющаяся инфраструктура обеспечения жизнедеятельности, риск возникновения опасных техногенных ситуаций делают необходимым организацию резервных источников водоснабжения городов и населенных пунктов в периоды чрезвычайных экологических ситуаций с использованием для этой цели артезианских скважин.

ЦИКЛЫ РАЗВИТИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Гидрогеология, как и многие другие научные и прикладные дисциплины, возникла и развивалась из необходимости удовлетворения многочисленных запросов народного хозяйства, в том числе такой наиважнейшей отрасли, как **водоснабжение**. С развитием отрасли закономерно изменялись применяемые технологии поисков и разведки, добычи и использования, охраны подземных вод. Историю развития гидрогеологии как науки и, соответственно, водоснабжения за счет подземных вод можно условно разделить на четыре технологических цикла, соответствующих периодам социально-экономического и политического развития страны и общества.

Циклы и периоды изучения подземных вод: 1) накопление опыта использования подземных вод (до конца XVII в.); 2) первые научные обобщения сведений о подземных водах (XVIII — начало XIX в.); 3) формирование основополагающих научно, практически и технически обоснованных представлений о подземных водах (вторая половина XIX — первая половина XX в.); 4) развитие технологичных и высокотехнологичных методов изучения и использования подземных вод (вторая половина XX — начало XXI в.). Краткая характеристика циклов приведена в таблице 5.

Первый технологический цикл — накопление опыта добычи и использования подземных вод

С давних времен люди использовали подземные воды. При выборе места постройки монастырей, городов проводили разведку на воду: определяли ее прозрачность, вкус, цвет, запах; умели по небольшому числу местных примет выбирать участки для заложения колодцев, разведывали подземные воды, часто отдавая им предпочтение перед поверхностными. Особенно важно это было во времена войн и продолжительных осад городов, когда доступ к поверхностной воде нередко становился затруднительным.

Колодцы рыли вручную, глубина их различна, в основном от 1,5 до 10,0 м, но были и глубокие, достигавшие 50–75 м. Из глубоких колодцев подъем воды осуществлялся желонками при помощи шестов-журавлей, для чего использовались ведра и бадьи. Но были и фонтанирующие, и самоизливные колодцы.

При устройстве соляных промыслов на Руси применялось бурение на воду. Первые упоминания об этом относятся к 1370 г. Существовала рукопись XVI — начала XVII в., в которой излагалось подробное руководство по бурению при солеварении. В это время у людей, работавших на промыслах, уже были правильные представления о влиянии работы одной скважины на дебит другой. Для этого на промыслах ограничивали откачку рассола, чтобы его не испортить из-за притока пресной воды.

Скважины и колодцы располагались в основном в монастырях, у соляных промыслов; использование подземных вод осуществлялось для собственного локального водоснабжения, добычи соли и минеральных (лечебных) вод.

В связи с ростом жителей, строительством городов, развитием ремесел, земледелия и животноводства увеличивалась потребность в питьевой воде. Использованная вода вместе с нечистотами отводилась на поля, в выгребные ямы или в источники.

Второй технологический цикл — первые научные обобщения сведений о подземных водах

В начале XVIII в. в Европе произошли промышленные революции, что повлекло за собой бурное развитие торговли, транспорта. В конце XVII — начале XVIII в. были созданы первые паровые двигатели, началось развитие промышленности, строились города и поселения. Насупившая индустриальная эра потребовала дополнительных источников воды и энергии, а значит, и новых геологических знаний. Большое значение в изучении подземных вод различных районов России имели экспедиции Российской академии наук, учрежденной в 1724 г.: собирались данные о пресных и минеральных подземных водах, делались описания источников, зародились идеи о связи химического состава грунтовых вод с физико-географическими условиями, появились представления об условиях залегания грунтовых и артезианских вод, понятие артезианских бассейнов, предпринимались попытки классификации подземных вод. Для целей водоснабжения городов и поселений начато бурение скважин до глубины 60–70 м, в результате которого были получены новые данные по геологии и глубоким подземным водам европейской части России.

Бурение скважин производилось при помощи составных буров и буровой вышки с использованием ручного труда при помощи колеса. Способы и объемы добычи подземных вод уже не удовлетворяли потребности промышленности и населения. Требовалось увеличение потребления подземной воды для локального и начального централизованного водоснабжения в городах, на кустарных и промышленных производствах — мануфактурах, железоделательных заводах, в горной промышленности и др.

Таблица 5. Характеристика технологических циклов развития водоснабжения за счет подземных вод

| Период | Цикл | Характеристика технологий поисков и разведки подземных вод | Социально-экономические и политические причины, вызвавшие переход на новый цикл развития |
|------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| III в. до н.э. – конец XVII в. | Первый | Умение по небольшому числу местных примет выбирать участки неглубокого залегания грунтовых вод для заложения колодцев, а позднее – кяризов и буровых скважин | Увеличение потребности в питьевой воде в связи с расширением поселений и ростом числа жителей, в том числе для развития земледелия, (орошения) и животноводства |
| XVIII – начало XIX в. | Второй | Создание Российской академии наук (1724 г.); сбор данных о пресных и минеральных подземных водах, описание источников, представления об условиях залегания грунтовых и артезианских вод, понятие артезианских бассейнов | Развитие первой промышленности, появление паровых машин, строительство городов; увеличение потребления подземной воды за счет использования ее для локального и начального централизованного водоснабжения в городах, на кустарных и промышленных производствах – мануфактурах, железодельных заводах, в горной промышленности и др. |
| Вторая половина XIX – начало XX в. | Третий | Создание Геологического комитета (1882 г.); закон Дарси (1856 г.); Таблица Менделеева (1869 г.); начало широких гидрогеологических исследований; развитие региональной гидрогеологии; первые широкие обобщения по артезианским и грунтовым водам европейской части России; начало составления сводных гидрогеологических карт для дальнейшего планирования гидрогеологических исследований; начало оценки ресурсов и запасов подземных вод для целей водоснабжения; создание методов, технических средств и технологий, обеспечивающих рост результативности геологоразведочных работ | Зарождение промышленного капитализма и отмена крепостного права; развитие новых территорий, рост населения, бурное развитие торговли, транспорта, крупного производства, промышленности и увеличение площадей орошаемых земель; способы и объемы добычи подземных вод уже не удовлетворяли потребности промышленности и населения |
| Середина XX – XXI в. | Четвертый | Широкие гидрогеологические исследования на научной основе; государственная гидрогеологическая съемка всей территории страны; совершенствование методик гидрогеологических исследований и широкое внедрение методов гидрогеологического моделирования, гидрогеохимических, геофизических, микробиологических, дистанционных (аэровизуальных) и других; прогнозирование истощения и загрязнения подземных вод, используемых для водоснабжения; тотальная оценка и переоценка запасов подземных вод; разработка новых и совершенствование существующих методов оценки ресурсов и запасов, загрязнения подземных вод; разработка методик выбора способов и методов предварительной водоподготовки | Плановая экономика, переход от политики неукротимого роста объема к рациональному пользованию; недостаток чистой пресной воды в крупных городах и промышленных агломерациях за счет загрязнения поверхностных вод, используемых ранее для централизованного водоснабжения; бурный рост городских агломераций с увеличением потребления воды на душу населения; интенсивное развитие гражданского и промышленного строительства, сельского хозяйства – земледелия и животноводства |

| Характеристика технологий добычи подземных вод и их использования | Характеристика наблюдений за подземными водами и их охрана |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Рытье колодцев, устройство галерей, единичное бурение скважин; добыча воды из колодцев вручную при неглубоком залегании, самоизливом или самотеком; основное месторасположение — в монастырях, у соляных промыслов; использование подземных вод для собственного локального водоснабжения, добычи соли и минеральных (лечебных) вод</p> | <p>Регулярные наблюдения и охрана подземных вод не предусматривались</p> |
| <p>Начало бурения скважин на глубину до 60–70 м при помощи составных буров и буровой вышки с использованием ручного труда при помощи колеса; зарождение ударного и штангового бурения; добыча воды из колодцев и скважин при помощи ручной и конной тяги; использование подземных вод для начального централизованного водоснабжения городов, промышленного производства</p> | <p>Отдельные визуальные наблюдения за уровнем и органолептическими свойствами подземных вод в колодцах и скважинах; некоторые ограничения сбросов и стоков в водоемы и водотоки в городах</p> |
| <p>Использование вращательного бурения скважин, добыча из которых вначале велась при помощи ручных насосов; постепенный переход на механизированную добычу при помощи паровых двигателей и компрессоров; использование обсадных труб; строительство поисково-разведочных скважин; совершенствование техники бурения скважин на воду; использование подземной воды для централизованного водоснабжения городов и больших поселений, промышленных предприятий и для децентрализованного питьевого и технического водоснабжения отдельных поселений и предприятий</p> | <p>Начало организации стационарных гидрогеологических наблюдений за уровнем и составом подземных вод в эксплуатационных скважинах; начало организации гидрорежимных участков и станций, бурение наблюдательных гидрогеологических скважин; разработка методик зон санитарной охраны водозаборов подземных вод; ограничения сбросов и стоков в водоемы и водотоки, вблизи водозаборных скважин в городах</p> |
| <p>Развитие бурового дела, бурение глубоких и сверхглубоких скважин, скважин большого диаметра, совершенствование техники бурения скважин на воду; усовершенствование конструкций гидрогеологических скважин; совершенствование методов, технических средств и технологий, обеспечивающих качественный рост результативности геологоразведочных работ и эффективное строительство поисково-разведочных и эксплуатационных скважин; оборудование скважин современными водоподъемными и измерительными устройствами; оборудование устройствами предварительной водоподготовки перед подачей водопотребителю; широкое использование подземной воды для централизованного водоснабжения городских агломераций, крупных промышленных предприятий, там, где существует недостаток поверхностных вод; резервное водоснабжение на случай чрезвычайных ситуаций</p> | <p>Ведение государственного мониторинга состояния недр и локального мониторинга на водозаборах; организация зон санитарной охраны водозаборов подземных вод; лицензирование скважин; ужесточение санитарных и природоохранных требований к качеству питьевой воды и стоков; переход на дистанционные методы наблюдений за подземными водами</p> |

Таблица 6. Основные этапы циклов развития водоснабжения за счет подземных вод

| Период | Цикл | Научно-технический этап |
|------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| III в. до н. э. – конец XVII в. | Первый | Умение выбирать участки неглубокого залегания грунтовых вод для заложения колодцев, а позднее – кяризов и буровых скважин |
| XVIII в. – начало XIX в. | Второй | Создание Российской академии наук (1724 г.), сбор данных о подземных водах до глубины 60–70 м, представления об условиях залегания грунтовых и артезианских вод, понятие артезианских бассейнов |
| Вторая половина XIX – начало XX в. | Третий | Создание Геолкома (1882 г.), закон Дарси (1856), Периодическая система Менделеева (1869), начало широких гидрогеологических исследований, составление сводных карт для планирования гидрогеологических работ, начало оценки ресурсов и запасов подземных вод для целей водоснабжения. Создание методов, технических средств и технологий, обеспечивающих рост результативности геологоразведочных работ |
| Середина XX – XXI в. | Четвертый | Государственная геолого-гидрогеологическая съемка всей территории страны, совершенствование методик гидрогеологических исследований и широкого внедрения комплексных методов моделирования, гидрогеохимических, геофизических, микробиологических, дистанционных и других для прогнозирования истощения и загрязнения подземных вод, используемых для водоснабжения; разработка новых и совершенствование существующих методов оценки ресурсов и запасов, подземных вод, тотальная оценка и переоценка запасов подземных вод; разработка методик выбора способов и методов предварительной водоподготовки |

| Технико-экономический этап | Экономико-социальный этап | Социально-регуляторный этап |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Рытье колодцев вручную, устройство галерей, единичное бурение скважин; добыча воды из колодцев вручную при неглубоком залегании</p> | <p>Увеличение потребности питьевой воды в связи с расширением поселений и ростом числа жителей, в том числе для развития земледелия, (орошения) и животноводства</p> | <p>Объемы добычи подземных вод уже не удовлетворяли потребности населения и развивающегося хозяйства</p> |
| <p>Начало бурения скважин на глубину до 60–70 м при помощи составных буров и буровой вышки с использованием ручного труда при помощи колеса. Зарождение ударного и штангового бурения; добыча воды из колодцев и скважин при помощи ручной и конной тяги</p> | <p>Развитие торговли, транспорта и крупного производства; развитие первой промышленности, строительство городов</p> | <p>Объемы и способы добычи подземных вод уже не удовлетворяли потребности населения и развивающейся промышленности</p> |
| <p>Использование вращательного бурения скважин, добыча из которых вначале велась при помощи ручных насосов.</p> <p>Постепенный переход на механизированную добычу при помощи паровых двигателей и компрессоров. Совершенствование техники бурения скважин на воду</p> | <p>Зарождение промышленного капитализма и отмена крепостного права; развитие новых территорий, рост населения, бурное развитие торговли, транспорта, крупного производства, промышленности и увеличение площадей орошаемых земель</p> | <p>Объемы, способы и места добычи подземных вод уже не удовлетворяли потребности населения, развивающейся промышленности и сельского хозяйства</p> |
| <p>Развитие бурового дела, бурение глубоких и сверхглубоких скважин, совершенствование техники бурения скважин на воду; усовершенствование конструкций гидрогеологических скважин; оборудование скважин современными водоподъемными и измерительными устройствами; применение новых композитных материалов; оборудование устройствами предварительной водоподготовки перед подачей водопотребителю</p> | <p>Плановая экономика, переход от политики неукротимого роста объема к рациональному пользованию.</p> <p>Бурный рост городских агломераций с увеличением потребления воды на душу населения; бурное развитие гражданского и промышленного строительства, сельского хозяйства – земледелия и животноводства.</p> <p>Ужесточение природоохранного законодательства, отказ от неэкологических технологий. Лицензирование скважин</p> | <p>Недостаток чистой пресной воды за счет загрязнения поверхностных вод, используемых ранее для централизованного водоснабжения в крупных городах и промышленных центрах; сработка запасов подземных вод на крупных водозаборах, эксплуатирующихся более 25 лет.</p> <p>Ужесточение санитарных и природоохранных требований к качеству питьевой воды и стоков.</p> <p>Переход на дистанционные методы наблюдений за подземными водами</p> |

За уровнем и органолептическими свойствами подземных вод в колодцах и скважинах велись только отдельные визуальные наблюдения.

Начались некоторые ограничения сбросов и стоков в водоемы и реки в городах — Петровский указ 1719 г. о том, чтобы не засоряли реки нечистотами; распоряжения: о поддержании чистоты на улицах и чистке навоза со дворов (1737 г.), о запрете засорять дно рек и каналов сплавляемым по ним лесом с неочищенной корой (1750 г.).

Третий технологический цикл — формирование научно, практически и технически обоснованных представлений о подземных водах

Вторая половина XIX — начало XX в. ознаменованы зарождением промышленного капитализма и отменой крепостного права в России, что повлекло за собой развитие новых территорий, бурное развитие торговли, транспорта, крупного производства, промышленности, расширение орошаемых площадей. В связи с этим возникает необходимость более широкого использования подземных вод. Возрастающая потребность получения больших количеств высококачественной воды способствует совершенствованию техники бурения скважин на воду, научно обоснованных методов поисков и разведки подземных вод. На дальнейшее развитие геологической науки и становление гидрогеологии значительное влияние оказали: создание в 1882 г. Геологического комитета; в 1856 г. — открытие закона Дарси, основного закона фильтрации в пористом грунте, являющегося базовым в подземной гидродинамике; в 1869 г. — закона о Периодической системе элементов Менделеева, основополагающего для правильного понимания химии всех водных растворов Земли и базового для геохимии в целом и гидрогеохимии в частности.

Ко второй половине XIX в. сформировались представления о происхождении, составе и распространении подземных вод в верхней части земной коры; сформулированы первые законы; заложены основы изучения региональных закономерностей; появились первые классификации подземных вод, первые гидрогеологические карты. Стали применять вращательное бурение скважин, добыча из которых вначале велась при помощи ручных насосов. Происходит постепенный переход на механизированную добычу при помощи паровых двигателей и компрессоров. Используются обсадные трубы.

В первой половине XX в. начинаются широкие гидрогеологические исследования, развивается региональная гидрогеология, делаются первые широкие обобщения по артезианским и грунтовым водам европейской части России, составляются сводные гидрогеологические карты для дальнейшего планирования гидрогеологических исследований, в том числе для целей водоснабжения. Совершенствуется техника бурения скважин на воду; широко используется подземная вода для централизованного водоснабжения городов и больших поселений, промышленных предприятий и для децентрализованного питьевого и технического водоснабжения отдельных поселений и предприятий.

Способы, объемы и места добычи подземных вод уже не удовлетворяли потребности развивающейся промышленности и растущего населения.

Организируются стационарные гидрогеологические наблюдения за уровнем и составом подземных вод в эксплуатационных скважинах; строятся гидро-режимные участки и станции, бурятся наблюдательные гидрогеологические скважины. Разрабатываются методики организации зон санитарной охраны водозаборов подземных вод. Ограничиваются сбросы и стоки вблизи водозаборных скважин в городах.

Четвертый технологический цикл – развитие технологических и высокотехнологических методов изучения и использования подземных вод

В послевоенные годы плановая экономика страны была направлена на рост объема производства, освоение целинных и залежных земель, повышение благосостояния народонаселения. Продолжились и расширились гидрогеологические исследования на научной основе; государственной гидрогеологической съемкой ежегодно покрывалось более 550 тыс. км² площади; для целей изучения подземных вод бурится свыше 1,5 млн скважин, не считая многочисленных скважин, сооружаемых для мелкого водоснабжения. Для глубокого научного анализа и широкого обобщения материалов по подземным водам опубликовано 45 томов «Гидрогеологии СССР» и 5 сводных томов. В связи с ростом научно-технического прогресса постоянно совершенствуются методики гидрогеологических исследований по поискам и разведке месторождений подземных вод, оценке эксплуатационных запасов и прогнозных региональных ресурсов; способы восполнения, охраны и рационального использования подземных вод; методы прогнозирования гидрогеодинамического и гидрогеохимического состояния подземных вод, связанного с нарастающей эксплуатацией; происходит совершенствование и широкое внедрение методов гидрогеологического моделирования, гидрогеохимических, геофизических, микробиологических, дистанционных (аэровизуальных) и др.; ведется тотальная оценка запасов подземных вод, в том числе и для перспективного водоснабжения планируемого роста населения и развития народного хозяйства. Плановмерно происходит развитие бурового дела, бурение глубоких и сверхглубоких скважин, скважин большого диаметра. Совершенствуется техника бурения скважин на воду; усовершенствуются конструкции гидрогеологических скважин (фильтров, обсадных и водоподъемных труб, оголовков и др.); применяются новые композитные материалы; скважины оснащаются современными водоподъемными и измерительными устройствами.

Из-за неудержимого роста городских агломераций, бурного развития гражданского и промышленного строительства, роста водопотребления на душу населения стал ощущаться недостаток чистой пресной воды и за счет загрязнения поверхностных вод, используемых ранее для централизованного водоснабжения в крупных городах и промышленных центрах, и за счет сработки уровней первых от поверхности эксплуатируемых водоносных горизонтов. Для решения

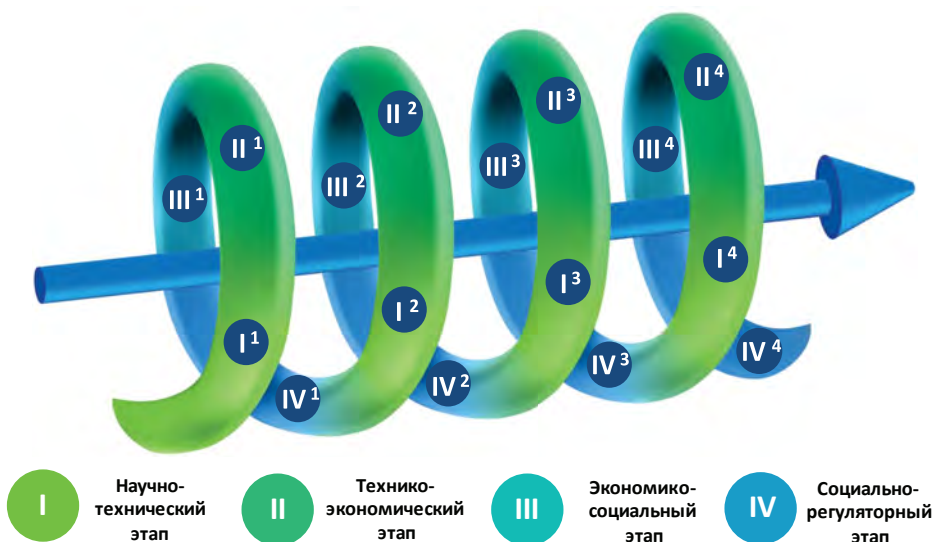
этой проблемы применяется системный подход к изучению, использованию и охране природных ресурсов: разрабатываются и внедряются методы рационального использования вод централизованного водоснабжения, осуществляется переоценка запасов подземных вод, внедряются новые методы эксплуатации подземных вод (например, одновременно из разных водоносных подразделений), методы совместного использования подземных и поверхностных вод, новые методы и методики водоподготовки. Важную роль на случай чрезвычайных ситуаций играет резервное водоснабжение за счет подземных вод.

Рациональное использование и охрана подземных вод контролируются ведением государственного мониторинга состояния недр и локального мониторинга на водозаборах, организацией зон санитарной охраны водозаборов подземных вод, ужесточением санитарных и природоохранных требований к качеству питьевой воды и стоков, лицензированием скважин.

Внедрение компьютерных технологий, применение новых композитных материалов, цифровизация, переход на дистанционные методы управления и наблюдений за подземными водами способствуют повышению эффективности дальнейших научных и технических разработок в области водоснабжения и сохранения водных ресурсов.

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗВИТИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Каждый цикл развития отрасли обусловлен определенным этапом развития техники и технологий, который дает новый толчок развитию технологий. Последовательное прохождение всех этапов приводит к завершению цикла развития отрасли, после чего цикл повторяется (рис. 26).



- I¹** – умение по небольшому числу местных примет выбирать участки для заложения колодцев, а позднее – кyarизов и буровых скважин
- II¹** – рытье колодцев вручную, устройство галерей, единичное бурение скважин
- III¹** – увеличение потребности в питьевой воде в связи с расширением поселений и ростом числа жителей, в том числе для развития земледелия и животноводства
- IV¹** – объемы добычи подземных вод уже не удовлетворяли потребности населения и развивающегося хозяйства
- I²** – создание Российской академии наук (1724 г.), сбор данных о подземных водах до глубины 60–70 м, представления об условиях залегания грунтовых и артезианских вод
- II²** – начало бурения скважин на глубину до 60–70 м при помощи составных буров и буровой вышки с использованием ручного труда при помощи колеса; зарождение ударного и штангового бурения
- III²** – развитие торговли, транспорта и крупного производства; развитие первой промышленности, строительство городов
- IV²** – способы и объемы добычи подземных вод уже не удовлетворяли потребности промышленности и населения
- I³** – создание Геологического комитета (1882 г.), закон Дарси (1856 г.), Периодическая система элементов Менделеева (1869 г.), начало широких гидрогеологических исследований, составление сводных карт для планирования гидрогеологических работ, начало оценки ресурсов и запасов подземных вод для целей водоснабжения; создание методов, технических средств и технологий, обеспечивающих рост результативности геологоразведочных работ
- II³** – использование вращательного бурения скважин; постепенный переход на механизированную добычу при помощи паровых двигателей и компрессоров; совершенствование техники бурения скважин на воду
- III³** – зарождение промышленного капитализма и отмена крепостного права; развитие новых территорий, рост населения, бурное развитие торговли, транспорта, крупного производства, промышленности и увеличение площадей орошаемых земель
- IV³** – объемы, способы и места добычи подземных вод уже не удовлетворяли потребности населения, развивающейся промышленности и сельского хозяйства
- I⁴** – государственная геолого-гидрогеологическая съемка всей территории страны, совершенствование методик гидрогеологических исследований и широкое внедрение комплексных методов для прогнозирования истощения и загрязнения подземных вод, используемых для водоснабжения; разработка новых и совершенствование существующих методов оценки ресурсов и запасов подземных вод, тотальная оценка и переоценка запасов подземных вод; разработка методик выбора способов и методов предварительной водоподготовки
- II⁴** – развитие бурового дела, бурение глубоких и сверхглубоких скважин, совершенствование техники бурения скважин на воду; усовершенствование конструкций гидрогеологических скважин, применение композитных материалов, оборудование скважин современными водоподъемными и измерительными устройствами; оснащение устройствами предварительной водоподготовки перед подачей водопотребителю
- III⁴** – плановая экономика, переход от политики неукротимого роста объема к рациональному пользованию; бурный рост городских агломераций с увеличением потребления воды на душу населения; бурное развитие гражданского и промышленного строительства, сельского хозяйства; ужесточение природоохранного законодательства, отказ от неэкологических технологий, лицензирование скважин
- IV⁴** – недостаток чистой пресной воды за счет загрязнения поверхностных вод, используемых ранее для централизованного водоснабжения в крупных городах и промышленных центрах; ужесточение санитарных и природоохранных требований к качеству питьевой воды и стоков; необходимость организации резервного водоснабжения на случай чрезвычайных ситуаций; переход на дистанционные методы наблюдений за подземными водами

Рис. 26. Эволюция технологий развития водоснабжения за счет подземных вод

Ресурсоэффективность в рамках исторического развития отраслей науки и производства рассматривается как важнейший фундаментальный концепт перехода технологического развития на новый уровень. При этом метод исследования сосредоточен на изучении реакции отрасли как целого на изменяющиеся условия, без подробного описания механизма работы и внутреннего устройства той или иной технологии, т. к. в рамках поставленной задачи это не является первостепенным объектом изучения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Биндеман Н. Н.* Оценка эксплуатационных запасов подземных вод / Н. Н. Биндеман. — Москва : Госгеолтехиздат, 1963. — 216 с.
2. *Бочеввер Ф. М.* Расчеты эксплуатационных запасов подземных вод / Ф. М. Бочеввер. — Москва : Недра, 1968. — 326 с.
3. *Гидрогеология СССР. Т. 1.* — Москва : Недра, 1966. — 424 с. : ил.
4. *Гусев С. Н.* Водоснабжение на базе артезианских скважин / С. Н. Гусев, К. А. Небольсина. — Москва : Колос, 1976. — 119 с.
5. *Журба М. Г.* Методология анализа эффективности действующих водоочистных комплексов / М. Г. Журба, Ж. М. Говорова // ВСТ. — 2009. — № 8. — С. 29–37.
6. *Журба М. Г.* Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : в 3 т. : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Водоснабжение и водоотведение» направления подготовки дипломированных специалистов «Строительство» / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова. — 3-е изд., доп. и перераб. — Т. 1. — Москва : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2003. — 288 с.
7. *Зекцер И. С.* Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод / И. С. Зекцер; Институт водных проблем РАН. — Москва : Научный мир, 2012. — 374 с.
8. Информационный бюллетень «О состоянии недр на территории Российской Федерации в 2021 году» / ФГБУ «Гидроспецгеология». — Москва, 2022. — Вып. 45. — 426 с.
9. Информационный бюллетень «О состоянии недр на территории Центрального федерального округа за 2021 год» / ФГБУ «Гидроспецгеология». — Москва, 2022. — Вып. 27. — 162 с.
10. *Каменский Г. Н.* Гидрогеология СССР / Г. Н. Каменский, М. М. Толстихина, Н. И. Толстихин. — Москва : Госгеолтехиздат, 1959. — 366 с.
11. *Киссин И. Г.* Вода под землей / И. Г. Киссин. — Москва : Наука, 1976. — 224 с.
12. *Климентов П. П.* Общая гидрогеология / П. П. Климентов. — Москва : Высш. шк., 1980. — 303 с.
13. *Климентов П. П.* Общая гидрогеология / П. П. Климентов, Г. Я. Богданов. — Москва : Недра, 1977. — 357 с.
14. *Ланге О. К.* Основы гидрогеологии / О. К. Ланге. — Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1958. — 255 с.
15. *Маккавеев А. А.* Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии / А. А. Маккавеев. — Москва : Недра, 1971. — 216 с.
16. *Минкин Е. Л.* Гидрогеологические расчеты для выделения зон санитарной охраны водозаборов подземных вод / Е. Л. Минкин. — Москва : Недра, 1967. — 124 с.

17. Минкин Е. Л. Исследования и прогнозные расчеты для охраны подземных вод / Е. Л. Минкин. — Москва : Недра, 1972. — 112 с.
18. Николадзе Г. И. Улучшение качества подземных вод / Г. И. Николадзе. — Москва, 1987. — 240 с.
19. Новиков Ю. В. Вода и жизнь на земле / Ю. В. Новиков, М. М. Сайфутдинов. — Москва : Наука, 1981. — 184 с.
20. О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области : Информационные выпуски за 2011–2015 гг. / Министерство экологии и природопользования Московской области. — Красногорск, Московская область. — 2012–2016.
21. Овчинников А. М. Общая гидрогеология / А. М. Овчинников. — Москва : Гостеолтехиздат, 1955. — 383 с.
22. Плотников Н. И. Подземные воды — наше богатство / Н. И. Плотников. — Москва : Недра, 1976. — 208 с.
23. Плотников Н. И. Эксплуатационная разведка подземных вод / Н. И. Плотников. — Москва : Недра, 1973. — 296 с.
24. Подземный сток на территории СССР / под ред. Б. И. Куделина. — Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1966. — 303 с.
25. Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения : метод. пособие. — Москва : Недра, 1969. — 328 с.
26. Советский энциклопедический словарь. — Москва: Сов. энциклопедия, 1987. — 1599 с.

Нормативная и методическая литература

27. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество : (ежегодное издание) / Гос. ком. СССР по гидрометеорологии. 2020 год. — Санкт-Петербург, 2021. — 156 с.
28. Закон РФ «Водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 № 74-ФЗ.
29. Закон РФ «О недрах» от 21.02.1992 № 2395-1.
30. Закон РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 № 52-ФЗ.
31. Классификация запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод / МПР РФ. — Москва, 2007.
32. Методические рекомендации по применению Классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных вод, утвержденной Приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 30 июля 2007 г. № 195.
33. Об утверждении Порядка ведения собственниками водных объектов и водопользователями учета объема забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов и объема сброса сточных вод и (или) дренажных вод, их качества : Приказ Минприроды России от 08.07.2009 г. № 205.
34. Об утверждении требований к структуре и оформлению проектной документации на разработку месторождений подземных вод : Приказ Минприроды России от 27.10.2010 г. № 463.
35. ОСТ 41-05-263-86 «Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре». — Москва : ВСЕГИНГЕО, 1986.
36. Положение об осуществлении государственного санитарно-эпидемиологического надзора в Российской Федерации, утвержденное Постановлением Правительства РФ от 15 сентября 2005 г. № 569.

37. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (зарегистрирован в Минюсте РФ 29.01.2021 г. № 62297).
38. СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения» (зарегистрирован в Минюсте РФ 24.04.2002 г. № 3399).
39. СП 31.13330.2021 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» СНиП 2.04.02-84* «Свод правил от 27.12.2021 № 31.13330.2021». Применяется с 28.01.2022 г. взамен СП31.13330.2012.