

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЧЕРЕПОВЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.И. Фоменко

**УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДНЫМИ РЕСУРСАМИ.
ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ**

Учебное пособие

Вологда
2011

УДК 556.48. 551. 49 (075.8)
ББК 65.28
Ф 76

Утверждено редакционно-издательской комиссией
инженерно-экономического института
Череповецкого государственного университета

Рецензенты:

А.И. Гнездилова, д-р техн. наук, профессор
Вологодской молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина;
Е.А. Лебедева, канд. техн. наук, доцент
Вологодского государственного технического университета

Фоменко, А.И.

Ф 76 **Управление природными ресурсами. Водные ресурсы:** учеб. пособие / А.И. Фоменко. – Вологда: ВоГТУ, 2011. – 120 с.

ISBN 978-5-87851-433-0

В пособии даны представления об особых физико-химических свойствах воды, рассмотрены вопросы ресурсов пресных вод и их использования, изложены основные понятия о факторах и процессах формирования химического состава природных вод, их классификации и методы оценки качества. Рассмотрены возможные последствия загрязнения природных вод. Даны основные сведения о роли подземных вод в общих водных ресурсах и водоснабжении для питьевых и хозяйственных целей. Особое внимание уделено состоянию и перспективам использования пресных подземных вод в регионе. Приведены данные, подтверждающие необходимость значительного повышения внимания к защите подземных водоисточников нецентрализованного водоснабжения от техногенного загрязнения.

Рекомендуется в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 280100 Природообустройство и водопользование и 280200 Защита окружающей среды.

Издание подготовлено в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы» (Государственный контракт № П793)

УДК 556.48. 551. 49 (075.8)
ББК 65.28

ISBN 978-5-87851-433-0

© Фоменко А.И., 2011
© Вологодский государственный
технический университет, 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Повышение экономической эффективности, технической и экологической безопасности на предприятиях-природопользователях становится неотъемлемым условием рационального управления изучением, воспроизводством, использованием и охраной природных ресурсов, защитой окружающей среды в современных условиях.

Настоящее учебное пособие посвящено изучению природных вод как одного из важнейших природных ресурсов и как компонента окружающей среды. Главная особенность природных вод, отличающая их от всех других природных ресурсов, – их возобновляемость в процессе общего круговорота воды. Являясь частью окружающей среды, природные воды находятся в сложных взаимозависимых отношениях с другими ее компонентами.

Самостоятельной, но не менее важной задачей является определение роли подземных вод в общих водных ресурсах и водном балансе отдельных регионов. Подземные воды меньше подвержены сезонным и многолетним колебаниям, более надежно защищены от загрязнения, что определило тенденцию к все большему использованию их в настоящее время для водоснабжения.

Теоретические обоснования и практические подходы к решению задач управления ресурсами и качеством природных вод достаточно полно описаны в научной литературе. Природные воды как компонент окружающей среды и как природный ресурс изучаются рядом дисциплин, из которых выделяются как чисто водные дисциплины (гидрология, гидравлика, гидрохимия, гидрофизика), так и дисциплины, не относящиеся непосредственно к воде, например, теория сооружений и другие инженерные дисциплины. Существует ряд комплексных пограничных дисциплин, изучающих проблемы, связанные со свойствами воды, режимом водных объектов и т.п.

При написании учебного пособия использованы фактические данные аналитических исследований состава грунтовых вод в источниках питьевого водоснабжения сельских поселений ряда районов Вологодской области, выполненных автором, студентами, обучающимися по направлению 280200 Защита окружающей среды, и сотрудниками кафедры промышленной экологии инженерно-экономического института Череповецкого государственного университета.

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 280200 Защита окружающей среды и 280100 Природообустройство и водопользование, и может быть использовано студентами других направлений, в учебной программе которых предусмотрено изучение основных понятий и вопросов в области рационального использования и охраны от загрязнения и истощения ресурсов природных пресных вод.

Преподавание дисциплины «Управление природными ресурсами» ведется на базе знаний, полученных студентами при изучении учебных дисциплин естественнонаучного и математического цикла (химии, биологии, физики, науки о Земле, высшей математики), общепрофессиональных и специальных дисциплин (токсикологии, химии окружающей среды, экологического мониторинга, промышленной экологии).

В учебном пособии по разделу «Водные ресурсы» дисциплины «Управление природными ресурсами» даны основные понятия и представления о современных методах рационального использования и охраны водных ресурсов, приоритетных направлениях развития водного хозяйства, гидрогеохимических исследований и их использования для решения теоретических и прикладных задач в области природопользования и развития хозяйственной деятельности.

Задача настоящего учебного пособия состоит в том, чтобы подготовить студентов к изучению специальных дисциплин с учетом представлений о причинно-следственных связях экономической эффективности и экологической безопасности природопользования, в частности, водных ресурсов.

Глава 1. ВОДА В ПРИРОДЕ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Основные понятия и определения

Природные воды являются важнейшей составной частью биосферы. Они обеспечивают массообмен химическими элементами между ее составными частями. Являясь средообразующим фактором и одновременно средой обитания всех организмов, вода выполняет важнейшие экологические функции. Все природные воды взаимосвязаны и образуют гидросферу (от *гр.* *hydor* вода + *sphaira* шар) – сплошную водную оболочку Земли, объединенную глобальным круговоротом вещества и энергии. Под влиянием солнечной радиации все воды гидросферы находятся в непрерывном круговороте (*син.* глобальный гидрологический цикл), в процессе которого осуществляется тесная связь природных вод с атмосферой, литосферой и биосферой.

Для выяснения той роли, которую вода играет в нашем природном окружении, важно знать ее химические и физические свойства в твердом, жидком и газообразном состоянии. В современных условиях научного познания природная вода представляет собой еще мало изученное вещество. В настоящее время не создано теорий, которые адекватно описывали бы жидкое состояние воды и ее свойства. Вода относится к веществам необычных свойств. Вода, являясь одним из самых распространенных в природе веществ, представляет собой уникальное состояние вещества – структурированную жидкость со значительным диапазоном энергетического и динамического спектра взаимодействующих молекулярных структур, обладающих информационной памятью на внешние воздействия (на изменение температуры, давления, pH, состава раствора и т.п.). Практически все физические свойства воды аномальны (приложение 1) [19].

Важнейшим аномальным свойством является существование воды в условиях поверхности Земли в трех агрегатных состояниях – твердом, жидком и газообразном. Эта особенность физико-химических свойств воды обусловлена необычайно высокими температурами плавления и кипения. Для вещества с такой небольшой молярной массой (18 г/моль) вода, в отличие от других гидридов р- элементов VIA группы Периодической системы, не газообразна при стандартных условиях, а является жидкостью:

гидриды	температура кипения,	
	°С	К
H ₂ O	100	373
H ₂ S	- 60	213
H ₂ Se	- 42	231
H ₂ Te	- 2	271

Из этих данных следует, что вода должна была бы кипеть как «обычное тело» примерно при -80°C , но как «вещество необычное» она кипит при $+100^{\circ}\text{C}$. Приблизительно одна треть всей энергии, которую Земля получает от Солнца, расходуется на испарение воды с поверхности океанов и других водных объектов; поэтому высокая теплота испарения воды играет важную роль в установлении условий жизни на нашей планете.

Аномальными являются зависимости объема и плотности воды от температуры. Все вещества при нагревании увеличивают свой объем и уменьшают плотность. Для воды зависимость объема и плотности от температуры не однозначна. В интервале от 0 до 4°C с возрастанием температуры объем воды не увеличивается, а, наоборот, уменьшается. Плавление льда при атмосферном давлении сопровождается уменьшением объема на 9% , при затвердевании в лед объем увеличивается на 9% . Плотность воды как функция температуры имеет максимум (1 г/см^3) при $+4^{\circ}\text{C}$. Эта аномалия воды очень важна в природе. Вследствие того, что плотность льда меньше плотности жидкой воды (при 0°C плотность льда $0,91680 \text{ г/см}^3$, плотность воды $0,99984 \text{ г/см}^3$), лед плавает на ее поверхности, предотвращая промерзание водоемов и водотоков до дна в зимний период. Основная водная масса водоемов и водотоков характеризуется изменениями температуры в зимний период в зависимости от глубины в интервале значений от 0 до $+4^{\circ}\text{C}$, что определяет положительный температурный режим водных систем и является необходимым условием для всех водных организмов.

Вода обладает высокой удельной теплоемкостью, при $+15^{\circ}\text{C}$ равной $4,1868 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$. Аномально большое увеличение удельной теплоемкости льда, которое при его плавлении при 0°C возрастает почти вдвое (с $2,0515 \cdot 10^3$ до $4,02245 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$). В интервале от 0°C до 100°C удельная теплоемкость воды почти не зависит от температуры (имеется минимум при $+35^{\circ}\text{C}$).

Аномальна зависимость сжимаемости и вязкости воды от температуры и давления. Наличие сил межмолекулярного взаимодействия создает очень большое внутреннее давление (около 20 тыс. атм), в силу чего при меньших давлениях вода оказывается практически несжимаемой, но при больших давлениях сжимаемость воды обнаруживается четко. Минимум изотермической сжимаемости ($44,9 \cdot 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$), наблюдаемый при 46°C , выражен довольно четко. Коэффициент вязкости воды при нормальном давлении ($1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$) и 20°C равен $1,01 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$. В отличие от других жидкостей вязкость воды при низких давлениях и температурах до 30°C с повышением давления уменьшается.

Вода обладает высоким поверхностным натяжением и поверхностным давлением, в силу чего капля воды стремится принять форму шара, а при соприкосновении с твердыми телами смачивать поверхность большинства из

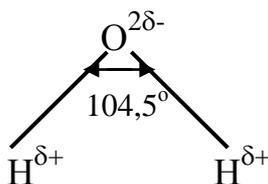
них. При смачивании тонким слоем за счет поверхностного натяжения вода может прочно удерживаться на поверхности твердых частиц, проявляя свойство адгезии (от *лат.* *adhaesio* притяжение, сцепление, прилипание). Поверхностное натяжение, смачивание и адгезия обуславливают способность воды подниматься в капиллярах вверх вопреки силам притяжения (гравитации), образуя вогнутую поверхность выше естественного уровня воды. Вогнутую поверхность натяжение стремится выровнять, за счет этого происходит движение воды. Вследствие этого почвенные воды, удерживаясь поверхностным натяжением в почве и верхних слоях подпочвенного грунта, не стекают в более глубокие горизонты, обеспечивая растения влагой. Количественной характеристикой такого свойства является *капиллярная постоянная*, которая равна произведению высоты подъема жидкости на радиус капилляра. Для чистой воды капиллярная постоянная линейно уменьшается с повышением температуры, а при достижении критической температуры становится равной нулю. Предельная высота капиллярного подъема воды при $+15^{\circ}\text{C}$ составляет в крупном песке около 2 м, в мелком песке 1,2 м, а в чистой глине 12 м [1].

Важнейшее свойство воды – ее высокая диэлектрическая проницаемость ϵ (безразмерная величина, показывающая во сколько раз сила взаимодействия противоположных электрических зарядов в воде меньше, чем в воздухе). Диэлектрическая проницаемость воды при 20°C $\epsilon = 81$ (это значит, что отделение ионов от кристаллов какой-либо соли в воде в 81 раз легче, чем в воздухе). С повышением температуры диэлектрическая проницаемость падает (диэлектрическая проницаемость льда при 0°C равна 91, жидкой воды при 18°C $\epsilon = 81,7$; при 25°C $\epsilon = 78,3$). Высокая диэлектрическая проницаемость указывает на то, что молекулы воды заметно поляризованы и обладают значительным дипольным моментом. Дипольный момент определяет электрическую симметрию молекулы и дает представление о соотношении ковалентной и ионной составляющих химической связи. Дипольный момент измеряется в дебаях (D) и для воды экспериментальное значение дипольного момента равно 1,87. Высокие диэлектрическая проницаемость и дипольный момент воды определяют ее хорошую растворяющую способность по отношению к полярным и ионогенным веществам. Кроме того, свойства многих веществ, в том числе кислот и оснований, очень сильно зависят от того, что растворителем для них является вода. Подавляющее большинство химических реакций протекает в водных растворах.

Все эти и другие аномальные свойства воды, как в жидком, так и в твердом состоянии, обуславливают жизненно важную роль воды в общей биологической системе. Аномально высокие значения удельной теплоемкости, теплоты испарения воды и теплоты плавления льда являются определяющим регу-

лятором климатических условий на земле, стабилизирующим температуру на ее поверхности.

Все аномальные свойства воды определяются особенностями структуры и прежде всего ее внутренним строением [19]. Молекула воды имеет угловое строение, что, согласно теории валентных связей, соответствует sp^3 -гибридному состоянию атома кислорода. Валентный угол молекулы воды составляет $104,5^\circ$. Большой дипольный момент молекулы воды обусловлен сосредоточением отрицательного заряда на кислородной стороне молекулы воды, а водородная сторона (два атома водорода) несет положительный заряд, что создает условия значительного притяжения молекул воды друг к другу:

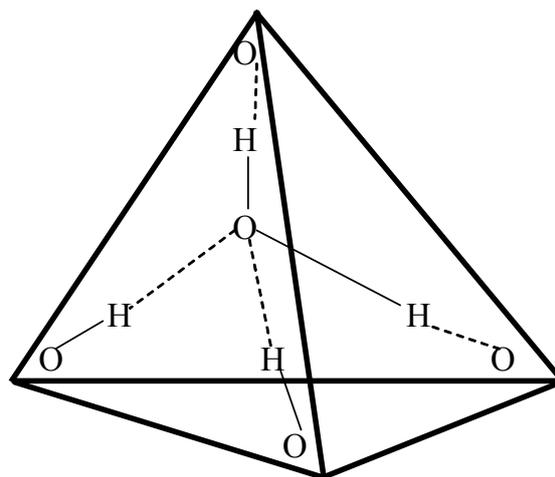


Это обуславливает высокие значения теплоты испарения жидкой воды ($\Delta H^\circ_{\text{исп}} = 40,63$ кДж/моль), затрачиваемой на разделение и отрыв молекул, и теплоты плавления льда ($\Delta H^\circ_{\text{пл}} = 5,99$ кДж/моль).

Кроме сил дипольного взаимодействия, молекулы воды связаны друг с другом еще и водородными связями, которые у воды выражены довольно значительно ввиду малого расстояния между молекулами. Длина водородной связи между молекулами воды равна $0,177$ нм (расстояние между атомами водорода в молекуле воды $0,154$ нм, между атомами кислорода и водорода $0,09569$ нм). Каждая молекула воды образует тетраэдрическую систему водородных связей. Это обусловлено тем, что в ее молекулярной структуре по тетраэдрическим направлениям локализована электронная плотность двух ковалентных связей О-Н и двух неподеленных электронных пар атома кислорода. При этом число атомов водорода, способных образовывать водородные связи за счет электроноакцепторных свойств, равно числу неподеленных электронных пар кислородного атома, определяющих электронодонорную активность молекулы воды в образовании водородных связей. При обычных условиях вода ассоциирована за счет водородных связей, образуя ассоциаты $(\text{H}_2\text{O})_x$ (при 20°C степень ассоциации x составляет ≈ 4). Вследствие этого температура плавления и температура кипения у воды аномальны и значительно выше, чем у водородных соединений других гидридов р- элементов VIA группы – H_2S , H_2Se и H_2Te .

Структура воды имеет сходство со структурой льда и тем больше, чем ее температура ближе к 0°C . Молекулы воды расположены в структуре льда тетраэдрически (рис. 1).

Тетраэдрическое строение молекул воды представляет собой рыхлое образование с координационным числом 4. Плотные упаковки отвечают более высокому координационному числу. Атомы кислорода в структуре льда расположены относительно друг друга правильными тетраэдрами (атом кислорода связан с другими атомами кислорода, расположенными в вершинах тетраэдра на расстоянии 0,276 нм от центрального атома кислорода). В таких тетраэдрических образованиях каждый атом кислорода одной молекулы воды связан двумя ковалентными связями с двумя атомами водорода этой молекулы и двумя водородными связями с двумя атомами водорода других молекул воды. При этом каждый атом водорода затрачивает на связь с кислородом только половину заряда. Тетраэдры, содержащие пять молекул воды, послойно связаны с другими аналогичными тетраэдрами общими углами, а с расположенным выше слоем – вершинами, образуя сравнительно пористую гексагональную структуру льда. Близость угла Н-О-Н к тетраэдрическому ($109,5^\circ$) обуславливает рыхлость структур льда и жидкой воды и, как следствие, аномальную зависимость плотности от температуры. Чем упорядоченнее укладка молекул воды, тем больше полостей в структуре и меньше плотность. Это имеет место для льда, особенно при низкой температуре. При нагревании водородные связи искривляются, что сопровождается отклонением углов между ними от тетраэдрических. Кристаллическая структура льда постепенно разрушается, и, наряду с частично сохранившимся каркасом, появляются неупорядоченные молекулы воды, которые могут заполнять временно образовавшиеся пустоты, что объясняет аномалию льда – его меньшую плотность по сравнению с водой в жидком состоянии. С другой стороны, при нагревании средняя длина водородных связей становится больше, в результате чего плотность уменьшается. Совместное действие двух факторов объясняет наличие максимума плотности воды при $+4^\circ\text{C}$.



*Рис. 1. Схема тетраэдрической координации молекулы воды:
сплошные линии – ковалентные связи;
пунктирные линии – водородные связи*

Правильная тетраэдрическая структура воды (с тетраэдрическим углом $109,5^\circ$) устойчива лишь при очень низких температурах (-183°C). Повышение температуры способствует разрушению структуры. Вблизи температуры плавления (0°C) разрушается около 15% всех водородных связей, при нагреве до 40°C разрушается примерно 50%, а при переходе в пар разрушаются все

(100%) водородные связи. Таким образом, в жидкой воде водородные связи сохраняются лишь частично, и тем их меньше, чем выше температура.

Способность молекул воды образовывать трехмерные сетки водородных связей позволяет ей давать с инертными газами, углеводородами, CO_2 , Cl_2 , $(\text{CH}_2)_2\text{O}$, CHCl_3 и многими другими веществами так называемые газовые гидраты. Это свойство воды играет большую роль в химических процессах, происходящих в различных системах, в том числе биологических. Растворимость малополярных веществ (в том числе газов, входящих в состав атмосферы) в воде низкая и при повышении температуры обычно сначала снижается, а затем проходит через минимум. С ростом давления растворимость газов возрастает, проходя при высоких давлениях через максимум.

1.2. Ресурсы пресных вод и их использование

Общие запасы воды на Земле достаточно велики ($1,5 \text{ млрд. км}^3$) и вполне могут обеспечить потребности человечества при условии их рационального использования. Кроме того, этот природный ресурс, без которого невозможна жизнь, непрерывно возобновляется (табл. 1). Однако к пресным водам из них относится менее 2 %, а к доступным для использования – не более 0,3 %.

Таблица 1

Запасы воды на поверхности земного шара [20]

Виды природных вод	Площадь		Объем, тыс. км ²	Доля в мировых запасах		Средний период условного возобновления запасов воды
	млн. км ²	% площади суши		от общих запасов воды	от запасов пресных вод	
<i>Вода на поверхности литосферы</i>						
Мировой океан	361	-	1338000	96,4	-	2650 лет
Ледники и постоянный снежный покров	16,3	11	25800	1,86	70,3	9700 лет
Озера, в том числе пресные	2,1	1,4	176	0,013	-	17 лет
	1,2	0,8	91	0,007	0,25	-
Водоохранилища	0,4	0,3	6	0,0004	0,016	52 дня
Вода в реках	-	-	2	0,0002	0,005	19 дней
Вода в болотах	2,7	1,8	11	0,0008	0,03	5 лет
<i>Вода в верхней части литосферы</i>						
Подземные воды, в том числе пресные	-	-	23400	1,68	-	1400 лет
	-	-	10530	0,76	28,7	-
Подземные льды зоны многолетне-						

мерзлых пород	2,1	14	300	0,022	0,82	10000 лет
---------------	-----	----	-----	-------	------	-----------

Термин водные ресурсы используют в разном смысловом назначении, что объясняется особенностями воды как природного ресурса. По ГОСТ 19179 -73 *водные ресурсы* – запасы поверхностных и подземных вод какой-либо территории. Более узкое толкование этого термина приведено в Международном гидрологическом словаре (ЮНЕСКО-ВМО, Париж, 1992): *водные ресурсы* – доступные или могущие быть доступными для использования в регионе воды, определенного количества и качества, в течение данного периода при определенных потребностях. Так как из подземных источников и озер используется небольшой объем воды, под *водными ресурсами территории* часто понимают только величину годового среднемноголетнего стока рек.

Воду, за редкими исключениями, не используют непосредственно для создания продукции с преобразованием в другое вещество и безвозвратным изъятием из глобального гидрологического цикла. При использовании водные ресурсы количественно не меняются или часть их изымается из водоисточника. Эта часть составляет безвозвратные потери для данного водоисточника или территории, но при этом общие запасы воды на Земле не меняются. Теоретически запасы воды на Земле неисчерпаемы, так как при рациональном использовании они непрерывно возобновляются в процессе глобального круговорота воды. При таком подходе к пониманию водных ресурсов их разделяют на *потенциальные* (все запасы вод гидросферы) и *реальные* или *располагаемые* водные ресурсы, то есть доступные для использования при современном технологическом уровне, экономической целесообразности и экологической допустимости такого использования.

При рассмотрении водных ресурсов в пределах какой-либо территории или водного объекта учитывают разный характер использования вод: водопользование (использование водных ресурсов без изъятия воды из водоисточника – например, в гидроэнергетике, водном транспорте, рекреации и др.) и водопотребление (использование водных ресурсов с безвозвратным изъятием – для орошения, промышленного и коммунального водопотребления и др.). Из реальных водных ресурсов безвозвратно изъятай является также вода, которая после использования превратилась в сточные или загрязненные воды, очистка которых технологически невозможна или экономически нецелесообразна.

В территориальном аспекте водные ресурсы, даже теоретически, не рассматриваются как неисчерпаемые. Ограниченность водных ресурсов значительно проявляется в виде количественного и качественного истощения природных вод во множестве крупных и мелких регионов. Исходя из необходимости соизмерения потребностей в воде и водных ресурсах запасы природных вод раз-

деляют на динамические (ежегодно возобновляемые) и статические или вековые (медленно возобновляемые).

Динамические запасы воды часто отождествляют с естественными водными ресурсами тех или иных категорий вод. В гидрологии динамические запасы воды в руслах рек определяют как объем ежегодно возобновляемого речного стока, то есть отождествляют с понятием естественных водных ресурсов водотока. В гидрогеологии динамические запасы (сумму всех приходных элементов баланса данного водоносного горизонта) отождествляют с естественными ресурсами подземных вод. Динамические запасы водных ресурсов оценивают с использованием уравнения водного баланса. *Водный баланс* – соотношение приходной и расходной части круговорота воды на каком-то пространстве: планеты в целом, Мировом океане, на суше, в границах водосборного бассейна и т.п. В целом для суши приходную часть водного баланса составляют атмосферные осадки, а расходную часть – испарение и материковый сток (речной, ледниковый и подземный) (табл. 2).

Таблица 2

Мировой водный баланс [20]

Процесс	Земля	Мировой океан	Суша
	Площадь поверхности, млн. км ²		
	510	361	149
	Объем водной массы, тыс. км ³		
Осадки	570	450	119
Испарение	570	500	72
Сток	-	50	47

В среднем для суши ежегодно из всего объема осадков 61 % расходуется на испарение, 39 % поступает в мировой океан. Материковый сток составляет возобновляемые водные ресурсы суши, которые можно до некоторых пределов изымать для хозяйственного использования.

Статические (вековые) запасы воды, локализованные в озерах, ледниках, болотах, гидрогеологических структурах, нельзя изъять на хозяйственные нужды без нанесения ущерба рассматриваемому водному объекту или связанным с ним рекам и ландшафтам, то есть с более или менее значительным нарушением установившегося равновесия в природе, которое может привести к необратимым ее изменениям с тяжелыми экологическими последствиями.

Для человеческого общества наибольший интерес представляет самая динамичная часть пресных вод – речной сток. Единовременный объем воды в руслах рек составляет около 2 тыс. км³. В процессе круговорота воды этот объем возобновляется в течение года в среднем 23 раза, увеличивая тем самым

фактические ресурсы речных вод до 46 тыс. км³ и обеспечивая такие уникальные их качества как способность к постоянному самоочищению и сохранению низкой минерализации. Приведенные в таблице 3 данные дают представление о возобновляемых ресурсах пресных вод и водообеспеченности континентов земного шара.

Таблица 3

Речной сток и климатическая увлажненность (разность осадков и испаряемости) континентов земного шара [20]

Территория	Площадь, млн. км ²	Речной сток, км ³ /год	Климатическая увлажненность, мм/год	Климатическая водообеспеченность, мм/год
Европа	10,5	3,2	310	110
Азия	43,5	14,4	330	- 310
Африка	30,1	4,6	150	- 1050
Северная и Центральная Америка	24,2	8,2	340	0
Южная Америка	17,8	11,8	660	300
Австралия	7,7	0,4	50	- 1410
Океания	1,8	2,0	1100	1350

Примечание. Отрицательные значения климатической водообеспеченности указывают на дефицит водных ресурсов (невозможность восполнения разности между испаряемостью и фактическим испарением за счет речного стока), положительное – на избыток водных ресурсов в пределах рассматриваемой территории.

Использование возобновляемых водных ресурсов в виде речного стока возможно до определенных пределов по условиям сохранения речных экосистем или связанных с ними экосистем озер и внутренних морей. Из-за большой внутригодовой неравномерности речного стока его регулируют путем создания водохранилищ, которые значимо меняют экологическую обстановку не только в русле реки, но и на прилегающих территориях.

Ресурсы пресных озерных вод составляют 91 тыс. км³, однако ежегодно возобновляемая их часть равна примерно 1,0 тыс. км³ и учитывается в ресурсах речного стока. Сработка вековых запасов озер неизбежно приводит к нарушению природных закономерностей влагооборота, экологического равновесия водоемов и благополучия прилегающих территорий (снижению уровня грунтовых вод и деградации почвенного покрова на земной поверхности прилегающих территорий).

Подземные пресные воды верхних горизонтов в большинстве бассейнов тесно связаны с речным стоком. Чрезмерно интенсивное их использование приводит к истощению и ряду неблагоприятных экологических последствий.

Истощение подземных вод – необратимое уменьшение емкостных запасов подземных вод, связанное с превышением расходования подземных вод над их питанием.

Использование подземного стока может идти за счет сокращения стока рек в меженный период или приводить к снижению уровня грунтовых вод и снижению, таким образом, ресурсов почвенных вод. Это вызывает уменьшение влажности в зоне аэрации, приводит к осушению болот, обмелению и исчезновению малых рек и озер, перестройке динамики подземных вод в гидрогеологической структуре (например, усилению фильтрации глубоких высокоминерализованных артезианских вод или загрязненных поверхностных вод в эксплуатируемые горизонты). Изменение давления при отборе подземных вод вызывает просадку земной поверхности, активизацию карстово-суффозионных процессов из-за эксплуатации трещинно-карстовых вод и др. Исходя из этих и других подобных обстоятельств, связанных с сохранением источников пресных вод или экологического благополучия водных объектов и прилегающих территорий, введено понятие эксплуатационных водных ресурсов, включающее ограничения по их использованию.

Эксплуатационные водные ресурсы – та часть естественных водных ресурсов, которая может быть использована в хозяйственных целях рациональным в технико-экономическом отношении способом с учетом требований охраны природы. При этом различают *потенциальные эксплуатационные ресурсы*, характеризующие максимальное количество воды, которое может быть отобрано из водоносных горизонтов (то есть общую обеспеченность той или иной территории подземными водами), и *эксплуатационные запасы* разведанных и подготовленных для промышленного освоения месторождений водных ресурсов. Определение эксплуатационных водных ресурсов – сложная многомерная задача с привлечением гидрологической, гидрогеологической и экологической информации. Область применения такого понятия водных ресурсов – преимущественно при планировании водохозяйственных мероприятий в бассейнах с высоким уровнем использования вод.

На территории России основным источником водных ресурсов служат реки. Поверхностный сток составляет 4300 км^3 в год (10% от мирового). Из них на Европейскую часть приходится порядка $1/3$, а на Сибирь и Дальний Восток – $2/3$. Распределение речного стока на территории России неравномерно: 84% направлено на север в Северный Ледовитый океан, 8% – в Тихий океан, 3% – в Атлантический океан и 5% – в Каспийское море. Такое распределение речного стока создает большие запасы воды на севере и значительный дефицит ее на юге. Хозяйственное использование речного стока затрудняется его колебаниями во времени. Суммарные ресурсы изменяются от года к году не-

значительно: в многоводные годы они возрастают, а в маловодные уменьшаются по сравнению со средними значениями в пределах 5 – 10%. Однако межгодовые колебания стока в отдельных бассейнах весьма значительные: в бассейнах Волги, Дона, Днепра, Печоры, Северной Двины сток в многоводные годы превышает норму в 1,5 – 2 раза, а в маловодные годы снижается до 0,5 – 0,7 нормы. Даже на крупнейших реках Сибири сток в многоводные годы составляет 1,2 – 1,3 от нормы, а в маловодные годы – 0,7 – 0,8 нормы. Наибольшие колебания стока наблюдаются в засушливых районах; например, в Прикаспийской низменности в многоводные годы сток по сравнению со средним увеличивается до 2-4 раз, а в маловодные – падает практически до 0. Велика также сезонная неравномерность речного стока. Характерное внутригодовое распределение речного стока по районам приведено в таблице 4.

Таблица 4

Внутригодовое распределение речного стока по районам РФ [20]

Район	Сезонный сток в % от годового		
	весна	лето-осень	зима
Южное Заволжье и южное Приуралье	900 - 95	4 - 8	1 - 2
Восточная Сибирь	70 – 80	15 – 25	менее 5
Север европейской территории	55 – 65	25 – 35	10 – 20
Западная Сибирь	45 – 55	35 – 45	менее 10
Крайний Север и северо-восток Сибири	40 - 50	45 - 55	менее 5

Запас вод (в основном пресных) в озерах России составляет около 25 тыс. км³, из которых 23 тыс. км³ приходится на озеро Байкал и 1,21 тыс. км³ на озера Ладожское и Онежское. В ледниках сосредоточено около 13 тыс. км³ воды, из которых более 90 % лежит в Арктике. Ресурсы воды в зоне интенсивного водообмена оцениваются примерно в 1 тыс. км³, из которых 1/3 в Европейской части. Величина потенциальных эксплуатационных ресурсов подземных вод составляет 230 км³ в год, а утвержденных – 22 км³ в год [20].

Средняя водообеспеченность территории России, под которой понимают удельное значение естественного среднего годового стока (местного) на единицу площади, составляет 237 тыс. м³/год на 1 км² (в среднем для всей суши 315 тыс.). Средняя водообеспеченность в расчете на одного жителя России составляет около 30 тыс. м³/год, что более чем в 2 раза превышает аналогичные показатели для Европы и Азии. Однако распределение водных ресурсов по территории неравномерное и неблагоприятное для основных потребителей воды: около 90% приходится на бассейны Северного Ледовитого и Тихого океанов. На бассейн Каспийского и Азовского морей, где проживает свыше 80% населения России, сосредоточен ее основной промышленный и сельскохозяйственный потенциал, приходится менее 8% годового объема речного стока.

Общее представление о распределении водных ресурсов по экономическим районам России приведено в таблице 5.

Таблица 5

Распределение водных ресурсов по экономическим районам РФ [20]

Экономический район	Площадь, тыс. км ²	Водные ресурсы, км ³ /год	
		сток местного формирования	суммарный сток
Северный	1466,3	494,0	511,6
Северо-Западный	196,5	47,7	89,4
Центральный	485,1	88,6	112,6
Центрально-Черноземный	167,7	16,1	21,0
Волго-Вятский	263,3	47,8	151,8
Поволжский	536,4	31,5	270,0
Северо-Кавказский	355,1	44,0	69,3
Уральский	824,0	122,7	129,0
Западно-Сибирский	2427,2	513,0	585,0
Восточно-Сибирский	4122,8	1097,0	1132,0
Дальневосточный	6215,9	1538,0	1812,0

В настоящее время для отраслей экономики России используется сравнительно немного воды - 117 км³ в год, из которых примерно 1/3 забирает энергетика. Это в основном речные воды, подземные воды в водозаборе составляют менее 10 %. Основной ущерб водным ресурсам наносит не забор воды, а сбрасываемые после использования загрязненные воды. В настоящее время основные реки России загрязнены сточными водами.

Контрольные вопросы

1. Чем отличается вода от других известных веществ?
2. Перечислите важнейшие аномальные свойства воды. Чем они обусловлены?
3. Объясните особенности структуры молекулы воды.
5. Чем обусловлено наличие максимума плотности воды при изменении температуры?
6. Почему плотность льда меньше плотности жидкой воды? Объясните значение этого свойства воды для водных экосистем.
7. Сформулируйте определение понятия «водные ресурсы».
8. В чем отличие понятий «динамические запасы воды» и «статические запасы воды»?
9. Сформулируйте определение понятия «эксплуатационные водные ресурсы».
10. В чем отличие понятий «потенциальные эксплуатационные водные ресурсы» и «эксплуатационные запасы воды».

Глава 2. ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ СИСТЕМА И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

2.1. Цели, задачи и структура водного хозяйства

Важнейшее свойство водных ресурсов заключается в многогранности их использования. Вода является важнейшим ресурсом, необходимым для функционирования и развития практически всех отраслей хозяйства страны. В отличие от других ресурсов использование воды не укладывается в рамки обычных, строго разграниченных и локализованных производственных процессов. Включение воды в производственный процесс делает ее вещественным фактором производства. Подготовку воды к различным видам использования проводят с применением специальных инженерных сооружений и водохозяйственных мероприятий, в совокупности составляющих водное хозяйство.

Водное хозяйство – отрасль науки и техники, охватывающая учет, изучение, использование, охрану водных ресурсов и защиту окружающей среды от наводнений и других негативных воздействий вод (ГОСТ 19185-73).

Под термином *негативное (вредное)* воздействие вод понимают явления и процессы, происходящие при прямом или косвенном участии вод, наносящие ущерб окружающей среде, населению и народному хозяйству.

Водное хозяйство как отрасль представляет собой совокупность водохозяйственных систем бассейна, региона, страны, функционирующих в природной, экономической и социальной среде.

Водохозяйственная система (в англоязычной научно-технической литературе используется термин *water resources systems* – водно-ресурсные системы) – связанные между собой водные объекты, гидротехнические, водопроводные, канализационные и другие сооружения, предназначенные для обеспечения рационального использования и охраны вод (ГОСТ 17.1.1.01-77). Ее целью является оптимальное использование водных ресурсов с технико-экономической точки зрения и с учетом ограничений экологического характера. В современных условиях водохозяйственные системы представляют собой сложные природно-технические комплексы. Взаимосвязь всех элементов водохозяйственной системы исследуется не только в узком гидравлическом смысле, но и как система водных отношений в организационном, экономическом и правовом аспектах. Как объект управления водохозяйственная система может обслуживать одного потребителя. Совокупность различных отраслей хозяйства, потребности которых обслуживает данная водохозяйственная система, называют водохозяйственным комплексом. Компонентами водохозяйственного комплекса являются в разных сочетаниях, в зависимости

от целей создания и природно-экономической ситуации, энергетика, ирригация, водный транспорт, лесосплав, водоснабжение, рыбное хозяйство и др.

Водное хозяйство как отрасль характеризуется двумя основными признаками [20]. Во-первых, не являясь производителем основного своего продукта – воды, водное хозяйство в рамках экономики страны наделено всеми необходимыми функциями государственной инфраструктуры. К этим функциям относятся:

- распределение воды между предприятиями иных отраслей;
- обеспечение качества воды за счет проведения специальных мероприятий;
- строительство необходимых отраслевых сооружений;
- наличие прав на лицензирование водопользования, а также на контроль над водопотреблением и сбросом загрязняющих веществ;
- реализация платности водопользования со своей системой штрафов, льгот и т. д.

Во-вторых, как и другие отрасли экономики страны (отраслевая промышленность, строительная индустрия и т.д.), водное хозяйство обладает внутренней инфраструктурой.

Функциональное назначение водного хозяйства по обеспечению водой надлежащего количества и качества обуславливает одну из его главных *целей*: воспроизводство, охрана водных ресурсов и восстановление водных объектов. Решаемые при этом *водохозяйственные задачи* различаются между собой по широте охвата территории, количеству анализируемых объектов, сооружений и мероприятий, числу исследуемых показателей и детальности описания связей между ними, а также по количеству разноплановых частных проблем, решаемых в рамках той или иной задачи. К актуальным научным проблемам в области водного хозяйства относятся:

- оптимизация совместного использования водных и земельных ресурсов;
- определение параметров и рациональных режимов функционирования водохозяйственных систем;
- оценка и прогноз динамики водно-солевого баланса и качества природных вод;
- оптимизация структуры и параметров водоохраных комплексов;
- оценка влияния водохозяйственных систем на природную среду и социально-экономическую сферу;
- обоснование вариантов устойчивого экономически эффективного и экологически безопасного развития территории;
- защита от наводнений и иных видов негативного воздействия вод;
- функционирование водных и прибрежных экосистем, а также связанных с ними экосистем суши и т. д.

Структура водного хозяйства включает комплекс водных объектов и технических сооружений, а также все объекты, связанные с управлением водопользованием, в том числе отраслевую инфраструктуру. Структурными элементами водного хозяйства являются гидротехнические (инженерные) мелиорации (осушение и орошение земель, обводнение пастбищ и сельскохозяйственное водоснабжение), гидроэнергетика, водный транспорт (судоходство и лесосплав), водоснабжение и водоотведение (канализацию), использование водных недр (разведение и лов рыбы, добыча солей и т.п.), регулирование рек для предотвращения наводнений и др.

Функционирование водного хозяйства как отрасли разделяется по следующим направлениям: изыскания, проектирование, строительство, техническая эксплуатация, мониторинг, техническое управление, отраслевое управление. Ведение водного хозяйства осуществляется посредством управления инженерными сооружениями и проведением технических мероприятий. Инженерные сооружения стационарны, функционируют постоянно, имеют свой специальный режим эксплуатации. К инженерным сооружениям водного хозяйства относятся: плотины, трубопроводы, насосные станции, очистные сооружения и т. п. Технические мероприятия проводятся выборочно по времени и по месту. Они ориентированы на строго определенные работы, такие как расчистка русла, обустройство водоохранной зоны реки, распашка дренируемых земель, очистка акватории и пр.

Все инженерные сооружения водного хозяйства классифицируют по геометрическому признаку и динамическим характеристикам их функционирования. По геометрическому признаку различают:

- точечные сооружения (насосная станция, шлюз);
- вертикально-точечные (скважина);
- линейные сооружения (плотина, дамба, дрена);
- вертикально-линейные (защитно-фильтрационные стенки);
- распространенные по площади (дренажная система, поля орошения);
- объемные или распространенные в пространстве (водохранилище).

Отнесение сооружения к той или иной группе по этому признаку достаточно условно, поскольку оно зависит от решаемой задачи. Используемые при этом технические мероприятия подразделяют на аналогичные группы. Таким образом, прослеживается некоторая «инженерно-геометрическая» специфика объектов водного хозяйства, обуславливающая особенности постановок задач и выбор применяемых методов.

Динамические характеристики функционирования инженерных сооружений водного хозяйства зависят от скорости изменения состояния водных объектов. Эти изменения могут быть:

- сверхкраткие (секунды, минуты – движение волны попуска, образование прыжка в потоке);
- краткие (часы, сутки – пропуск паводка по реке, распространение загрязняющих веществ);
- среднесрочные (недели, месяцы – изменение уровня грунтовых вод, изменение водного баланса совокупности водных объектов на территории);
- сезонные (по сезонам года – наполнение и сработка сезонных водохранилищ, изменение параметров водопотребления);
- годовые (изменение уровня водохранилища многолетнего регулирования, водный баланс годового природного цикла);
- многолетние (показатели обеспеченности выполнения хозяйственных функций водохозяйственной системы, изменение водного баланса регионов под влиянием многолетних водных циклов и техногенного влияния);
- эпохальные (природная или историческая эпоха – влияние на водное хозяйство климатических изменений или направленности развития общества).

Многочисленные и разнообразные сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов или предотвращения (уменьшения) негативного воздействия воды на окружающую среду (наводнения, размывы берегов, селевые потоки и др.), называют гидротехническими сооружениями. Отличительной особенностью сооружений водного хозяйства является их высокая капиталоемкость, поскольку они требуют повышенной надежности в силу громадных ущербов не только экономического, но и социального, и экологического характера от разрушения плотин, дамб и каналов, а также от нарушений подачи воды в системах водо- и энергоснабжения. По целевому назначению их разделяют на сооружения общего назначения и специальные. К *гидротехническим сооружениям общего назначения* относятся:

- водонапорные (плотины, дамбы);
- водопроводящие (каналы, трубопроводы, гидротехнические туннели, лотки);
- водозаборные, служащие для забора воды из водотоков и водоемов;
- водосбросные, предназначенные для сброса излишков воды и полезных попусков для поддержания санитарных или экологических условий, глубин для судоходства и др. (водосливы, водоспуски, глубинные водосбросы);
- регуляционные, предназначенные для регулирования взаимодействия потока с руслом в целях предотвращения размывов или отложений наносов, а также защиты берегов от воздействия волн и течений.

К *специальным гидротехническим сооружениям* относятся сооружения, предназначенные для нужд одной отрасли водного хозяйства:

- мелиоративные (каналы, насосные станции и др.) для осушения, орошения и обводнения земель;
- водноэнергетические (здания ГЭС и ГАЭС, деривационные каналы и туннели, уравнивательные резервуары и др. сооружения) для использования водной энергии;
- воднотранспортные (каналы, судоходные шлюзы, причалы, и др.);
- лесосплавные (бревноспуски, плотоходы и др.);
- рыбохозяйственные (рыбоходы, рыбоподъемники, рыбоводные пруды и др.);
- для водоснабжения и водоотведения (водозаборы, насосные станции, каналы, коллекторы, очистные станции и др.);
- для предотвращения наводнений, селей, эрозии почв (защитные дамбы, ливнестоки и др.);
- для использования подземных вод; для создания хвостохранилищ, шламонакопителей (дамбы, трубопроводы и др.).

В ряде случаев применяют *совмещенные сооружения*, которые выполняют несколько функций, например, здания ГЭС – с водосбросными отверстиями, судоходные шлюзы – с водосбросами, водосбросы – с водозаборами.

Группу гидротехнических сооружений, объединенных условиями совместной работы и местоположением, называют *гидроузлом*. По месту расположения гидроузлы бывают речные, на каналах, морские, озерные и прудовые. По основному назначению гидроузлы подразделяют на:

- водозаборные (для использования в различных отраслях водного хозяйства);
- энергетические;
- воднотранспортные;
- рыбохозяйственные (рыбоводные пруды);
- регулирующие сток рек для его использования в различных целях (орошения, энергетики, водоснабжения, предотвращения наводнений и др.) и т.п.

Часто гидроузлы имеют комплексное назначение. Например, Цимлянский комплексный гидроузел имеет воднотранспортное значение, создает условия для орошения и обводнения, имеет в своем составе ГЭС и рыбоподъемник.

Гидроузлы бывают напорные и безнапорные (например, речные гавани). Напорные гидроузлы по мощности напора подразделяют на гидроузлы низконапорные (напор менее 10 м), средненапорные (10-50 м) и высоконапорные (более 50 м). Напорные гидроузлы часто бывают комплексными.

Комплекс гидротехнических сооружений, объединенных в несколько гидроузлов и имеющих линейные участки трассы (участки рек, каналы, туннели) и служащих общим водохозяйственным целям, называют *гидротехниче-*

ским комплексом или гидросистемой. Как и гидроузлы, гидросистемы бывают специализированными и комплексными. Например, в Волго-Донской комплекс входят: Волго-Донской канал длиной 101 км, Цимлянский комплексный гидроузел, оросительно-обводнительная система на левом берегу Дона, охватывающая территорию протяженностью более 600 км. Этот крупный гидротехнический комплекс решает вопросы водного транспорта, ирригации, водоснабжения, гидроэнергетики и рыбного хозяйства.

На современном этапе развития водного хозяйства в условиях напряженного водохозяйственного баланса такие гидротехнические комплексы являются типичными. В настоящее время они не только обслуживают многих потребителей различных отраслей хозяйства и охватывают своим влиянием большие территории, но и имеют весьма сложные связи со смежными отраслевыми системами (энергетической, транспортной и др.).

По мере роста потребностей народного хозяйства в пресной воде и общего обострения водной проблемы объективной тенденцией является укрупнение и объединение существующих водохозяйственных систем в более сложные и крупные внутрибассейновые и межбассейновые водохозяйственные системы. Примером крупнейшей водохозяйственной системы является Волжско-Камский каскад ГЭС, суммарный полезный объем водохранилищ которого составляет около 90 км³. Зарегулированный этими водохранилищами сток перераспределяется внутри года в соответствии с требованиями энергетики, судоходства, рыбного и сельского хозяйства. Волжская вода используется для орошения (более 200 тыс. га), для водоснабжения населения и промышленности.

2.2. Управление водохозяйственными системами и водными ресурсами

Водохозяйственная система, представляющая собой сложную структуру, включающую систему гидроузлов и водохранилищ, расположенных в одном или нескольких речных бассейнах, гидравлически связанных между собой и созданных или объединенных в целях оптимального использования водных ресурсов основными водопотребителями и водопользователями, является объектом *планирования и управления.* Водохозяйственные системы представляют собой динамические управляемые системы, так как их функционирование и развитие происходит во времени. Процессы, связанные с использованием природных вод, подачей воды водопользователям, поступлением и распространением загрязняющих веществ, их трансформацией в водной среде и др. также являются динамическими. Управление системами водопользования состоит в выборе параметров создаваемых или реконструируемых систем, а также в изменении характеристик или режимов функционирования уже существующих.

При этом происходит активное вмешательство в разнообразные составляющие природных процессов и экосистем.

Наилучший в экономическом смысле вариант параметров и режимов функционирования водохозяйственной системы почти никогда не соответствует наиболее благоприятному экологическому состоянию водных объектов, а такое состояние, в свою очередь, не обеспечивает приемлемый хозяйственно-производственный уровень. Поэтому в глобальном смысле всегда ищется некоторый компромиссный вариант развития и функционирования водохозяйственной системы. Выбор подобного варианта зависит от множества разнообразных факторов. Например, экономическая составляющая определяется капитальными затратами и эксплуатационными издержками на подачу воды водопользователям, водоподготовку, строительство и эксплуатацию очистных сооружений, плотин и сбросных сооружений, защитные мероприятия от вредного воздействия вод и др. Экономическая эффективность систем водопользования описывается связью между количеством используемых водных ресурсов и объемом выпускаемой продукции (производственными функциями). Экологическая составляющая определяется качеством природных вод и зависит от состава и концентраций различных ингредиентов в воде. Значения этих компонент обуславливаются совокупностью физических, химических, биологических и иных процессов. Таким образом, с прикладных позиций постановка и формализация соответствующих задач требует рассмотрения комплексной проблемы рационального водопользования в различных аспектах.

Понятие управление водохозяйственными системами в широком смысле объединяет решение как стратегических, так и тактических задач. Оно включает в себя выбор определенных водохозяйственных и водоохраных мероприятий на долгосрочную перспективу («стратегические» параметры управления), а также определение и реализацию режимов работы водохозяйственных и водоохраных установок («тактические» параметры управления) [14]. Долгосрочные мероприятия, как правило, связаны со значительными капитальными затратами, поэтому финансовые ограничения существенно влияют на выбор конкретного решения. Вопросы оперативного управления включают в себя решение совокупности разноплановых задач (водораспределение, регулирование сбросов отработанных вод и загрязняющих веществ, пропуск потоков через гидротехнические сооружения, прохождение водного транспорта при шлюзовании и т. п.). Такое многофункциональное управление подразумевает учет как гидрохимических, так и гидробиологических, медико-биологических и других факторов, определяющих функционирование водных экосистем.

Особенность водохозяйственных систем как объектов управления состоит в том, что выбор управляющих воздействий в этих системах осуществляется по иерархическому принципу. Это относится не только к долгосрочному планированию водопользования, но и к оперативному управлению. Число уровней иерархии зависит от масштаба водного объекта и от сложности его структуры. Иерархичность управления не означает, однако, полного подчинения нижележащих управляющих структур верхним органам управления. Как правило, подчинение выражается в том, что на более высоком уровне принимаются общие (стратегические) решения, а на последующих уровнях они поэтапно конкретизируются с учетом местной обстановки. Прямым следствием принципа соподчинения структур, ответственных за управление водопользованием, является иерархическая структура водохозяйственных систем, обеспечивающих поэтапную детализацию принимаемых решений. Реализация этого принципа непосредственно связана с решением таких проблем как:

- конкретизация целей и задач при переходе от более высокого уровня принятия решений к последующим уровням;
- декомпозиция общей системы на подсистемы и задачи;
- районирование крупного региона на территории, характеризующиеся относительной однородностью тех или иных существенных для данной задачи параметров;
- проведение процедур усреднения данных в пределах этих территорий;
- разработка различных интегральных показателей.

Выработка правил управления водохозяйственными системами определяется структурой и параметрами системы, а также принятой организационной структурой управления водопользованием.

В России в настоящее время (с 1993 г.) центральным органом исполнительной власти в области водного хозяйства является Министерство природных ресурсов (МПР). Общей задачей его является разработка и реализация основных направлений федеральной политики в области водного хозяйства, воспроизводства и охраны водных ресурсов, восстановления водных объектов, бассейнового регулирования использования водных ресурсов, обеспечение на этой основе населения и народного хозяйства качественной водой, сохранение чистоты и полноводности водных объектов, включая воды внутренних морей. В задачи МПР входит также организация строительства и эксплуатации водохранилищ и других комплексных водохозяйственных объектов, обеспечение разработки и реализации мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий паводков и других видов вредного воздействия вод и некоторых др. МПР организует и осуществляет выдачу лицензий на пользование водными объектами, технических условий и разрешений на производство всех видов

работ на водных объектах и в их водоохраных зонах, разрабатывает водохозяйственные балансы и схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов. В системе МПР управление водным хозяйством на местах осуществляется бассейновыми водохозяйственными управлениями (БВУ) и территориальными органами в субъектах Российской Федерации. БВУ осуществляет координацию деятельности территориальных органов, а также управлений эксплуатации водохранилищ и водохозяйственных систем, расположенных в границах обслуживаемого бассейна, и обеспечивает единую техническую и экономическую политику в ведении водного хозяйства в целом по бассейну. Разделение территории России на отдельные водохозяйственные управления позволяет приблизить оперативное руководство водным хозяйством непосредственно к водопользователям и водопотребителям, а также упростить систему рационального использования и охраны водных ресурсов выделенных регионов. В этих управлениях дают разрешение на водопользование и контролируют их на местах, организуют мероприятия по сокращению потребления водных ресурсов, использованию и охране вод от загрязнения, засорения и истощения.

Основной «единицей» управления водными ресурсами является речной бассейн. В масштабе речных бассейнов решаются основные задачи управления водными ресурсами, базируясь на многолетней гидрологической информации, сложившейся структуре водохозяйственной системы и их взаимосвязи с окружающей природной средой. Сбалансированность интересов бассейновых и административно-территориальных органов управления водными ресурсами может быть обеспечена при четкой регламентации прав на водопользование различных государственных структур.

Модернизация правовой и нормативной основы водопользования, а также совершенствование организационного механизма управления осуществляется на верхних уровнях управления, начиная от федерального уровня до субъектов Федерации (независимо от того, какова структура иерархии). Она подразумевает совершенствование законодательной и нормативной основы, включая в себя как разработку новых, так и уточнение существующих юридических и нормативно-методических документов. Правовая основа водопользования обладает внутренней иерархической структурой. Верхний федеральный уровень составляют законы: *Федеральный закон № 74-ФЗ от 03.06.2006 Водный кодекс Российской Федерации (в ред. Федерального закона от 27.12.2009 N 365-ФЗ)* и др. Второй уровень образуют нормативно-правовые и инструктивно-методические документы, имеющие форму постановлений Правительства Российской Федерации. На уровне субъектов Федерации также могут приниматься законодательные и нормативно-правовые акты водного законодательства.

2.3. Экологический мониторинг водных объектов

Комплекс проблем, определяющих устойчивое развитие водного хозяйства, включает в себя совершенствование организационных механизмов управления водохозяйственной системы, исследование природных процессов, создание и развитие системы экологического мониторинга. На формирование, перемещение и использование поверхностных и подземных вод, а также на их качество влияют разнообразные природные процессы (гидрологические, гидравлические, гидрохимические, гидробиологические, гидротермические, русловые), для каждого из которых и их совокупности требуется проводить комплекс специальных исследований. Особую значимость имеют исследования внутриводоемных процессов, протекающих в условиях антропо- и техногенного влияния на водные экосистемы. Эти процессы формируют качество воды, включая в себя многочисленные физико-химические, химические и биологические превращения веществ, их синтез и распад, сорбцию и десорбцию, седиментацию, взмучивание и другие процессы, происходящие на фоне гидрологического режима водного объекта. Они оказывают существенное влияние на различные химические и биологические показатели, используемые в процессе принятия решений, например, при оптимизации системы наблюдений и систематизации информации, на основании которой дается оценка и прогноз состояния водных экосистем. В целом требования экологической безопасности управления водными ресурсами базируются на реализации планов водопользования, разработанных с учетом факторов и процессов, описывающих состояние водных экосистем.

Определяющими показателями состояния водных экосистем являются: класс чистоты воды, индекс сапробности, индекс видового разнообразия, а также валовая продукция фитопланктона. Качество воды определяют такие показатели как прозрачность воды, величина рН, величина биохимического потребления кислорода, электропроводность, содержание в воде питательных элементов (нитрат-ионов и фосфат-ионов) и др. Улучшение качества воды водных объектов достигается проведением широкого спектра мероприятий. Практически все точечные источники поступления загрязняющих веществ имеют техногенное происхождение и непосредственно связаны с конкретным объектом хозяйственной деятельности на локальной территории. Для рассредоточенных источников поступления загрязнений часто не удастся персонализировать предприятие или локальный объект – источник их поступления. Точечные и неточечные источники отличаются различными пространственными и временными масштабами. Как правило, от точечных источников загрязняющие вещества поступают стационарно. Неточечные источники высоко

динамичны и широко распределены в пространстве. Особенно сложно указать источник загрязнения, когда передаточным звеном служит какой-либо иной компонент природной среды, например, атмосфера. Этим, в частности, объясняется тот факт, что для точечных источников почти всегда можно указать конкретный набор мероприятий по снижению поступления от них загрязняющих веществ, в то время как, не зная конкретные рассредоточенные источники поступления загрязнений, сложно управлять мероприятиями, снижающими их влияние. Разделение источников на точечные и рассредоточенные в некоторой степени условно. Оно определяется масштабом объекта. Так, например, при рассмотрении локального участка реки смыв с конкретной промышленной территории или животноводческого комплекса интерпретируется как неточечный источник. Однако при решении задачи выбора рационального варианта водоохраных мероприятий для достаточно крупного бассейна подобный смыв вполне может быть рассмотрен как точечный источник. Набор мероприятий по уменьшению влияния сосредоточенных и рассредоточенных источников можно классифицировать. Для сосредоточенных источников основные мероприятия сводятся, в основном, к совершенствованию технологий водопользования и очистки сточных вод. Мероприятия для рассредоточенных источников более разнообразны. К ним относятся:

- непосредственное снижение поступления загрязнений, в том числе создание дренажной сети и ливневой канализации для сбора и последующей очистки стока с сельскохозяйственных и урбанизированных территорий;
- создание систем, обеспечивающих централизованный сбор, очистку и переработку отходов рассредоточенных источников;
- создание водоохраных зон.

Организация экологического мониторинга водных объектов осуществляется в несколько этапов [7]. Первый этап соответствует периоду рекогносцировочного обследования территории, когда определяются ее фоновые характеристики, выявляются наиболее острые экологические и социальные проблемы. Второй этап – это период, когда устанавливаются основные закономерности протекания природных, техноприродных процессов, разрабатывается прогноз последствий взаимодействия водного объекта с окружающей средой. На этой основе составляется программа мониторинга и выбирается вариант размещения сети наблюдений. Третий этап – собственно мониторинг, когда осуществляются режимные наблюдения и исследования, обрабатываются результаты, подготавливаются рекомендации для органов управления.

Структура государственного экологического мониторинга водных объектов построена по иерархическому уровню:



Станции наблюдения первичных пунктов осуществляют наблюдения, обработку и обобщение данных на конкретных участках русла рек и водоемов в режимных пунктах. Территориальные и региональные центры осуществляют обобщения, анализ материалов, составление местных прогнозов и оценку состояния водных объектов по своей территории. Высший Гидрометцентр и другие головные центры (НИИ) обрабатывают и систематизируют информацию по регионам и в целом по стране и представляют ее в кадастровых изданиях. Ведение государственного водного кадастра (ГВК) предусмотрено водным законодательством РФ.

Государственный водный кадастр представляет собой систематизированный свод сведений о водных ресурсах страны, включающий количественные и качественные показатели, данные регистрации водопользователей и учета использования вод. Основная задача государственного водного кадастра – обеспечение народного хозяйства необходимыми данными о водных ресурсах, водных объектах, режиме, качестве и использовании природных вод, а также водопользователях.

Государственному учету и включению в государственный водный кадастр подлежат все воды единого государственного фонда. К ним относятся:

- воды рек, озер, водохранилищ и других поверхностных водоемов и водных источников, включая воды каналов и прудов;
- ледники и подземные воды;
- внутренние моря и другие внутренние морские воды;
- территориальные воды (территориальное море).

Основными требованиями к гидрохимической сети применительно к государственному учету вод являются:

- строгая увязка сети пунктов (створов) гидрохимических наблюдений с размещением на них водопользователей, особенно водопользователей с водоемкими производствами;

- достаточная полнота пространственного охвата водных объектов сетью наблюдений, обеспечивающих получение соответствующей информации о качестве забираемых водопользователями поверхностных вод, а также данных об изменении качества воды в результате водопользования;

- достаточная частота наблюдений во времени;
- строгая увязка перечня определяемых загрязняющих веществ и показателей загрязнения в воде водоема или водотока со спецификой состава сточных вод, сбрасываемых в водный объект основными водопользователями.

Экологический мониторинг водных объектов осуществляется рядом служб, министерств и ведомств: Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), Государственным комитетом Российской Федерации по охране окружающей среды (Госкомэкология России), Министерством природных ресурсов РФ, Департаментом государственного санитарно-эпидемиологического надзора (Госсанэпиднадзор) при Министерстве здравоохранения РФ, Государственным комитетом РФ по стандартизации и метрологии (Госстандарт РФ), Министерством сельского хозяйства и продовольствия РФ. Для решения задач комплексного наблюдения, оценки и прогноза состояния среды в РФ, выработки единой научно-технической политики в области экологического мониторинга создана (в 1993 г.) Единая государственная система экологического мониторинга (ЕГСЭМ). Основными задачами ЕГСЭМ являются:

- координация разработки и выполнения программ наблюдений за состоянием окружающей среды;
- регламентация и контроль сбора и обработки достоверных и сопоставимых данных;
- хранение информации, ведение специальных банков данных и их гармонизацию (согласование, телекоммуникационную связь) с международными эколого-информационными системами;
- деятельность по оценке и прогнозу состояния объектов окружающей природной среды, природных ресурсов, откликов экосистем и здоровья населения на антропо- и техногенное воздействие;
- обеспечение доступности интегрированной экологической информации широкому кругу потребителей.

В рамках существующей системы мониторинга вод выделяют два вида наблюдений:

- наблюдения за уровнем загрязненности поверхностных вод по физическим, химическим, гидрологическим и гидробиологическим показателям в режимных пунктах;
 - наблюдения, предназначенные для решения специальных задач.
- Каждый из этих видов наблюдений осуществляется в результате:
- предварительных (рекогносцировочных) наблюдений и исследований на водных объектах или их участках;
 - систематических наблюдений на водных объектах в выбранных пунктах.

Основными задачами *систематических наблюдений* за качеством поверхностных вод являются:

- систематическое получение как отдельных, так и осредненных во времени и пространстве данных о качестве воды;
- обеспечение хозяйственных органов и заинтересованных организаций систематической информацией и прогнозами изменения гидрохимического режима и качества воды водоемов и водотоков и экстренной информацией о резких изменениях загрязненности воды.

Порядок организации и проведения систематических наблюдений за качеством поверхностных вод в режимных пунктах определены ГОСТ 17.1.3.07-82.

К задачам *специальных наблюдений и исследований*, определяемым в каждом конкретном случае, относятся:

- установление основных закономерностей процессов самоочищения;
- определение влияния накопленных в донных отложениях загрязняющих веществ на качество воды;
- составление балансов химических веществ водоемов или участков водотоков;
- оценка выноса химических веществ через замыкающий створ рек;
- оценка выноса химических веществ с коллекторно-дренажными водами и др.

Для проведения мониторинга водных объектов организуются сети пунктов наблюдений:

- стационарная сеть пунктов наблюдений за естественным составом и загрязнением поверхностных вод;
- специализированная сеть пунктов для решения научно-исследовательских задач;
- временная экспедиционная сеть пунктов.

Под *пунктом наблюдения* понимают место на водоеме или водотоке, в котором проводят комплекс работ для получения данных о качестве воды. Пункты наблюдения организуют в первую очередь на водоемах и водотоках, имеющих большое народнохозяйственное значение, а также подверженных значительному загрязнению промышленными, хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными сточными водами. На незагрязненных сточными водами водоемах и водотоках или их участках создаются пункты для фоновых наблюдений. Пункты наблюдений организуют на водоемах и водотоках в районах:

- расположения городов и крупных поселков, сточные воды которых сбрасываются в водные объекты;

- сброса сточных вод отдельно стоящими крупными промышленными предприятиями, территориально-производственными комплексами, организованного сброса сельскохозяйственных сточных вод;
- мест нереста и зимовки ценных и особо ценных видов промысловых организмов;
- предплотинных участков рек, являющихся важными для рыбного хозяйства;
- пересечения реками государственных границ;
- замыкающих створов больших и средних рек;
- устьев загрязненных притоков больших водоемов и водотоков.

В пунктах наблюдений организуют один или несколько створов. Под створом понимают условное поперечное сечение водоема или водотока, в котором производится комплекс работ для получения данных о качестве воды. Местоположение створов устанавливают с учетом гидрометеорологических и морфологических особенностей водного объекта, расположения источников загрязнения, количества, состава и свойств сбрасываемых сточных вод, интересов водопользователей и водопотребителей.

На *водотоках* при отсутствии организованного сброса сточных вод устанавливают один створ. При наличии организованного сброса сточных вод устанавливают на водотоках два створа и более. Один из них (фоновый) устанавливают в 1 км выше источника загрязнения (вне зоны влияния рассматриваемых сточных вод), другие – ниже источника (или группы источников) загрязнения в месте полного смешения (не менее 80 %) сточных вод с водой водотока. Выбор расположения створов ниже источника (или группы источников) загрязнения осуществляют с учетом комплекса условий, влияющих на характер распространения загрязняющих веществ в водотоке, исходя из интересов народного хозяйства, на ближайшем участке водопользования. На водотоках рыбохозяйственного назначения нижний створ устанавливают не далее 0,5 км от места сброса сточных вод. При наличии группы источников загрязнения между створами выше и ниже источников загрязнения устанавливают дополнительные створы для оценки влияния каждого из них на качество воды в водотоке.

На *водоемах* с интенсивным водообменом (коэффициент водообмена более 5 раз в год) расположение створов аналогично расположению их на водотоках. Один створ устанавливают в 1 км выше источника (или группы источников) загрязнения (вне зоны влияния рассматриваемых сточных вод), остальные створы (не менее двух) располагают ниже источника загрязнения на расстоянии 0,5 км от места сброса сточных вод и непосредственно за границей зоны загрязнения. На водоемах с умеренным (коэффициент водообмена от 0,1 до 5 раз в год) и замедленным (коэффициент водообмена до 0,1 раз в

год) водообменом устанавливают не менее 4 створов. Один створ устанавливают в 1 км выше источника (или группы источников) загрязнения, второй створ совмещают с местом сброса сточных вод, остальные створы (не менее двух) устанавливают параллельно второму створу по обе стороны на расстоянии 0,5 км от места сброса сточных вод и непосредственно за границей зоны загрязнения.

Количество *вертикалей в створе* на водотоке определяется условиями смешения сточных вод с водой водотока. При неоднородности химического состава воды в створе устанавливают не менее трех вертикалей: на стержне и на расстоянии 3-5 м от берегов. При однородности химического состава воды в створе устанавливают одну вертикаль на стержне водотока. Количество *вертикалей в створе* на водоеме определяется шириной зоны загрязненности: первую вертикаль располагают на расстоянии не далее 0,5 км от места сброса сточных вод или от берега, последнюю – непосредственно за границей зоны загрязнения.

Количество *горизонтов на вертикали* определяется глубиной водотока или водоема в месте измерения:

- при глубине до 5 м устанавливают один горизонт (у поверхности – на глубине 0,2-0,3 м от поверхности воды летом и у нижней поверхности льда зимой);
- при глубине от 5 до 10 м – два горизонта (у поверхности и в 0,5 м от дна);
- при глубине более 10 м – три горизонта (дополнительно устанавливается промежуточный горизонт, расположенный на половине глубины).

Назначение и расположение пунктов контроля определяются правилами наблюдений за качеством воды водоемов и водотоков. Основными принципами организации и проведения наблюдений за качеством поверхностных вод являются: комплексность и систематичность наблюдений, согласованность сроков их проведения с характерными гидрологическими ситуациями, определение показателей качества воды едиными методами. Для обеспечения соблюдения этих принципов разрабатываются *программы контроля* (по физическим, химическим, гидробиологическим и гидрологическим показателям) и периодичности проведения контроля, анализ проб воды выполняют по единым или обеспечивающим требуемую точность методикам.

Все пункты наблюдений за качеством воды водоемов и водотоков делят на 4 категории, определяемые частотой и детальностью программ наблюдений. *Пункты первой категории* располагают на средних и больших водоемах и водотоках, имеющих важное народнохозяйственное значение:

- в районах городов с населением свыше 1 млн. жителей; в местах нереста и зимовья особо ценных видов промысловых рыб;
- в районах организованного сброса сточных вод, в результате которых наблюдается высокая загрязненность воды;

- в районах повторяющихся аварийных сбросов загрязняющих веществ. *Пункты второй категории* устанавливаются в районах городов с населением от 0,5 до 1 млн. жителей; в районах организованного сброса сточных вод, в результате которых наблюдается средняя загрязненность воды; при пересечении водотоками государственной границы. *Пункты третьей категории* устанавливаются в районах городов с населением от менее 0,5 млн. жителей; на замыкающих участках больших и средних рек; в устьях загрязненных притоков больших водоемов и водотоков; в районах организованного сброса сточных вод, в результате которых наблюдается низкая загрязненность воды. *Пункты четвертой категории* устанавливаются на незагрязненных участках водоемов и водотоков; на водоемах и водотоках, расположенных на территориях государственных заповедников и национальных парков.

Наблюдения за качеством воды в водных объектах ведут по определенным видам программ – обязательной или сокращенной, которые выбирают в зависимости от категории пункта контроля и периодичности наблюдений. Наблюдения по *обязательной программе* на водотоках проводят, как правило, 7 раз в год в основные фазы водного режима: во время половодья – на подъеме, пике и спаде; во время летней межени – при наименьшем расходе и при прохождении дождевого паводка; осенью – перед ледоставом; во время зимней межени. В водоемах качество воды исследуют при следующих гидрологических режимах: в начале весеннего наполнения водоема; в период максимального наполнения; в летне-осенний период – при наиболее низком уровне воды; зимой – при наиболее низком уровне и наибольшей толщине льда. Параметры, определение которых предусмотрено обязательной программой наблюдений за качеством поверхностных вод по гидрохимическим и гидрологическим показателям, приведены в таблице 6.

Сокращенную программу наблюдений за качеством поверхностных вод по гидрохимическим и гидрологическим показателям подразделяют на три вида. Первая программа предусматривает визуальные наблюдения, определение расхода воды на водотоках или уровень воды на водоемах, температуры воды, концентрации растворенного кислорода, удельной электропроводности. Вторая программа предусматривает визуальные наблюдения, определение расхода воды на водотоках или уровень воды на водоемах, температуры воды, удельной электропроводности, рН, химического и биологического потребления кислорода (ХПК, БПК₅), концентрации взвешенных веществ, концентрации 2-3 загрязняющих веществ, основных для воды в данном пункте контроля. Третья программа предусматривает визуальные наблюдения, определение расхода воды и скорости течения на водотоках или уровень воды на водоемах, температуры воды, рН, концентрации растворенного кислорода, БПК₅, концентрации

взвешенных веществ, концентрации всех веществ, загрязняющих воду в данном пункте контроля. Гидрохимические показатели качества природных вод в пунктах контроля сопоставляют с установленными нормативами качества воды [8]. Сеть гидрохимических наблюдений должна охватывать:

- в пространстве – по возможности все водные объекты, расположенные на территории изучаемого объекта; всю длину водотока с определением влияния наиболее крупных его притоков и сброса сточных вод в него; всю акваторию водоема с определением влияния на него наиболее крупных притоков и сброса в него сточных вод;

- во времени – все фазы гидрологического режима (весеннее половодье, летнюю межень, летние и осенние дождевые паводки, ледостав, зимнюю межень); различные по водности годы (многоводные, средние по водности и маловодные); суточные изменения химического состава воды; аварийные сбросы сточных вод в водные объекты.

Таблица 6

Параметры, определение которых предусмотрено обязательной программой наблюдений

Наименование параметра	Единицы измерения	Наименование параметра	Единицы измерения
Расход воды на водотоках	м ³ /с	Концентрации основных анионов и катионов:	
Скорость течения на водотоках	м/с	HCO ₃ ⁻	мг /дм ³
Уровень воды на водоемах	м	Cl ⁻	мг /дм ³
Визуальные наблюдения	-	SO ₄ ²⁻	мг /дм ³
Температура	°С	Ca ²⁺	мг /дм ³
Цветность	градусы	Mg ²⁺	мг /дм ³
Запах	баллы	Na ⁺	мг /дм ³
Водородный показатель рН	ед. рН	K ⁺	мг /дм ³
Окислительно-восстановительный потенциал Eh	мВ	сумма ионов	мг /дм ³
ХПК	мг O ₂ /дм ³	нормируемых примесей:	
БПК ₅	мг O ₂ /дм ³	NH ₄ ⁺	мг /дм ³
Концентрации растворенного кислорода	мг /дм ³	NO ₂ ⁻	мг /дм ³
диоксида углерода	мг /дм ³	NO ₃ ⁻	мг /дм ³
нефтепродуктов	мг /дм ³	PO ₄ ³⁻	мг /дм ³
СПАВ	мг /дм ³	Fe _{общ}	мг /дм ³
фенолов	мг /дм ³	SiO ₄ ⁴⁻	мг /дм ³
Пестицидов	мг /дм ³	тяжелых металлов	мг /дм ³

Программы и периодичность наблюдений по гидрохимическим показателям для пунктов различных категорий приведены в таблице 7.

Программы и периодичность наблюдений по гидрохимическим показателям для пунктов различных категорий

Периодичность проведения контроля	Категория пункта наблюдений			
	I	II	III	IV
Ежедневно	Сокращенная программа 1	Визуальные наблюдения	-	-
Ежемесячно	Сокращенная программа 2	Сокращенная программа 1	-	-
Ежедекадно	Сокращенная программа 3			-
В основные фазы водного режима	Обязательная программа			

Периодичность проведения наблюдений по гидробиологическим показателям устанавливается в соответствии с категорией пункта наблюдений. *Полная программа* наблюдений по гидробиологическим показателям предусматривает:

- исследование фитопланктона (общей численности клеток, числа видов, общей биомассы, численности и биомассы основных групп, числа видов в группе, массовых видов и видов-индикаторов сапробности); зоопланктона (общей численности организмов, общего числа видов, общей биомассы, численности и биомассы основных групп, числа видов в группе, массовых видов и видов-индикаторов сапробности); зообентоса (общей численности, общего числа видов, общей биомассы, числа групп по стандартной разработке, числа видов в группе, числа и биомассы основных групп, массовых видов и видов-индикаторов сапробности); перифитона (общего числа видов, массовых видов, частоты встречаемости, сапробности), макрофитов (проективного покрытия опытной площадки, характера распространения растительности, общего числа видов, преобладающих видов);

- определение микробиологических показателей (общего числа бактерий, числа сапрофитных бактерий, отношения общего числа бактерий к числу сапрофитных бактерий);

- изучение процессов фотосинтеза и деструкции органического вещества, определение отношения интенсивности процесса фотосинтеза и деструкции органического вещества, содержания хлорофилла.

Сокращенная программа наблюдений по гидробиологическим показателям предусматривает:

- исследование фитопланктона (общей численности клеток, общего числа видов, массовых видов и видов-индикаторов сапробности); зоопланктона (общей численности организмов, общего числа видов, массовых видов и ви-

дов-индикаторов сапробности); зообентоса (общей численности групп по стандартной разработке, числа основных групп, массовых видов и видов-индикаторов сапробности); перифитона (общего числа видов, массовых видов, частоты встречаемости, сапробности).

Периодичность проведения наблюдений и виды программ по гидробиологическим показателям приведены в таблице 8.

Таблица 8

Периодичность проведения наблюдений и виды программ по гидробиологическим показателям

Периодичность проведения наблюдений	Категория пункта наблюдений			
	I	II	III	IV
Ежемесячно	Сокращенная программа	Сокращенная программа	Сокращенная программа (контроль в вегетационный период)	-
Ежеквартально	Полная программа			

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте определение понятия «водное хозяйство».
2. Каковы основные цели водного хозяйства и решаемые при этом задачи?
3. Сформулируйте определение понятия «водохозяйственная система».
4. По каким признакам и как проводят классификацию инженерных сооружений?
5. Что определяют термином «гидротехнические сооружения»?
6. На чем основана классификация гидроузлов?
7. Сформулируйте определения понятий «комплексный гидроузел» и «водохозяйственный комплекс».
8. Что включает понятие «управление водохозяйственными системами»?
9. Назовите основные этапы организации и структуру государственного экологического мониторинга водных объектов.
10. Сформулируйте определение понятия «пункт наблюдения». Для решения каких задач они организуются?
11. На какие категории и как подразделяют пункты наблюдений?
12. Что определяют термином «створ»? С учетом каких факторов определяют их необходимое количество и местоположение?
13. Как определяют количество вертикалей в створе и количество горизонтов на вертикали?
14. Назовите основные виды программ наблюдений за качеством вод водных объектов.
15. На чем основаны различия обязательной и сокращенной программ наблюдений за качеством поверхностных вод водотоков и водоемов?

Глава 3. СОСТАВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ ВОД

3.1. Природная вода как многокомпонентный раствор

Чистая природная вода – жидкость без запаха, вкуса и цвета (в слое толщиной более 2 м голубоватая).

Вода в природе не является «чистой» в химическом понимании этого слова. В природных водах растворены почти все известные на Земле химические элементы. Из 87 стабильных химических элементов, установленных в земной коре, в настоящее время в природных водах обнаружено около 80 [19]. Природная вода представляет собой сложную многокомпонентную систему, в состав которой входят минеральные вещества, газы, коллоидные и крупнодисперсные частицы, микроорганизмы. Химически растворенные вещества (соли) присутствуют в воде в виде ионов – катионов и анионов. Ионно-солевой состав природных вод представлен макро- и микрокомпонентами. К числу основных растворенных минеральных макрокомпонентов природных вод относятся ионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- . В малых количествах содержатся ионы Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , B^{3+} , Br^- , I^- , F^- , HPO_4^{2-} , HSO_4^- , SO_3^{2-} , HSO_3^- , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, HS^- , NO_2^- , NH_4^+ , HSiO_3^- . К микрокомпонентам природных вод относятся редкие и рудные элементы: Li, Rb, Cs, Zn, Bi, Be, W, U, Sr и др. В зависимости от условий залегания природные воды содержат различные растворенные газы, наибольшее значение из них имеют O_2 , CO_2 , N_2 , H_2S , NH_3 . В малых количествах присутствуют CH_4 , Ar, He, Rn. Растворенный в воде кислород создает условия для биологического самоочищения водоемов и водотоков. Диоксид углерода и гидрокарбонаты обуславливают буферную емкость воды. Растворенные в воде компоненты находятся в равновесии, образуя комплексы различного состава. В приложении 2 приведены средние концентрации химических элементов в природных водах.

В качестве примера в таблице 9 приведен состав природных вод по основным макрокомпонентам различных источников.

Таблица 9

Состав природных вод

Тип природных вод	Содержание основных катионов и анионов в воде, мг/кг воды							
	катионы				анионы			
	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	Br^-	SO_4^{2-}	HCO_3^- , CO_3^{2-}
Морская вода	10560	380	1270	400	18980	65	2650	140
Поверхностные воды	5,1	1,3	3,3	13,4	6,4	-	11,19	47,6
Грунтовые воды	45,5	4,59	45,5	43,9	47,0	-	-	-

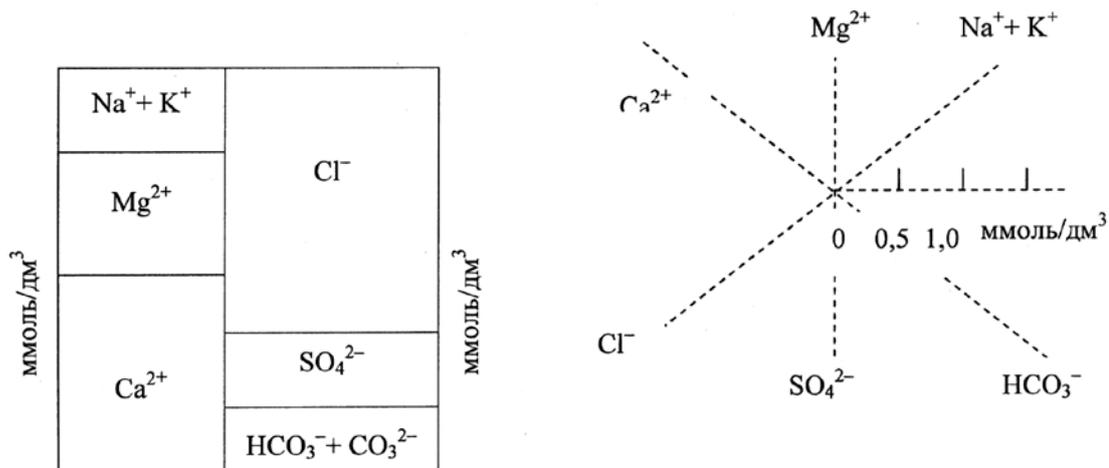
3.2. Классификация природных вод

Природные воды в зависимости от цели изучения, области использования и решаемых задач классифицируют по различным признакам – по химическому составу, минерализации, водородному показателю рН, геохимическим условиям формирования состава воды, показателям уровня загрязнения водных объектов и др.

Основой для систематизации в существующих классификациях природных вод по химическому составу служат следующие признаки: концентрация преобладающего компонента или их групп, соотношение между концентрациями разных ионов, наличие повышенных концентраций каких-либо специфических компонентов газового (CO_2 , H_2S , CH_4 и др.) или минерального (F^- , Rn и др.) состава, минерализация воды. Универсальной классификации природных вод пока не существует. К наиболее известным и чаще употребляемым относятся классификации природных вод по химическому составу Ч. Пальмера, С.А. Шукарева, И.К. Зайцева и Н.И. Толстихина, В.А. Сулина, О.А. Алекина. Для минеральных вод используются классификации В.В. Иванова и Г.А. Невраева, для рассолов – М.Г. Валяшко, для поверхностных вод – О.А. Алекина и Г.А. Максимовича. Химический состав воды изображают в виде графика или диаграммы (рис. 2), индекса, формулы [12]. Классификации учитывают только главные анионы (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) и катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), содержащиеся в природных водах.

Классификация Ч. Пальмера основана на определении соотношений между главными анионами и катионами при эквивалентной форме выражения состава природных вод. Ионы, близкие по своим химическим свойствам, объединяются в группы. Катионы делятся на три группы: *a* – сильные основания (щелочи) Na^+ , K^+ ; *e* – слабые основания (щелочноземельные) Ca^{2+} , Mg^{2+} ; *m* – весьма слабые основания (тяжелые металлы) Fe^{2+} , Al^{3+} , Cu^{2+} . Анионы делятся на две группы: *S* – сильные кислоты Cl^- , SO_4^{2-} ; *A* – слабые кислоты HCO_3^- и др. Если в воде содержатся другие ионы, то они включаются в соответствии с их свойствами в одну из приведенных групп, например, NH_4^+ – в группу щелочей, Mn^{2+} – в группу тяжелых металлов, HSiO_3^- – в группу слабых кислот и т.п. Каждая из групп обуславливает то или иное свойство воды. Сильные кислоты создают соленость, слабые кислоты – щелочность воды. Свойства, которые придаются воде щелочами, называются *первыми*, щелочноземельными элементами – *вторыми*, тяжелыми металлами – *третьими*. Получаемые при этом сочетания приведены в таблице 10.

а



б

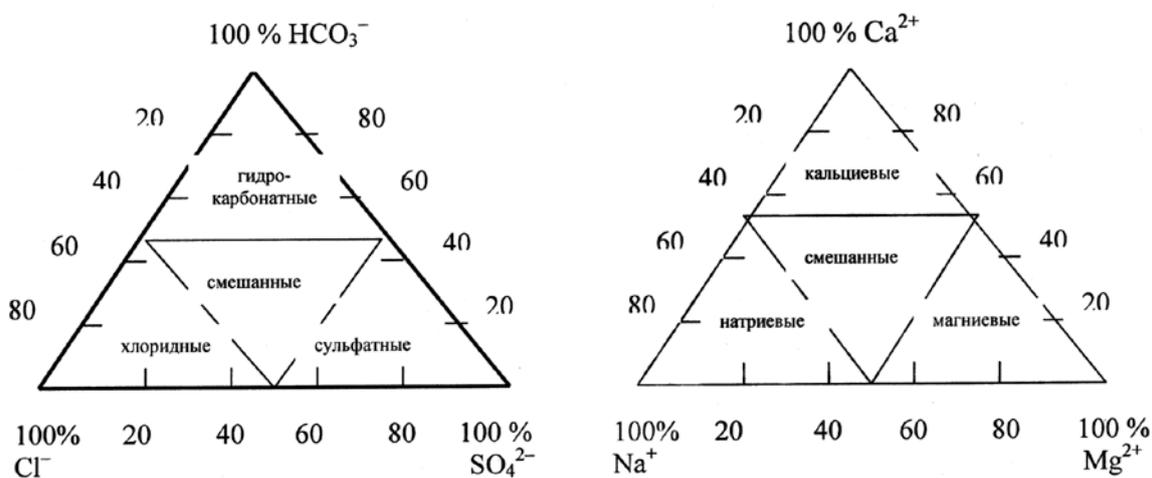


Рис. 2. Способы изображения химического состава воды:
а – в виде графика, б – в виде диаграммы

Таблица 10

Классификация химического состава природных вод
(по Ч. Пальмеру)

Характеристика кислот	Характеристика основания		
	сильные <i>a</i>	слабые <i>e</i>	весьма слабые <i>t</i>
сильные <i>S</i>	Первая соленость <i>S₁</i>	Вторая соленость <i>S₂</i>	Третья соленость <i>S₃</i>
слабые <i>A</i>	Первая щелочность <i>A₁</i>	Вторая щелочность <i>A₂</i>	Третья щелочность <i>A₃</i>

В классификации Ч. Пальмера выделяется пять классов природных вод (табл. 11).

Таблица 11

Класс и характеристика природных вод
(по Ч. Пальмеру)

Класс	I	II	III	IV	V
Формула	$S < a$	$S = a$	$a > S < a + e$	$S = a + e$	$S > a + e$
Характеристика вод	мягкие щелочные воды	промежуточный тип	жесткие воды	близкие по составу морской воде	кислые воды, содержащие тяжелые металлы

Более удобен для сравнения химического состава природных вод метод систематизации, предложенный С.А. Щукаревым, основанный на делении на классы по шести главным ионам (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). По этой классификации ионы делятся на преобладающие и второстепенные. Преобладающими ионами считаются те, концентрация которых выраженная в эквивалентной форме превышает 25 %. В классификации С.А. Щукарева учитываются только преобладающие ионы. Из шести главных ионов могут быть построены 49 комбинаций, отвечающих 49 классам природных вод. Если, например, в воде преобладают ионы Cl^- и Ca^{2+} , то такая вода называется хлоридно-кальциевой, при преобладающем содержании ионов Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Mg^{2+} - сульфатно-хлоридной натриево-магниевой. Систематизация природных вод по химическому составу по схеме С.А. Щукарева приведена в таблице 12.

Таблица 12

Классификация химического состава природных вод
(по С.А.Щукареву)

Преобладающие катионы	Преобладающие анионы						
	HCO_3^-	$\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$	$\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-$	SO_4^{2-}	$\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$	Cl^-
Ca^{2+}	1	8	15	22	29	36	43
$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	2	9	16	23	30	37	44
Mg^{2+}	3	10	17	24	31	38	45
$\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$	4	11	18	25	32	39	46
$\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	5	12	19	26	33	40	47
$\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}$	6	13	20	27	34	41	48
Na^+	7	14	21	28	35	42	49

Классификация О.А. Алекина, получившая наибольшее практическое применение, сочетает принцип деления химического состава по преобладающим ионам (классы и группы) с делением по количественному соотношению между ними (типы). По преобладающему аниону воды делятся на три класса, каждый класс по преобладающему катиону подразделяется на три группы, каждая из которых делится на четыре типа вод. Класс воды обозначается химическим символом по главному аниону (С, S, Cl), группа – химическим символом по преобладающему катиону (Ca, Mg, Na), тип обозначается римской цифрой (таблица 13).

Таблица 13

Классификация химического состава природных вод
(по О.А. Алекину)

Классы	Группы	Типы
Гидрокарбонатные (С)	Кальциевая (Ca)	I $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$
Сульфатные (S)	Магниева (Mg)	II $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$
Хлоридные (Cl)	Натриевая (Na)	III $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$
		IV $\text{HCO}_3^- = 0^*$

Примечание. * Воды четвертого типа относятся только к сульфатному и хлоридному классу.

Для краткого обозначения 27 комбинаций химического состава природных вод по этой классификации применены символы, с использованием которых химический состав исследуемой воды записывают в виде индекса. Например, индекс ССаII⁵0,4 означает, что вода гидрокарбонатного класса, группы кальция, типа II, с жесткостью 5 ммоль/дм³ и минерализацией 0,4 г/дм³ (400 г/дм³ – пресные воды).

По минерализации также существует несколько классификаций природных вод. *Минерализация природных вод* – сумма всех найденных при химическом анализе воды минеральных веществ, выраженная в мг/дм³ или г/кг (ГОСТ 17403-72). Классификация природных вод по минерализации имеет следующие градации: до 1 г/дм³ – пресные воды; до 50 г/дм³ – солоноватые; более 50 г/дм³ – рассолы (слабые, средние, крепкие); 250 – 300 г/дм³ – рапа.

Пресные воды по величине минерализации делятся (по О.А. Алекину) на: маломинерализованные до 200 мг/дм³, среднеминерализованные – 200 – 500 мг/дм³ и с повышенной минерализацией – 500 – 1000 мг/дм³. Воды с минерализацией до 100 мг/дм³ относятся к очень маломинерализованным (уль-

трапресная вода). Большинство рек и озер имеют малую и среднюю минерализацию гидрокарбонатно-кальциевого и гидрокарбонатно-магниево-кальциевого состава. Ультрапресные природные воды с минерализацией до 100 мг/дм^3 формируются в условиях положительного баланса влаги, где осадки преобладают над испарением. Формирование химического состава поверхностных вод этой территории происходит в условиях, когда грунтовые воды, относящиеся к зоне пресных вод, и почвенный покров не способствуют появлению в водах больших количеств растворенных веществ. Особенно характерно распространение ультрапресных вод для зоны многолетней мерзлоты. Пресные воды служат источником питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, используются для рыбохозяйственных целей, во многих технологических процессах, в энергетике и других отраслях экономики, где существуют ограничения по минерализации воды (до 1000 мг/дм^3).

Солоноватые природные воды по величине концентрации солей разделяются на следующие градации: солоноватая вода – от 1 до 3 г/дм^3 , слабосоленая вода – от 3 до 10 г/дм^3 , соленая и очень соленая вода – от 10 до 50 г/дм^3 .

Природные рассолы (природные воды с минерализацией более 50 г/дм^3) образуются в бессточных озерах вследствие концентрирования в воде солей при испарении и в глубинных слоях горных пород. Рассолы используются как химическое сырье, теплоноситель в холодильных установках. Рапа (син. тузлук) – вода минерального озера, представляющая насыщенный раствор солей (рассол) и пропитывающая донные отложения (донная рапа). Рапа используется в лечебных целях и в промышленности.

Показателем минерализации вод может служить электропроводность. *Электропроводностью* K называется величина, обратная удельному сопротивлению, выраженному в омах:

$$K = 1/W .$$

Под удельным сопротивлением понимается сопротивление, которое оказывает прохождению тока 1 см^3 исследуемой воды при 25°C . Удельная электропроводность приблизительно соответствует нормируемым величинам минерализации $2 \text{ мОм}^{-1}/\text{см}$ (1000 мг/дм^3) и $3 \text{ мОм}^{-1}/\text{см}$ (1500 мг/дм^3) как в условиях хлоридной, так и карбонатной минерализации. Удельная электропроводность поверхностных вод большинства рек определяется величиной от 30 до $1500 \text{ мкОм}^{-1}/\text{см}$. Удельная электропроводность атмосферных осадков (с минерализацией от 3 до 60 мг/дм^3) составляет величины от 20 до $120 \text{ мкОм}^{-1}/\text{см}$.

Водородный показатель (рН) в природных водах подвержен сезонным колебаниям и определяется геологией водосборного бассейна. Значение рН в речных водах обычно варьирует в пределах 6,5 – 8,5 (для большинства речных вод зимой он составляет 6,8 – 7,4, летом 7,4 – 8,2), в атмосферных

осадках 4,6 – 6,1, в болотах 5,5 – 6,0, в морских водах 7,9 – 8,3. Содержание ионов водорода (гидроксония H_3O^+) в природных водах определяется в основном количественным соотношением концентраций угольной кислоты и ее ионов. Источником ионов водорода являются также гумусовые кислоты, содержащиеся в почвах, гидролиз солей тяжелых металлов (сульфатов железа, алюминия, меди и т.д.). Природные воды в зависимости от величины рН подразделяют на семь групп: сильнокислые воды – $\text{pH} < 3$, кислые воды – 3 – 5, слабокислые воды – 5 – 6,5, нейтральные воды – 6,5 – 7,5, слабощелочные воды – 7,5 – 8,5, щелочные воды – 8,5 – 9,5, сильнощелочные воды – $\text{pH} > 9,5$.

При всей значимости классификаций природных вод по химическому составу их применение необходимо, но недостаточно для выделения приоритетных показателей и целей охраны вод гидросферы. Разработка научных принципов и методологии рационального использования и охраны вод, оценки степени соответствия национальным стандартам качества вод водных объектов, используемых для питьевых и хозяйственных целей, основывается на учете региональных ландшафтно-геохимических условий и характере хозяйственного освоения территории. Ландшафтно-геохимические особенности территории определяют величину общей минерализации, набор типоморфных элементов, окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия водной среды, состав органического вещества и возможности комплексообразования элементов, устойчивость, токсические свойства, миграционную способность химических веществ, наличие геохимических барьеров и т.п. Огромное значение имеют также характер и масштаб региональных различий техногенного воздействия. Все химические вещества техногенного происхождения, поступающие в природные воды, начинают мигрировать в соответствии с зональными особенностями водных объектов.

На учете ландшафтно-геохимических условий формирования химического состава природных вод основана их геохимическая классификация. Геохимическая классификация разработана известным ученым А.И. Перельманом. В основу классификации положены значения окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных потенциалов химических реакций, определяющих условия образования различных по химическому составу природных вод. В зависимости от окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных характеристик воды выделены 12 геохимических классов (таблица 14) [1].

При гигиенической классификации природных вод наиболее часто используемыми показателями для оценки уровня их загрязнения являются гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ), гидробиологический индекс сапробности (S), микробиологические показатели.

Основные геохимические классы природных вод
(по А.И. Перельману)

Кислотно-щелочные характеристики воды	Окислительно-восстановительные характеристики воды		
	кислородные	глеевые	сероводородные
Сильнокислые (рН < 3)	Сильнокислые кислородные	Сильнокислые глеевые	Сильнокислые сероводородные
Кислые и слабокислые (рН = 3-6,5)	Кислые кислородные	Кислые глеевые	Кислые сероводородные
Нейтральные и щелочные (рН=6,5-8,5)	Нейтральные и щелочные кислородные	Нейтральные и щелочные глеевые	Нейтральные и щелочные сероводородные
Сильнощелочные (содовые, рН>8,5)	Содовые кислородные	Содовые глеевые	Содовые сероводородные

Гидрохимический индекс загрязнения воды, как правило, рассчитывают по 6-7 гидрохимическим показателям, часть из которых (концентрация растворенного кислорода, водородный показатель рН, биологическое потребление кислорода БПК₅) является обязательной. Расчет индекса загрязнения воды проводят по формуле

$$\text{ИЗВ} = \sum_{i=1}^k (C_i / \text{ПДК}_i) / k,$$

где C_i – средняя концентрация загрязняющего вещества (значение параметра) в воде водного объекта, мг/дм³; ПДК_{*i*} – предельно допустимое значение концентрации загрязняющего вещества в воде водного объекта соответствующего назначения, мг/дм³; k – число суммируемых показателей, используемых для расчета индекса загрязнения.

В зависимости от величины интегрального гидрохимического индекса загрязнения ИЗВ выделяют 7 классов качества воды (таблица 15).

Гидробиологический индекс сапробности рассчитывают исходя из индивидуальных характеристик сапробности видов, представленных в различных водных сообществах (фитопланктоне, перифитоне), по формуле

$$S = \left[\sum_{i=1}^k (S_i h_i) \right] / \sum_{i=1}^k h_i,$$

где S_i – значение сапробности гидробионта; h_i – относительная встречаемость индикаторных организмов; k – число выбранных индикаторных организмов.

Таблица 15

**Классификация поверхностных вод по гидрохимическому
индексу загрязнения (по методике Минприроды РФ)**

Значение индекса загрязнения	0,3	0,3 – 1,0	1,0 – 2,5	2,5 – 4,0	4,0 – 6,0	6,0 – 10,0	> 10,0
Уровень загрязнения	Очень чистая вода	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная	Очень грязная	Чрезвычайно грязная
Класс качества вод	1	2	3	4	5	6	7

Значение сапробности гидробионта S_i определяют с использованием специальных таблиц. Каждому виду исследуемых организмов присвоено некоторое условное численное значение индивидуального индекса сапробности, отражающее совокупность его физиолого-биохимических свойств, обуславливающих способность обитать в воде с тем или иным содержанием органических веществ. Для статистической достоверности результатов необходимо, чтобы в пробе воды содержалось не менее индикаторных организмов с общим числом особей не менее 30 в поле зрения микроскопа. Классификация водных объектов по значению интегрального гидробиологического индекса сапробности приведена в таблице 16.

Таблица 16

**Классификация поверхностных вод по гидробиологическому
индексу сапробности**

Уровень загрязнения	Зоны	Индекс сапробности S	Класс качества вод
Очень чистые	ксеносапробная	< 0,50	1
Чистые	олигосапробная	0,50-1,50	2
Умеренно загрязненные	а-мезосапробная	1,51-2,50	3
Тяжело загрязненные	б- мезосапробная	2,51-3,50	4
Очень тяжело загрязненные	полисапробная	3,51-4,00	5
Очень грязные	полисапробная	>4,00	6

Уровень загрязнения и класс качества воды водных объектов иногда устанавливают в зависимости от микробиологических показателей (табл. 17).

Таблица 17

Классификация поверхностных вод по микробиологическим показателям

Уровень загрязнения	Микробиологические показатели			Класс качества вод
	общее число бактерий, 10^6 клеток/см ³	число сапрофитных бактерий, 10^3 клеток/см ³	отношение общее число бактерий к числу сапрофитных бактерий, отн. ед	
Очень чистые	< 0,50	< 0,50	< 1000	1
Чистые	0,5-1,0	0,5-5,0	> 1000	2
Умеренно загрязненные	1,1-1,3	5,1-10,0	1000-100	3
Загрязненные	3,1-5,0	10,1-50,0	< 100	4
Грязные	5,1-10,0	50,1-100,0	< 100	5
Очень грязные	>10,0	> 1000	< 100	6

3.3. Оценка качества природных вод

Качество воды – характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретных видов водопользования (ГОСТ 17.1.1.01-77).

Степень соответствия состава и свойств воды водного объекта не всегда удовлетворяет требованиям водопотребителей и различна для разных хозяйственных целей. В связи с этим устанавливаются нормы качества воды.

Нормы качества воды – установленные значения показателей качества воды для конкретных видов водопользования (ГОСТ 27065-86). Вещество в воде, вызывающее нарушение норм качества воды, называют *загрязняющим веществом* (ГОСТ 17.1.1.01-77).

Различают нормы качества воды водных объектов и нормы качества воды, непосредственно используемой для разных категорий водопотребителей (питьевой воды, технической воды и т.п.).

Правила охраны поверхностных вод от загрязнения устанавливают нормы качества воды водоемов и водотоков для условий хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования. Нормирование качества воды водного объекта состоит в установлении совокупности допустимых значений показателей ее состава и свойств, в пределах которых надежно обеспечиваются благоприятные условия водопользования и экологическое благополучие водного объекта. Согласно Правилам, если водный объект используется для нескольких видов пользования, то в качестве

санитарно-гигиенического норматива выбирается самая низкая (самая жесткая) предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества (ПДК).

Предельно допустимая концентрация в воде водоема хозяйственно-питьевого (ПДК_{х. п}) и культурно-бытового водопользования (ПДК_{к. б}) – это концентрация загрязняющего вещества в воде, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования. *Предельно допустимая концентрация* в воде водоема используемого для рыбохозяйственных целей (ПДК_{р. х}) – это концентрация загрязняющего вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых.

Общие требования к качеству воды водных объектов приведены в таблице 18 [15].

Таблица 18

Общие требования к качеству воды водных объектов

Наименование показателя	Виды водопользования			
	хозяйственно-питьевое	культурно-бытовое	рыбохозяйственное	
			высшая и первая категории	вторая категория
1	2	3	4	5
Взвешенные вещества	Содержание взвешенных веществ не должно увеличиваться более чем на			
	0,25 мг/дм ³	0,75 мг/дм ³	0,25 мг/дм ³	0,75 мг/дм ³
Плавающие примеси	На поверхности водного объекта не должны обнаруживаться плавающие пленки, пятна минеральных масел и других примесей			
Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике		Вода не должна иметь окраски	
	20 см	10 см		
Запахи, привкусы	Вода не должна приобретать запахов и привкусов более 2 баллов, обнаруживаемых		Вода не должна придавать посторонних привкусов и запахов рыбопродуктам	
	непосредственно или после хлорирования	непосредственно		
Температура	Летом, после спуска сточных вод, не должна повышаться более чем на 3 °С по сравнению со средней температурой в самый жаркий месяц		Не должна повышаться более чем на 5 °С там, где обитают холоднолюбивые рыбы, и не более 8 °С в остальных случаях (по сравнению с естественной температурой водного объекта)	

1	2	3	4	5
Водородный показатель pH	Не должен выходить за пределы 6,5 - 8,5			
Минерализация воды	Не должна превышать по плотному остатку 1000 мг/дм ³ , в том числе хлоридов – 350 мг/дм ³ , сульфатов – 500 мг/дм ³	Нормируется по показателю «привкус»	Нормируется согласно таксации рыбохозяйственных водных объектов	
Растворенный кислород	В любой период года не ниже 4,0 мг/дм ³ в пробе воды, отобранной до 12 ч дня	В подледный период не ниже		
		6,0 мг/дм ³	4,0 мг/дм ³	
Полное биохимическое потребление кислорода (БПК _{полн})	При 20 °С не должно превышать			
	3,0 мг/дм ³	6,0 мг/дм ³	3,0 мг/дм ³	3,0 мг/дм ³
Химическое потребление кислорода	Не более 15,0 мг/дм ³	Не более 30,0 мг/дм ³	-	-
Химические вещества	Не должны содержаться в воде водотоков и водоемов в концентрациях, превышающих ПДК, установленные			
	СанПиН 4630-88		Перечнем ПДК и ОБУВ вредных веществ для воды водных объектов рыбохозяйственного назначения	
Возбудители заболеваний	Вода не должна содержать возбудителей заболеваний, в том числе жизнеспособных яиц гельминтов и цист патогенных кишечных простейших			
Лактозоположительные кишечные палочки (ЛПКП)	Не более 10 000 в 1 дм ³	Не более 100 в 1 дм ³	-	-
Колифаги (в бляшкообразующих единицах)	Не более 100 в 1 дм ³		-	-
Токсичность воды	-	-	Сточная вода на выпуске в водный объект не должна оказывать острого токсического действия на тест-объекты	

Нормы качества воды для питьевого водоснабжения определены санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами (СанПиН 2.1.4.1074-01, СанПиН 2.1.4.1175-02). Нормы качества воды, используемой для технических целей, устанавливаются отраслевыми техническими условиями, учитывающими специфику технологии производства. Основные требования к составу и свойствам воды, используемой для питьевых и технических целей, приведены в таблице 19.

Таблица 19

Основные требования к составу и свойствам воды [12]

Направления использования вод	Требования к составу и свойствам воды
Для питьевого водоснабжения	Питьевая вода должна быть чистой, приятной на вкус, безопасной по бактериальному составу и безвредной по содержанию газовых и химических компонентов.
Для технического водоснабжения	<p>Вода должна иметь реакцию, близкую к нейтральной, не должна быть жесткой, не должна содержать жиров, масел, свободной углекислоты и сульфатов.</p> <p>Вода для питания паровых котлов не должна вызывать: накипеобразования; коррозии (разъедания стенок); разрушения перенапряженного железа под влиянием высокой концентрации щелочей.</p> <p>При воздействии на бетон вода не должна вызывать его разрушения вследствие: выщелачивания и растворения его составных частей (например, извести); образования в бетоне новых соединений (наиболее вредными солями являются сульфаты, в результате взаимодействия которых с известью в порах бетона кристаллизуется гипс). Воды с содержанием SO_4^{2-} от 200 до 800 мг/дм³ являются слабо агрессивными, с содержанием более 800 мг/дм³ - агрессивными.</p>
Для ирригации	Безвредными для орошения считаются воды с общей минерализацией не более 1700 мг/дм ³ . Предельной нормой считается 5000 мг/дм ³ . Степень вредности растворенных в воде солей может быть охарактеризована отношением массовых величин $Na_2SO_4 : NaCl : NaHCO_3 = 1:3:10$. В зависимости от химического состава вод, характера почв, рода растений, а также от агрохимических мероприятий нормы могут меняться.

Оценка качества воды, используемой для *питьевого водоснабжения*, включает определение степени соответствия ее состава и свойств гигиеническим требованиям в эпидемиологическом отношении по микробиологиче-

ским и паразитологическим показателям, по химическому составу, органолептическим свойствам и показателям радиационной безопасности [16], [17].

Безопасность питьевой воды в эпидемиологическом отношении определяется степенью общего бактериального загрязнения и содержанием бактерий группы кишечной палочки. Количественно загрязненность воды оценивается по микробному числу, колититру и колииндексу. Колититр представляет собой объем воды в см³, в котором содержится одна кишечная палочка. Колииндекс характеризует количество кишечных палочек в 1 дм³ воды. Согласно существующему стандарту, в питьевой воде колититр – не менее 300 см³, колииндекс – не более 3.

Безвредность питьевой воды по химическому составу определяется ее соответствием нормативам по обобщенным показателям и содержанию химических веществ, встречающихся в природных водах, а также добавляемых в процессе водоподготовки или поступающих в источники водоснабжения в результате хозяйственной деятельности человека. При оценке химического состава воды, используемой для питьевого водоснабжения, имеет значение не только концентрация растворенных в ней отдельных компонентов, но и их соотношение, отвечающее требованиям по критериям физиологической полноценности и сбалансированности биологически активных ионов макро- и микроэлементов. Существенное значение имеют общая минерализация и жесткость воды. В соответствии с гигиеническими требованиями к качеству питьевой воды суммарная минерализация не должна превышать величины 1000 мг/дм³. Очень малая минерализация (до 100 мг/дм³) также ухудшает качество воды (вообще лишенная солей вода понижает осмотическое давление внутри клетки и считается вредной). Жесткость воды выражается в миллимолях количества вещества эквивалента Ca²⁺ и Mg²⁺, содержащихся в 1 дм³ воды. Жесткость 1 ммоль/ дм³ соответствует содержанию 20,04 мг Ca²⁺/дм³ или 12,16 мг Mg²⁺/дм³. Если в воде содержатся соли кальция и соли магния, то жесткость выражается суммой миллимолей количества вещества эквивалента Ca²⁺ и Mg²⁺ в 1 дм³ воды. Характеристика питьевой воды по значению величины показателя жесткости (в миллимолях количества вещества эквивалента на 1 дм³ воды) приведена в таблице 20.

Таблица 20

Характеристика воды по показателю жесткости

Характеристика воды	очень мягкая	мягкая	умеренно жесткая	жесткая	очень жесткая
Значение величины показателя жесткости, ммоль/ дм ³	до 1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	6,0-10,0	более 10,0

В соответствии с гигиеническими нормативами величина общей жесткости в питьевой воде не должна превышать 10 ммоль/дм³. Водородный показатель pH должен быть в пределах 6,0-9,0 ед. pH.

Органолептические свойства питьевой воды характеризуются значениями допустимого изменения интенсивности запаха, привкуса, цветности и мутности, а также содержанием химических веществ, ухудшающих органолептические свойства воды, прежде всего вкус. Вкусовые качества воды определяются количеством и качеством растворенных в ней солей (таблица 21).

Таблица 21

Пределы значений концентрации солей, придающих определенный вкус воде (по А.М. Овчинникову)

Наименование соли	Степень проявления и характеристика вкусовых качеств воды		
	едва ощутимый вкус	заметный вкус	неприятный вкус
	Концентрация соли, мг/дм ³		
Хлорид натрия	165	495	660
Хлорид магния	135	400	535
Сульфат натрия	150	450	-
Сульфат кальция	70	140	-
Сульфат магния	250	625	750
Сульфат железа (II)	1,6	4,8	-
Нитрат натрия	70	205	345
Гидрокарбонат натрия	415	450	-

Радиационная безопасность питьевой воды определяется ее соответствием нормативам по показателям общей α - и β -радиоактивности [16], [18] (таблица 22). Радиоактивность (от *лат.* radio излучаю + *activus* действенный) – самопроизвольное превращение нестабильных атомных ядер в другие ядра, сопровождающееся выделением одного или более типов излучения: α - частиц (сильно поглощаемых, положительно заряженных ядер атомов гелия), β - частиц (отрицательно заряженных частиц – электронов) и жесткого электромагнитного излучения (рентгеновского или γ -излучения). Для характеристики источника, в котором происходят радиоактивные превращения, используют понятие активности – физической величины, характеризующей число распадов в единицу времени в источнике. Единица активности по международной системе физических единиц СИ – беккерель (Бк): 1 Бк – активность радионуклида в источнике, в котором за 1 с происходит 1 акт распада (размерность Бк – секунда в минус первой степени, с⁻¹). Для оценки уровня радиоактивности источника используют понятия – удельной активности (Бк/кг), молярной

активности (Бк/моль), объемной активности (Бк/дм³), поверхностной активности (Бк/м²). Уровень радиоактивности питьевой воды определяют в единицах объемной активности.

Таблица 22

Нормативы по показателям радиоактивности

Наименование показателя	Единицы измерения	Норматив показателя	Показатель вредности
Общая α- радиоактивность	Бк/дм ³	0,1	радиационный
Общая β- радиоактивность	Бк/дм ³	1,0	радиационный

При значениях общей α- и β-радиоактивности ниже установленных нормативов (0,1 и 1,0 Бк/дм³ соответственно) дальнейшие исследования воды не являются обязательными. При показателях выше этого уровня проводится анализ содержания радионуклидов в воде. Определение объемной радиоактивности питьевой воды из подземных источников, вскрываемых скважинами, является обязательным.

Предельный уровень объемной радиоактивности питьевой воды нормами радиационной безопасности (НРБ-2009) определен величиной 60 Бк/дм³. При показателях объемной активности 60 Бк/дм³ и выше этого уровня проведение мероприятий по снижению радиоактивности питьевой воды является обязательным. Одним из наиболее эффективных методов снижения радиоактивности является аэрирование воды. Аэрирование входит в стандартную систему водоподготовки на городских водоочистных станциях. Эффективность очистки с использованием аэрационного оборудования составляет более 90 %, что позволяет снизить содержание радионуклидов в воде более чем в 10 раз. При автономном использовании скважинной воды индивидуальными пользователями достаточно высокая эффективность очистки достигается при использовании активированного угля. Фильтр на основе активированного угля способен удалить до 99,7 % радионуклидов, растворенных в воде. Со временем степень очистки снижается до 79 %.

При оценке качества воды, используемой в *пищевой промышленности*, предъявляются аналогичные требования. Качество воды, используемой в *сельском хозяйстве*, должно отвечать нормативным требованиям, предъявляемым к воде для хозяйственно–питьевых целей. При использовании воды в других отраслях экономики качество воды должно соответствовать отраслевым нормативным документам. При использовании воды для *технических целей*, прежде всего, учитываются ее жесткость, активная реакция воды, которая численно оценивается величиной рН, агрессивность воды (кислотность, щелоч-

ность). Применение жестких вод снижает экономичность в целом ряде производств. Наиболее высокие требования предъявляются по показателю жесткости воды, используемой для питания паровых котлов (из-за образования накипи). *Агрессивностью* называется разъедающее воздействие вод на материал сооружений и их отдельных частей (бетон, металлоконструкции и др.), находящихся в зонах колебания их уровня и насыщения. Количественно величина агрессивности природных вод определяется показателями кислотности и щелочности вод.

Кислотность природных вод определяется их способностью связывать гидроксид-ионы. В природных водах кислотность зависит от содержания свободного диоксида углерода, гуминовых и других слабых органических кислот и катионов слабых оснований (ионов аммония, железа, алюминия, органических оснований) и определяется величиной рН не ниже 4,5.

Щелочность природных вод обусловлена содержанием в них анионов слабых кислот. К таким анионам относятся карбонаты и гидрокарбонаты, силикаты, бораты, сульфиты и гидросульфиты, сульфиды и гидросульфиды, фосфаты, анионы гуминовых кислот. Суммарное содержание анионов слабых кислот в воде называется *общей щелочностью*. Щелочность большинства природных вод определяется только гидрокарбонатами кальция и магния (карбонатная щелочность), рН этих вод не превышает 8,3.

Выделяют пять видов агрессивности природных вод: общекислотную, выщелачивающую, карбонатную, сульфатную, магниальную. Проявление общекислотной агрессивности характерно для кислых вод. Общекислотная агрессивность определяется величиной рН. Выщелачивающая агрессивность характерна для мягких вод и проявляется при карбонатной щелочности менее 1,5 ммоль/дм³. Карбонатная агрессивность природных вод проявляется в разрушении бетона в результате растворения карбонатов кальция под воздействием угольной кислоты



Сульфатная агрессивность наблюдается при воздействии на бетон природных вод с концентрацией иона SO_4^{2-} более 250 мг/дм³. Магниальная агрессивность отмечается при воздействии на бетон природных вод с содержанием иона Mg^{2+} более 2000 мг/дм³.

Для оценки степени соответствия состава и свойств воды требованиям норм качества проводят контроль их качества. Контроль качества вод - характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретных видов водопользования (ГОСТ 17.1.1.01-77).

3.4. Причины и тенденции изменения качества природных вод

Основными источниками загрязнения природных вод, вызывающего ухудшение их качества, являются коммунально-бытовые сточные воды и сточные воды промышленного и сельскохозяйственного производства, поверхностный сток с урбанизированных территорий водосбора, водный транспорт, гидроэнергетика и гидротехнические сооружения, освоение и эксплуатация месторождений полезных ископаемых.

Независимо от источника эмиссии (от *англ.* emission выброс) загрязняющих веществ в водной системе они будут находиться в растворенной форме или в виде взвеси. Природные воды являются универсальным растворителем и обладают высокой способностью к самоочищению.

Самоочищение воды – совокупность процессов, направленных на восстановление экологического благополучия водных объектов (ГОСТ 17.1.1.01-77).

Однако когда количество дополнительно поступившего в водный объект загрязняющего вещества превышает его расход, данный компонент вызывает изменение качества воды и уровень его содержания называется *пороговым уровнем*. Ниже этого уровня водная система способна к самоочищению, выше этого уровня в зависимости от относительной концентрации этого вещества ассимилирующая способность водного объекта в той или иной степени нарушается.

Ассимилирующая способность водного объекта – способность водного объекта принимать определенную массу веществ в единицу времени без нарушения норм качества воды в контрольном створе или пункте водопользования (ГОСТ 17.1.1.01-77).

Кроме того, многие загрязняющие вещества, например, соединения некоторых тяжелых металлов, синтетические органические вещества и др., подавляют или затормаживают процессы самоочищения, способны биологически концентрироваться, могут реагировать с другими химическими веществами, образуя устойчивые конечные продукты.

Все различные по причинам последствия загрязнения природных вод, вызывающие изменения их качества, независимо от природы загрязняющих веществ и источников поступления их в водный объект, могут быть сгруппированы по воздействию на основные параметры водной системы. По этому признаку выделяют следующие основные группы последствий загрязнения природных вод:

- создание условий недостаточного насыщения водной массы кислородом;
- снижение окислительно-восстановительного потенциала природных вод;
- нарушение процессов фотосинтеза;
- нарушение баланса по биогенным элементам;

- нарушение температурного режима;
- формирование состава с повышенными содержаниями токсичных нормируемых компонентов (соединений тяжелых металлов, биологически активных веществ, органических соединений, нефти и нефтепродуктов);
- радиоактивное загрязнение.

Растворенный кислород в природной воде находится в виде молекул O_2 . В поверхностных водах содержание растворенного кислорода изменяется в пределах от 0 до $14 \text{ мг}O_2/\text{дм}^3$ и подвержено сезонным и суточным колебаниям. Суточные колебания зависят от интенсивности процессов фотосинтеза и могут изменяться в пределах $2,5 \text{ мг}O_2/\text{дм}^3$. В зимний и летний периоды распределение кислорода носит характер стратификации (от *лат.* stratum слой). В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водных объектов у пунктов питьевого и рекреационного водопользования содержание растворенного кислорода в пробе, отобранной до 12 часов дня, не должно быть ниже $4 \text{ мг}O_2/\text{дм}^3$ в любой период года; для водных объектов рыбохозяйственного назначения концентрация растворенного в воде кислорода не должна быть ниже $4 \text{ мг}O_2/\text{дм}^3$ в зимний период, $6 \text{ мг}O_2/\text{дм}^3$ – в летний.

Количество растворенного в воде кислорода является наиболее значимым показателем качества природных вод. При достаточном количестве растворенного кислорода в поверхностных водах поступающие в них биоразлагаемые органические вещества окисляются *аэробными бактериями*, превращая входящие в их состав органические элементы С, Н, О, N, S, Р в окисленные формы – CO_2 , H_2O , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , являющиеся компонентами естественного состава природных вод. В условиях недостаточного насыщения водной массы кислородом активность аэробных бактерий подавляется. В этих условиях биоразлагаемые органические вещества превращаются *анаэробными бактериями* до CH_4 , NH_3 , H_2S , PH_3 , являющиеся токсичными для гидробионтов и придающими воде неприятный запах. Уровень загрязнения воды биоразлагаемыми органическими веществами характеризует показатель биохимического потребления кислорода (БПК). Полным биохимическим потреблением кислорода (БПК_п) считается количество кислорода, требуемое для окисления органических примесей до начала процессов нитрификации. Наряду с БПК_п определяют биохимическое потребление кислорода в течение 5 суток – БПК₅. В поверхностных водах величины БПК₅ изменяются обычно в пределах $0,5 - 4 \text{ мг}O_2/\text{дм}^3$ и подвержены сезонным и суточным колебаниям. В зависимости от категории водного объекта величина БПК₅ регламентируется следующим образом: для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения – не более $3 \text{ мг}O_2/\text{дм}^3$, хозяйственно-бытового водопользования – не более $6 \text{ мг}O_2/\text{дм}^3$, для рыбохозяйственного назначения (I и II категории) при 20°C –

не более $2 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$. Полная биологическая потребность в кислороде БПК_п для водных объектов рыбохозяйственного назначения (I и II категории) при 20°C не должна превышать $3 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$.

Содержание растворенного в воде кислорода определяет значение величины окислительно-восстановительного потенциала природных вод.

Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) позволяет выявить природные среды, в которых химические элементы с переменной валентностью находятся в определенной форме, а также определить условия, при которых возможна миграция ионов металлов. По этому показателю различают три основных геохимических типов природных вод:

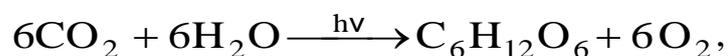
- *окислительный* тип, характеризуемый значениями редокс-потенциала $+(100 - 150) \text{ мВ}$ и обусловленный присутствием свободного кислорода, а также ряда элементов в высшей степени окисления (Fe^{3+} , Mo^{6+} , As^{5+} , V^{5+} , U^{6+} , Sr^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{4+});

- *переходный окислительно-восстановительный* тип, определяемый значениями редокс-потенциала $+(100-0) \text{ мВ}$, неустойчивым геохимическим режимом и переменным содержанием сероводорода и кислорода; в этих условиях протекает как слабое окисление, так и слабое восстановление многих металлов;

- *восстановительный* тип, характеризуемый отрицательными значениями редокс-потенциала, обусловленный недостаточным содержанием кислорода и присутствием ряда металлов в низких степенях окисления (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Mo^{4+} , As^{3+} , V^{4+} , U^{4+} , Pb^{2+}), а также сероводорода.

В природной воде значение Eh колеблется от -400 до $+700 \text{ мВ}$ и определяется всей совокупностью происходящих в ней окислительных и восстановительных процессов. В условиях равновесия Eh характеризует среду относительно всех элементов, имеющих переменную валентность.

Нарушение процессов фотосинтеза, записываемого суммарной реакцией в виде



протекающего при поглощении солнечного света в областях длин волн 425 и 660 нм , является одной из наиболее значимых причин создания условий недостаточного насыщения поверхностных вод кислородом. Процесс фотосинтеза коррелирует с освещенностью водной массы. При повышении содержания в поверхностных водах взвешенных твердых частиц ухудшается пропускание света, снижается активность фотосинтеза.

Нарушение баланса по биогенным элементам (прежде всего С, N, S, P) является основной причиной эвтрофикации (*син.* эвтрофирование) водоемов. *Эвтрофирование* (от гр. eutrophia хорошее питание) – повышение

биологической продуктивности водных организмов в результате накопления в воде биогенных элементов (ГОСТ 17.1.1.01-77). Обогащение воды биогенными элементами, особенно азотом и фосфором, ускоряет рост водорослей и высших форм растительных видов. Следствием этого является цветение воды, снижение содержания растворенного в ней кислорода, ухудшаются физико-химические свойства, повышается мутность, неприятный запах и привкус и т.п.

Температура природных вод является важнейшим фактором, влияющим на протекающие в водном объекте физические, химические, биохимические и биологические процессы, от которых в значительной степени зависят кислородный режим и интенсивность процессов самоочищения. Годовые и суточные изменения температуры воды на поверхности и глубинах определяются количеством тепла, поступающего на поверхность, а также интенсивностью и глубиной перемешивания.

Повышение температуры воды вследствие теплового загрязнения водного объекта приводит к изменениям в балансе питательных элементов и ускорению процесса эвтрофикации, способствует усилению токсичности многих загрязняющих веществ и их более активной трансформации, вызывает изменение газового состава, нарушение гидрохимического равновесия в системе и т.п.

Формирование состава с повышенными содержаниями токсичных нормируемых компонентов (соединений тяжелых металлов, биологически активных веществ, органических соединений, нефти и нефтепродуктов) – это неизбежные последствия сброса сточных вод в водные объекты.

Загрязнение природных вод *соединениями тяжелых металлов* является наиболее распространенным. Ионы металлов, содержащиеся в природных водах, характеризуются так называемыми консервативными и неконсервативными свойствами. Главные катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), концентрации которых остаются примерно постоянными или характеризуются постоянным отношением, относятся к консервативным. Группу неконсервативных составляют ионы большинства переходных (тяжелых) металлов. Их содержание в природных водах определяется относительно малыми концентрациями и зависит от многих факторов (геологических условий, содержания растворенного кислорода в воде, Eh и т.п.).

Большинство ионов неконсервативных тяжелых металлов, содержащихся в растворе в следовых количествах, обладают достаточно высокой реакционной способностью и проявляют высокую токсичность по отношению к водным организмам. Проявление токсичности тяжелых металлов в значительной степени зависит от их химической формы. В природных водах идентифициро-

ваны три основных типа соединений тяжелых металлов: гидратированные соединения, ионные пары, комплексные ионы. Гидрат-ионы обладают кислотным характером и содержатся в растворах в форме гидроксида типа



Ионные пары имеют электростатическую природу и образуют дипольные соединения типа молекулы с некоторым количеством молекул воды, захваченных ионами. Комплексные ионы образуются путем замещения молекул воды, находящихся в координационной связи с центральным ионом металла, другими ионами (OH^- , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}) или молекулами органических веществ. Возможность замещения находится в зависимости от относительной устойчивости образующихся соединений *металл-лиганд*. Константы устойчивости для комплексов ряда металлов с разными лигандами представлены в таблице 23.

Таблица 23

Константы устойчивости в логарифмических единицах

Наименование лиганда	Значение константы устойчивости комплексов металла			
	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Pb^{2+}	Cd^{2+}
NH_3 ; K_1	4,25	2,18	-	2,51
Глицин; K_1	8,62	5,52	5,47	4,8
Оксалат; K_1	6,19	4,68	4,0	4,0
OH^- ; K_1	6,3	4,4	6,2	4,6
OH^- ; β_2	12,6	10,0	10,9	8,9
Карбонат	6,77	4,8	6,2	4,0
Поверхностные частицы	-1,8	-3,6	-1,7	-3,7

Общая концентрация следового металла в образце природных вод не дает достаточной информации о его токсичности. А присутствие в природных водах адсорбирующих металлы или координирующих с ними соединений значительно затрудняет правильную корреляцию между общим количеством металла и количеством токсичных его форм. Активность закомплексованного металла пропорциональна его свободной концентрации в растворе. Во многих случаях большая часть следового металла закомплексована лигандом, иным, чем вода. При этом образуются такие формы частиц, которые либо слаботоксичны, либо нетоксичны совсем. В целом свободные ионы тяжелых металлов TM^{2+} и комплексные гидроксиды $\text{TM}(\text{OH})^+$ и $\text{TM}(\text{OH})_2 \cdot \text{aq}$ наиболее токсичны, в то время как комплексные карбонаты $\text{TM}(\text{CO}_3) \cdot \text{aq}$ проявляют минимальную токсичность. В природных водных системах присутствие природных лигандов

допускает образование многих комплексов, что приводит к изменению (падению) токсичности по металлам. Основными физико-химическими факторами, влияющими на ответ организма по отношению к токсикантам, являются температура, растворенный кислород, рН, жесткость и щелочность воды, присутствие хелатирующих агентов и других загрязнителей в воде. В общем случае уменьшение содержания комплексообразующих лигандов и величины адсорбирующей поверхности будут повышать токсичность системы (при неизменном общем содержании следовых металлов в растворе). Чувствительность к ионам следовых металлов понижается с увеличением рН и жесткости воды, а также с падением парциального давления кислорода.

Увеличение жесткости воды, определяемое более высокими концентрациями металлов жесткости, а именно кальция и магния, как правило, понижает токсичность следовых двухвалентных металлов (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} и др.). Это обусловлено тем, что при $\text{pH} < 6$ имеет место протонирование, и число мест связывания, занятых следовыми металлами, мало по сравнению со свободными местами или местами, связанными с металлами жесткости. Установлено, что токсические эффекты алюминия и мышьяка больше проявляются при их поступлении в организм в составе воды, характеризующейся низкими показателями жесткости (менее $1,5 \text{ ммоль/дм}^3$).

Биологически активные вещества – пестициды (от лат. *pestis* зараза + *caedo* убиваю), детергенты и др. отличаются большим разнообразием свойств – от соединений, влияющих на физиологические процессы, до широкого спектра ядов селективного действия. Многие из них обладают большой биологической активностью полифункционального характера, способны к накоплению в пищевых цепях, практически не подвергаются разложению, образуют стабильные и токсичные продукты трансформации, очень устойчивы в окружающей среде и живых организмах.

Органические вещества в природных водах находятся в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях, образующих неравновесную динамическую систему, в которой под воздействием физических, химических и биологических факторов непрерывно осуществляются переходы из одного состояния в другое. Соотношение между возможными состояниями органических веществ определяется химическим составом вод, рН, биологической активностью и другими факторами. Основную долю органического вещества в незагрязненных природных водах составляют гуминовые и фульвокислоты, объединенные под названием гумусовые кислоты, представляющие собой сложные смеси биохимически устойчивых высокомолекулярных соединений. Наименьшая концентрация углерода растворенных органических веществ в незагрязненных природных водах составляет около 1 мг/дм^3 , наибольшая кон-

центрация обычно не превышает 10 - 20 мг/дм³, однако в болотных водах может достигать нескольких сотен мг/дм³.

К числу наиболее распространенных и опасных органических веществ, загрязняющих поверхностные воды, относятся нефтепродукты, фенолы, формальдегид, синтетические поверхностно-активные вещества.

Нефтепродукты в поверхностных водах находятся в различных миграционных формах: растворенной, эмульгированной, сорбированной на твердых частицах взвесей и донных отложений, в виде пленки на поверхности воды. В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водных объектов у пунктов хозяйственно-питьевого и рекреационного водопользования содержание нефтепродуктов в пробе не должно превышать 0,3 мг/дм³ (лимитирующий показатель вредности – органолептический); для водных объектов рыбохозяйственного назначения содержание нефтепродуктов в воде не должно быть более 0,05 мг/дм³ (лимитирующий показатель вредности – токсикологический).

Фенолы в природных водах в естественных условиях образуются в процессах метаболизма водных организмов, при биохимическом распаде и трансформации органических веществ, протекающих как в водной массе, так и в донных отложениях. В поверхностных водах фенолы могут находиться в растворенном состоянии в виде фенолятов, фенолят-ионов и свободных фенолов, в составе сложных гумусоподобных и других устойчивых соединений. В незагрязненных поверхностных водах содержание фенолов обычно не превышает 20 мкг/дм³.

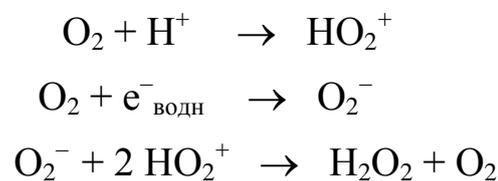
Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) в зависимости от свойств, проявляемых при растворении в воде, делят на анионоактивные вещества (активной частью является анион), катионоактивные вещества (активной частью молекул является катион), амфолитные и неионогенные вещества. Анионоактивные СПАВ в водном растворе ионизируются с образованием отрицательно заряженных органических ионов. Катионоактивные СПАВ – вещества, которые ионизируются в водном растворе с образованием положительно заряженных органических ионов. Амфолитные СПАВ ионизируются в водном растворе различным образом в зависимости от условий среды: в кислом растворе проявляют катионоактивные свойства, а в щелочном – анионоактивные. Неионогенные вещества в водном растворе не образуют ионов. В поверхностных водах СПАВ находятся в растворенном и сорбированном состоянии, а также в поверхностной пленке воды водного объекта. В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водных объектов у пунктов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения содержание СПАВ не должно превышать 0,5 мг/дм³, для водных объектов рыбохозяйственного назначения содержание СПАВ в воде не должно быть более 0,1 мг/дм³.

Радиоактивное загрязнение природных вод формируется за счет естественных источников излучения (в результате распада природных радионуклидов) и техногенных источников радиации (утечек из хранилищ ядерных отходов, рудных отходов и хвостов обогатительных фабрик, выбросов с атомных электростанций и т.п.).

Отличительным свойством радиоактивных элементов является неустойчивость их ядер, в результате чего происходит их непрерывный распад, сопровождающийся образованием других элементов или изотопов данного элемента и выделением радиоактивных излучений. Испускаемые радиоактивными элементами уранового и ториевого рядов α - частицы оказывают на воду ионизирующее воздействие, первоначально вызывая распад молекулы H_2O на OH^\cdot и H^+ , а затем при рекомбинации образование пероксида водорода H_2O_2 , водорода, воды и кислорода. Этот процесс носит название *радиолиза воды*. Механизм радиолиза заключается в протекании ряда последовательных и параллельных реакций



Продолжительность существования этих продуктов около 1 мс. В водной среде в дальнейшем образуются новые радикалы и пероксид водорода:



Радиоактивное загрязнение природных вод представляет потенциальную опасность для всех живых организмов. Воздействие ионизирующего излучения окружающей среды (природных и техногенных радионуклидов, космической радиации) на живые организмы, их сообщества и связь этого воздействия с распределением радионуклидов по поверхности Земли (в атмосфере, гидросфере земной коре) изучает *радиоэкология*.

Контрольные вопросы

1. Чем отличается природная вода от других растворов?
2. Приведите классификации природных вод по химическому составу.
3. В чем заключается принцип классификации природных вод по О.А. Алекину?
4. Приведите классификации природных вод по общей минерализации.
5. Назовите основные геохимические классы природных вод.
6. Перечислите основные показатели, используемые при гигиенической классификации природных вод.
7. Что оценивают колтитр и колииндекс?
8. Сформулируйте определение понятий «качество воды», «нормы качества воды».
8. Отличаются ли требования к качеству воды, используемой для питьевых и хозяйственных целей?
9. По каким показателям проводится оценка качества воды, используемой для питьевого водоснабжения?
10. Что определяет жесткость воды? Приведите характеристику питьевой воды по показателю жесткости.
11. По каким показателям оценивается радиационная безопасность питьевой воды?
12. Назовите единицы измерения уровня радиоактивности воды.
13. В чем состоит агрессивность природных вод?
14. Какие геохимические типы природных вод различают по величине окислительно-восстановительного потенциала?
15. Перечислите основные группы последствий загрязнения природных вод.

Глава 4. ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

4.1. Физические свойства подземных вод

Подземные воды – природные воды, залегающие в земной толще ниже поверхности земли. Подземные воды представляют собой сложную физико-химическую систему, меняющуюся в зависимости от комплекса различно направленных гидрогеологических процессов.

К основным физическим свойствам подземных вод, которые обычно определяют при оценке их качества, относятся: температура, цвет, прозрачность, запах и вкус.

Температура подземных вод колеблется в широких пределах: от очень низкой в районах «вечных» снегов, на высоких горах и в условиях «вечной» мерзлоты, до температуры перегретых паров (более 120 °С) в районах молодой вулканической деятельности. Повышение температуры увеличивает скорость протекания большинства физико-химических процессов и вызывает нарушение гидрогеохимического равновесия в системе *порода – вода*, имеющих огромное значение в формировании химического и газового состава подземных вод.

Изменение растворимости некоторых веществ с повышением температуры воды приведено в таблице 24.

Таблица 24

Зависимость растворимости некоторых солей от температуры воды [12]

Температура, °С	Определяемый компонент		
	NaCl	CaSO ₄	CaCO ₃
	Содержание компонента в растворе, мас. %		
25	26,44	0,209	0,0014
50	26,99	0,204	0,0015
100	28,15	0,153	0,0015

Как правило, растворимость натриевых и калиевых солей растет с повышением температуры, а кальциевых (сульфатных) – уменьшается. Поэтому холодные подземные воды чаще всего кальциевые, а теплые и горячие – натриевые.

Газовый состав подземных вод также зависит от температуры. Данные о растворимости газов в зависимости от температуры воды (при давлении этого газа над водой, равном 0,1 МПа, и температуре газа 0°С) приведены в таблице 25.

Зависимость растворимости некоторых газов от температуры воды [12]

Температура, °С	Определяемый компонент				
	O ₂	N ₂	CH ₄	H ₂ S	CO ₂
	Растворимость компонента, дм ³ /дм ³ воды				
0	0,0489	0,0235	0,0556	4,670	1,713
10	0,0380	0,0186	0,0418	3,399	1,194
20	0,0310	0,0155	0,0331	2,582	0,878
30	0,0261	0,0134	0,0276	2,037	0,665
40	0,0231	0,0118	0,0237	1,670	0,531
50	0,0209	0,0109	0,0213	1,410	0,423
70	0,0185	0,010	0,0187	1,042	0,210
80	0,0181	0,0099	0,0182	0,917	-
90	0,0177	0,0098	0,0180	0,867	-
100	0,0177	0,0098	0,0177	0,844	-

Цвет воды характеризует ее качество. Химически чистая вода бесцветна, и только в слое мощностью в несколько метров она приобретает голубой цвет. Окраску воде придают газы биохимического происхождения и механические примеси, в основном, гумусовых веществ и соединений железа (III). Сероводородные воды, вследствие окисления H₂S и образования тонкой коллоидной мути, состоящей из частиц серы, имеют изумрудный оттенок. Для вод болотистого происхождения, содержащих гумусовые вещества, характерен желтоватый цвет. Воды, содержащие соединения железа (III), имеют ржавый или чернильный оттенок. Оксиды железа (III) дают тонкую радужную пленку на воде, которую часто принимают за нефтяную. Железистые и нефтяные пленки на воде отличаются по форме: железистые пленки представляют собой тонкие пленки, разбивающиеся на остроугольные части, нефтяные имеют округлые очертания, свойственные жирным веществам.

Предельно допустимая величина цветности в водах, используемых для питьевых целей, составляет 35 градусов по платиново-кобальтовой шкале.

Прозрачность (или светопропускание) природных вод обусловлена их цветом и мутностью, то есть содержанием в них различных окрашенных и взвешенных органических и минеральных веществ. Воду в зависимости от степени прозрачности условно подразделяют на прозрачную, слабо опалесцирующую, опалесцирующую, слегка мутную, мутную, сильно мутную.

Запах воды имеет большое значение при определении качества воды. Запах воды характеризуется интенсивностью, которую измеряют в баллах: 0 – никакого запаха, I – очень слабый запах, II – слабый запах, III – заметный запах, IV – отчетливый запах, V – очень сильный запах. Интенсивность запаха

воды зависит от состава содержащихся в ней примесей, температуры и других факторов. Запах подземных вод свидетельствует о наличии газов биохимического происхождения (сероводорода, фосфина и др.) и разложении органических веществ бактериями. Различные виды бактерий придают воде специфический запах (затхлый, землистый, рыбный и др.).

Вкус воды зависит от состава растворенных в ней веществ и температуры. Солёный вкус вызывается хлоридом натрия, горький – сульфатом магния, вкус ржавчины – солями железа, сладковатый вкус имеют воды, богатые органическими веществами, приятный освежающий вкус придает воде наличие свободной углекислоты. Наиболее вкусная и освежающая вода имеет температуру в пределах от 7 до 11°C.

4.2. Химический состав подземных вод

Основными процессами, определяющими химический состав подземных вод, являются: выщелачивание, растворение, седиментация, переход из связанного состояния в свободное. Эти процессы протекают в земной коре и на поверхности земли с различной интенсивностью и зависят от многих причин. Выщелачивание и растворение происходят при усиленном промывании почв и горных пород в достаточно увлажненных областях, преимущественно в верхней части земной коры. Большинство пресных вод, имеющих гидрокарбонатный кальциевый или магниевый-кальциевый состав и сравнительно небольшую общую минерализацию, относятся к водам выщелачивания. Увеличение содержания сульфата кальция и повышение жесткости вод связано с наличием в породах гипса. Воды выщелачивания могут быть хлоридными натриевыми, если происходит выщелачивание атмосферными водами залежей солей. Седиментационные воды обычно вытесняются из осадочных глинистых отложений. Процессы перехода воды из связанного состояния в свободное протекают при воздействии высоких температур и давления на горные породы. Наиболее интенсивно эти процессы протекают в областях магматической и вулканической деятельности. На участках соприкосновения вод различного происхождения почти повсеместно происходит смешение вод, изменяющее их химический состав. Большое значение имеют также процессы обогащения вод различными специфическими компонентами: железом, литием, иодом, бромом, мышьяком, радиоактивными элементами и др. Гравитационное распределение подземных вод, связанное с их химическим составом и общей минерализацией, отражает геологическую историю (например, более тяжелые хлоридные кальциевый-натриевые рассолы большей частью залегают в глубоких частях бассейнов).

Содержащиеся в воде химические элементы редко находятся в свободном виде – обычно они входят в состав различных соединений. Все недиссоциирован-

ные и диссоциированные соединения (соли в виде ионов), содержащиеся в природных подземных водах, объединяют в четыре группы [12]:

- I группа – макрокомпоненты;
- II группа – микрокомпоненты;
- III группа – ультрамикрокомпоненты;
- IV группа – радиоактивные элементы.

Макрокомпоненты, содержащие элементы O, H, C, N, S, P, Cl, Na, K, Ca, Mg, Fe, Al, Si (14 элементов), составляют основную часть минерального состава подземных вод. Содержание макрокомпонентов в пресных водах составляет 90 – 95 мас. %, в высокоминерализованных – более 99 мас. %. Тип химического состава воды и главные ее свойства определяют ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} ; Na^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- . В пресных и солоноватых водах преобладают обычно Ca^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , в соленых и рассолах – Na^+ и Cl^- . Ионы Mg^{2+} и SO_4^{2-} занимают промежуточное положение среди основных катионов и анионов. К числу макрокомпонентов в составе подземных вод относятся также такие элементы, как K, Fe, Al, Si и соединения азота, которые широко распространены в земной коре.

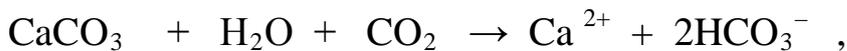
Кальций-ион Ca^{2+} содержится в подземных водах различной минерализации. По распространению среди катионов, входящих в состав пресных подземных вод, ионы кальция занимают первое место. В пресных и соленых водах ионы кальция содержатся в составе карбонатов (гидрокарбонатные воды) или сульфатов (сульфатные воды), а в высокоминерализованных рассолах – в составе хлоридов. В подземные воды ионы кальция поступают при выветривании изверженных пород и особенно в результате выщелачивания известняков, доломитов, гипсов, ангидритов и минералов алюмосиликатов. В пресных водах Ca^{2+} обычно доминирует над Mg^{2+} ; что объясняется преобладанием в породах Ca^{2+} над Mg^{2+} и большей энергией удержания Mg^{2+} при адсорбции.

Магний-ион Mg^{2+} встречается в подземных водах в сравнительно небольших количествах. Воды, в которых ион Mg^{2+} преобладает над другими ионами, встречаются редко. Присутствие иона магния в подземных водах в основном связано с поступлением его с морскими водами, в результате выщелачивания доломита и других минералов, содержащих магний.

Натрий-ион Na^+ широко распространен в подземных водах, особенно в глубоких водоносных горизонтах. Ионы натрия после ионов кальция и магния занимают третье место в числе катионов пресных подземных вод. Источниками поступления ионов натрия в подземные воды являются океанические и морские воды, процессы выветривания изверженных горных пород, растворимые отложения каменной соли отдельных рассеянных кристаллов соленосных пород, обменные реакции между ионами кальция в подземных водах и

ионами натрия, адсорбированными на частицах глинистых пород. В основном ион натрия сопутствует иону хлора (в солоноватых и соленых водах). Реже он связан с сульфатными и гидрокарбонатными ионами. Однако в пресных водах (до 1 г/дм³) он часто присутствует в виде соды. Все соединения натрия вредны для растений.

Гидрокарбонатный HCO_3^- и *карбонатный* CO_3^{2-} ионы распространены преимущественно в пресных и слабосоленых подземных водах. Обычно содержание их в воде невелико. Гидрокарбонатный ион поступает в подземные воды, в основном, вследствие выщелачивания известняков, доломитов, мергелей при содержании в воде углекислоты по реакциям:



или



Гидрокарбонатный ион обуславливает щелочность подземных вод. Карбонатные соединения в подземных водах малорастворимы. Содержание в подземных водах карбонатного иона мало по сравнению с ионом HCO_3^- или совсем не содержится. На рост растений и плодородие почв карбонатные соединения оказывают различное воздействие. Так, поташ KCO_3 полезен для растений, сода $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ вредна, а кальцит CaCO_3 нейтрален. Содержание карбонатного иона в водах, используемых для питьевых и оросительных целей, не лимитируется.

Сульфат-ион SO_4^{2-} имеет широкое распространение в подземных водах, особенно в слабоминерализованных. Его содержание в подземных водах лимитируется присутствием иона Ca^{2+} , с которым сульфат-ион образует малорастворимый CaSO_4 . Сульфаты могут накапливаться в водах в результате растворения гипсов и ангидритов, а также окисления сернистых соединений (пирита и др.) и сульфидных минералов в песчано-глинистых отложениях, разложения диоксида серы и сероводорода, загрязнения сточными водами. Сульфатные ионы биологически неустойчивы и при отсутствии кислорода и наличии соответствующих условий часто восстанавливаются до сероводорода. Сульфат-ион в соединении с кальцием и магнием обуславливает жесткость воды (постоянную), засоляет почвы и грунтовые воды, вреден для растений.

Хлорид-ион Cl^- находится в воде в виде соединений хлорида натрия. Главный элемент солоноватых, соленых и рассольных вод, хлор вызывает засоление почв и грунтовых вод, вреден для растений. Присутствие иона хлора в подземных водах, обусловленное растворением каменной соли морского происхождения, придает воде соленый привкус и такая вода не опасна для питье-

вых целей. При отсутствии в водовмещающих породах каменной соли повышенное содержание ионов хлора в неглубоко залегающих грунтовых водах обуславливает их загрязнение и употребление таких вод для питьевых целей не допускается.

Калий-ион K^+ в подземных водах, несмотря на хорошую растворимость его солей, обнаруживается значительно реже, чем ион натрия. Объясняется это тем, что калий участвует в образовании вторичных минералов (не растворимых в воде), в значительных количествах усваивается растениями, являясь одним из основных источников их питания, и легко адсорбируется глинистыми породами. В подземные воды калий обычно поступает в результате выветривания изверженных горных пород, в минералах которых он содержится, а также при растворении калийных солей.

Железо в земной коре имеет широкое распространение в составе таких минералов как пироксены, амфиболы, магнетит, пирит, биотит, гранаты и др. При выветривании этих минералов железо переходит в относительно малорастворимые и устойчивые оксиды железа. В подземной воде соединения железа находятся в окисленной форме (в виде иона Fe^{3+}) или восстановленной (в виде иона Fe^{2+}), а также в виде коллоидов. Ионы железа Fe^{2+} в воде неустойчивы и при доступе кислорода легко окисляются до Fe^{3+} с образованием $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, которые обнаруживаются в подземных водах в коллоидной форме. Реакция $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ в природных водах протекает при участии бактерий. В водах с нейтральной реакцией ($pH \approx 7$) железо малоподвижно, а в кислых водах ($pH < 7$) оно легко переходит в раствор и выносится из породы (так называемый подзолистый тип почвообразования). Большое содержание железистых соединений придает воде чернильный оттенок и неприятный вкус. В подземных водах содержание ионов железа достигает нескольких десятков, иногда 100 мг/дм^3 . Содержание ионов железа в питьевой воде допускается до $0,3 \text{ мг/дм}^3$. Для многих производств содержание ионов железа в воде жестко регламентируется.

Алюминий в земной коре является одним из наиболее распространенных элементов. Однако он отличается малой подвижностью в подземных водах.

Кремний является самым распространенным после кислорода элементом земной коры. Однако вследствие малой растворимости силикатных минералов и солей кремния его содержание в подземных водах, как правило, относительно невелико. В подземных водах он присутствует преимущественно в виде коллоидов диоксида кремния.

Соединения железа (III), алюминия, кремния в подземных водах, в основном, находятся в виде коллоидов $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, $Al_2O_3 \cdot nH_2O$, $SiO_2 \cdot nH_2O$ и их миграция происходит обычно в виде коллоидных частиц. Коллоиды обла-

дают большими удельными внутренними поверхностями частиц и наличием заряда, что способствует активной сорбции других частиц. Заряды частиц одного и того же коллоида одинаковы, поэтому они могут длительное время находиться в растворе не слипаясь, пока внешнее воздействие не снимет их заряд. Важную роль выполняют коллоиды в формировании эндогенных рудных залежей.

Соединения азота встречаются в подземных водах в виде ионов NO_2^- , NO_3^- и NH_4^+ . При неорганическом происхождении соединения азота считаются безвредными в санитарном отношении, но при органическом происхождении в результате распада органических веществ соединения азота могут служить показателями загрязнения воды и возможного наличия в ней болезнетворных бактерий. Особенно много ионов NO_2^- , NO_3^- и NH_4^+ в воде колодезев, коптирующих грунтовые воды неглубоких горизонтов, в населенных пунктах, где отсутствует глинистая изоляция сверху, предохраняющая эти воды от проникновения загрязнений с поверхности. Концентрация нитрат-ионов в подземных водах зависит от общей минерализации, интенсивности процессов денитрификации и нитраторедукции



изменяющих миграционные формы и концентрации азота, и других факторов.

Основными химическими свойствами воды, которые определяются макрокомпонентами, являются щелочность, кислотность, соленость и жесткость (рис. 3). Различное сочетание этих свойств определяет вкусовые и технические качества воды.

К микрокомпонентам подземных вод относятся такие элементы, как В, F, J, Ва, Br, Sr, As, Mn, Cu, Zn, Ag, Ti, Ni, V, Cr, Co, Pb (17 элементов), содержащиеся в количестве менее 2 – 5 мг/дм³ (иногда 10 мг/дм³, редко 100 мг/дм³). Элементы Li, Rb, Au, Hg и др., содержание которых в подземных водах редко превышает 0,1 мг/дм³, относятся к ультрамикромикрокомпонентам. Микро- и ультрамикромикрокомпоненты обычно не определяют химический тип воды, но они оказывают значительное влияние на специфические особенности их состава, оказывают большое влияние на течение биологических процессов. Присутствие в воде некоторых микрокомпонентов в избыточных количествах ограничивает использование этих вод для водоснабжения.

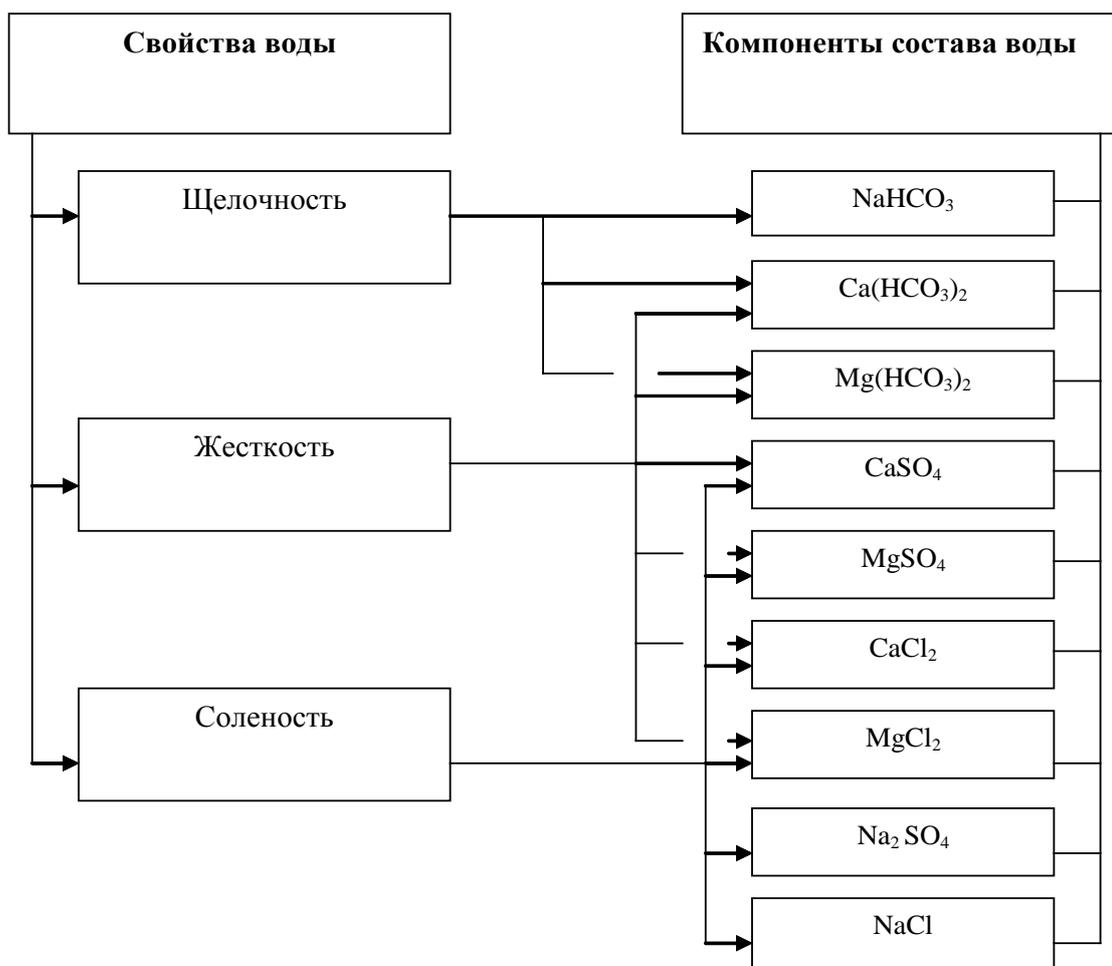


Рис. 3. Сочетания различных компонентов состава, обуславливающие основные свойства воды

Высокое содержание микрокомпонентов в подземных водах позволяет использовать их как минеральное сырье для извлечения полезных для народного хозяйства компонентов (J, Br, B, F и др.). Кроме того, повышенное содержание микрокомпонентов в подземных водах является поисковым критерием на рудные полезные ископаемые (Pb, Fe, Ni, Cu, Zn, As и др.). Некоторые компоненты (Br, Sr, J и др.) используются для выяснения условий формирования подземных вод.

Многие микрокомпоненты химического состава подземных вод находятся между собой в известной парагенетической связи. Некоторые из них содержатся в качестве спутников основных макрокомпонентов [12]. По А.П. Виноградову значения коэффициентов пропорциональности между близкими по физико-химическим свойствам элементов (соседними в периоде или в группе аналогов Периодической системы элементов Д.И. Менделеева), например, $\frac{Ni}{Co}$, $\frac{Ca}{Sr}$, $\frac{Nb}{Ta}$, $\frac{K}{Rb}$, $\frac{Cl}{Br}$, $\frac{Br}{J}$ указывают на основные процессы формирования химического состава подземных вод. По значению величины хлор-бромного

коэффициента пропорциональности (в массовых единицах) принадлежность подземных вод к той или иной генетической группе устанавливаются следующим образом: если $\frac{Cl}{Br} = 300$, вода является производной от нормальной морской воды (например, соленые воды Русской платформы); при $\frac{Cl}{Br} < 300$ вода представляет собой остаточную рапу морских озер, обогащенную бромидом (воды Дагестана и др.); при $\frac{Cl}{Br} > 300$ – вода связана с растворением залежей каменной соли. Коэффициент пропорциональности $\frac{Ca}{Sr}$ также определяет условия образования вод: в водах выщелачивания осадочных (карбонатных) пород значение $\frac{Ca}{Sr} \approx 200$; в морских водах и водах, связанных с морскими бассейнами, $\frac{Ca}{Sr} = 33$; на участках скопления целестина (в процессе морской садки стронций выпадает перед выпадением гипса или ангидрита в виде целестина) $\frac{Ca}{Sr} \leq 1$. Коэффициент пропорциональности $\frac{Br}{J}$ для морской воды равен 1300, в подземных водах он обычно значительно меньше, а в районах газовых и нефтяных месторождений равняется нескольким единицам.

Содержание F^- , J^- , Se^{4+} , а также отношения концентраций Na^+/K^+ и Ca^{2+}/Mg^{2+} являются специфическими для некоторых источников природной подземной воды. Воды, содержащие катионы Na^+ и K^+ , в основном, недонасыщены фторидами. Увеличение минерализации таких вод приводит к возрастанию содержания фторид-ионов. В связи с различной растворимостью фторидов кальция (магния) и фторидов натрия (калия) переход анионов F^- из пород в подземные воды, а также их концентрация зависят от величины отношения $\frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$. Чем больше это отношение для подземных вод содового типа, тем больше фторид-ионов при прочих равных условиях они содержат. Для гидрокарбонатных магниевых-кальциевых вод при существенном избытке (от 120 до 400-кратного) катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} по отношению к фторид-ионам (0,2 - 0,4 мг/дм³), на растворимость осадков CaF_2 и MgF_2 оказывают влияние одноименные ионы (это явление носит название «солевой эффект»). Взаимосвязь содержания иодид-ионов и катионов Na^+ имеет место для хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатных магниевых-кальциевых вод. Концентрации селенит-ионов в значительных количествах установлены в подземных водах с повышенной концентрацией сульфатов. Относительно стабильные селенит-ионы, которым отвечает большая величина окислительно-восстановительного потенциала по сравнению с аналогичной формой серы, не полностью окисляются в гидротермаль-

ных условиях формирования подземных вод. Поэтому селен может находиться в восстановленной форме в присутствии окисленной формы серы.

Радиоактивные элементы - U, Th, Ra, Rn и др., содержание которых в природных подземных водах определяет естественный уровень радиоактивности воды. Уран и радий во всех природных водах встречаются в микроколичествах (табл. 26). Радон обуславливает более половины всей дозы радиации, которую в среднем получает организм человека от природных и техногенных радионуклидов.

Таблица 26

Содержание урана и радия в природных водах [13]

Тип природных вод	Содержание в воде C_i , мг/ дм ³	
	урана, $C_U \cdot 10^{-3}$	радия, $C_{Ra} \cdot 10^{-10}$
Морская вода	1,3-3,0	0,22-20
Поверхностные воды	0,012-47	0,3-60
Подземные воды минеральных источников	0,018-120	65-3800

Радон – радиоактивный газ природного происхождения, промежуточный член цепочек радиоактивных превращений урана и тория. Радон имеет 3 основных изотопа – актинон ²¹⁹Rn с периодом полураспада 3,92 с (член ряда распада ²³⁵U), торон ²²⁰Rn с периодом полураспада 55,3 с (член ряда распада ²³²Th), радон ²²²Rn с периодом полураспада 3,8 суток (член ряда да ²³⁸U). Изотопы ²¹⁹Rn и ²²⁰Rn короткоживущие и поэтому не представляют опасности, изотоп ²²²Rn наиболее долгоживущий и его содержание в геологической среде оказывается максимальным. Радон ²²²Rn – дочерний продукт распада ²²⁶Ra непрерывно образуется за счет радиоактивных превращений во всех природных средах, содержащих изотопы радия. Радон с химической точки зрения практически инертен, в природе присутствует только в атомарной форме, его потенциальные соединения нестабильны. Вследствие химической инертности радон относительно легко покидает кристаллическую решетку минералов. При своем распаде радон излучает α-частицы, которые имеют большую кинетическую энергию. Процесс выделения радона ²²²Rn из твердой фазы во внешнее пространство или в открытые поры называется эманацией по радону. Радон поступает в подземные воды также при радиоактивном распаде растворенного радия с большим периодом полураспада, что обуславливает появление радона достаточно далеко от материнской горной породы. Атом радия, выбрасывая α-частицу, превращается в атом радона (эманация радия). Воды, содержащие только газовую эманацию радия, принято называть радоновыми. Воды с содержанием в растворе более 10⁻¹¹ г/дм³ радия называют ра-

диевыми или радиеносными. Кроме того, имеется группа радоно-радиевых вод, содержащих повышенное количество, как радия, так и радона, причем содержание последнего превышает равновесное количество.

Концентрация радона в подземных водах зависит от материнских пород и локальных геологических условий и может достигать тысяч Бк/дм³. Наибольшей величиной объемной активности (сотни и тысячи Бк/дм³) характеризуются подземные воды, приуроченные к метаморфическим и магматическим породам, имеющим высокую концентрацию урана. Для пермских отложений характерны средние величины объемной активности радона (десятки Бк/дм³). Концентрация урана в них несколько повышена из-за присутствия глин, содержащих радиоактивную слюду. Для молодых отложений, таких как меловые песчаники или палеогеновые и неогеновые пески, песчаники и глины, характерна низкая, практически нулевая объемная активность подземных вод. Для водоносных горизонтов, залегающих ближе к поверхности, где водовмещающими породами являются современные отложения (элювиальные, аллювиальные и делювиальные), характерно меньшее содержание радона, чем в более глубоких. Концентрация радона в поверхностных водах значительно меньше и зависит от локальных геологических условий. В морской воде концентрация радона определяется величиной порядка 10^{-19} мг/кг воды.

4.3. Формы выражения химического состава подземных вод

Поскольку содержащиеся в природной воде молекулы солей диссоциированы на ионы, основной формой выражения ее состава принято считать *ионную* форму. Концентрацию содержащихся в воде ионов определяют в граммах или миллиграммах на 1 дм³ воды (г/дм³, мг/дм³). Ионы взаимодействуют между собой в строго определенных эквивалентных массовых отношениях, поэтому состав подземных вод принято выражать в *эквивалентной* форме. Концентрацию содержащихся в воде ионов при этом определяют в молях или миллимолях количества вещества эквивалента ионов, содержащихся в 1 дм³ воды (моль/дм³, ммоль/дм³). Для выражения концентрации в эквивалентной форме содержащихся в воде ионов ранее использовали соответствующие им обозначения грамм-эквивалент или миллиграмм-эквивалент на 1 дм³ воды (г-экв/дм³, мг-экв/дм³). Эквивалентная форма выражения содержания анионов и катионов позволяет судить о составе растворенных в воде солей и контролировать правильность проведенного химического анализа. Пересчет состава природных вод, выраженного в ионной форме, в эквивалентную форму проводится по схеме:

$$\text{экв.масса} = \frac{\text{атомная (ионная) масса}}{\text{валентность (заряд иона)}}$$

$$\text{ммоль/дм}^3 = \frac{\text{мг/дм}^3}{\text{экв.масса}}$$

Практически содержание ионов (в мг/дм³) умножается на пересчетные для каждого иона коэффициенты (табл. 27), которые представляют собой величины, обратные эквивалентным массам. При правильно проведенном анализе различие между суммой молей эквивалентов анионов и суммой молей эквивалентов катионов не должно превышать 5 %.

Таблица 27

**Коэффициенты для пересчета из ионной формы (в мг/дм³)
в эквивалентную (в ммоль/дм³) [11]**

Ионы	Коэффициенты	Ионы	Коэффициенты
Ca ²⁺	0,0499	HCO ₃ ⁻	0,0164
Mg ²⁺	0,0822	SO ₄ ²⁻	0,0208
Na ⁺	0,0435	Cl ⁻	0,0282
K ⁺	0,0256	NO ₃ ⁻	0,0161

Для того чтобы сопоставлять воды различной минерализации и иметь представление о процессах, изменяющих основные типы подземных вод, необходимо вычислять эквивалентные отношения между ионами. Количества эквивалентов ионов выражают в процентах от суммы катионов и суммы анионов, принимая каждую из сумм за 100 %, а затем подсчитывают количество процентов, приходящееся на каждый анион и катион в соответствии с их содержанием в миллимолях эквивалента (ммоль %), реже в молях эквивалента (моль %). Из процентной формы количества вещества эквивалентов ионов, выраженной в миллимолях-эквивалент-процентах (ммоль %), исходят при отношении ионов к преобладающим и второстепенным.

Название подземных вод дается по преобладающим анионам и катионам. В название включаются ионы, содержащиеся в количестве большем 25 ммоль %, в порядке возрастания их содержания. Для унификации наименования подземных вод рекомендуется придерживаться следующего правила [11]: основное прилагательное писать полностью, а прилагательное, указывающее на второстепенное свойство, сокращенно. Например, если в химическом составе воды преобладают гидрокарбонатные и сульфатные анионы и катионы магния и натрия, причем гидрокарбонатного больше, чем сульфатного, а

натрия больше, чем магния, то воду следует называть сульфатно-гидрокарбонатной магниевой-натриевой.

Пример 1. Состав анализируемой пробы воды исследуемого источника подземных вод, выраженный концентрациями основных анионов и катионов в ионной форме (мг/дм³), приведен в таблице 28. Определить тип анализируемых подземных вод.

Решение. Используя коэффициенты для пересчета ионной формы выражения состава воды в эквивалентную форму, определяют преобладающие и второстепенные ионы. Данные расчета приведены в таблице 28.

Таблица 28

Формы выражения ионного состава воды

Определяемые ионы	Содержание определяемого иона		
	мг/дм ³	ммоль/дм ³	ммоль %
Ca ²⁺	95,3	4,75	44,86
Mg ²⁺	42,4	3,48	32,86
Na ⁺	45,1	1,66	18,50
K ⁺	15,5	0,40	3,78
Сумма	198,3	10,59	100,00
HCO ₃ ⁻	617,0	10,11	95,48
SO ₄ ²⁻	3,2	0,09	0,84
Cl ⁻	18,9	0,39	3,68
Сумма	639,1	10,59	100,00

Полученные значения концентрации ионов, выраженные в эквивалентной форме в миллимолях-эквивалент-процентах (ммоль %), определяют, что преобладающими ионами являются HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, исследуемые подземные воды относятся к типу гидрокарбонатных магниевых-кальциевых.

Для краткого и наглядного выражения химического состава подземных вод применяют формулу, предложенную М.Г. Курловым [12]. В формуле количественное содержание ионов выражено в миллимолях-эквивалент-процентах (ммоль %), причем главные анионы помещены в убывающем порядке выше черты, главные катионы – в том же порядке ниже черты. Буквой М обозначена общая минерализация в граммах на 1 дм³ воды (г/дм³). Если в воде содержатся газы или какие-либо специфические элементы (J⁻, F⁻, Br⁻, B³⁺ и др.), их рекомендуется указывать в начале формулы, перед общей минерализацией. В конце формулы указывают температуру воды.

Пример 2. Состав анализируемой пробы воды исследуемого источника подземных вод, выраженный концентрациями основных анионов и катионов в ионной форме (мг/дм³), с общей минерализацией 900 мг/дм³ и температурой 25,6 °С приведен в таблице 29. Составить формулу химического состава и определить тип анализируемых подземных вод.

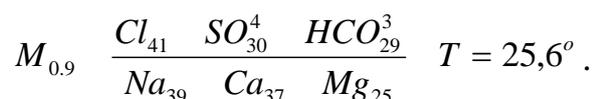
Решение. Используя коэффициенты для пересчета ионной формы выражения состава воды в эквивалентную форму, определяют преобладающие и второстепенные ионы. Данные расчета приведены в таблице 28.

Таблица 29

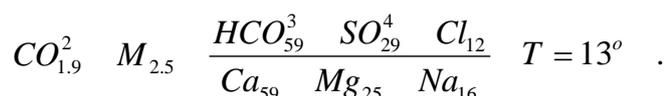
Состав воды исследуемого источника

Определяемые ионы	Содержание определяемого иона		
	мг/дм ³	ммоль/дм ³	ммоль %
Ca ²⁺	0,101	5,02	36,6
Mg ²⁺	0,042	3,48	25,4
Na ⁺ + K ⁺	0,121	5,20	38,0
Сумма	0,264	13,70	100,00
HCO ₃ ⁻	0,253	4,05	29,6
SO ₄ ²⁻	0,196	4,09	29,8
Cl ⁻	0,197	5,56	40,6
Сумма	0,646	13,70	100,00

Согласно полученным значениям концентрации определяемых ионов, выраженным в эквивалентной форме в миллимолях-эквивалент-процентах (ммоль %), исследуемая вода относится к гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридной магниевно-кальциевно-натриевой. Формула химического состава воды исследуемого источника имеет вид:



Пример 3. Определить тип подземных вод, формула химического состава которых имеет вид



Решение. Воду, описываемую этой формулой, следует назвать углекислой (содержание растворенного CO₂ составляет 1,9 г/дм³) с общей минерализацией 2500 мг/дм³ и температурой 13 °С сульфатно-гидрокарбонатной магниевно-кальциевой.

4.4. Классификация подземных вод

В практическом аспекте использования подземных вод наибольшее применение получили их классификации по химическому составу (по общей минерализации, соотношению анионов и катионов, содержанию некоторых газов и т.п.), по гидравлическим условиям и по условиям залегания. Классификации природных вод по химическому составу рассмотрены в предыдущих разделах. Химический состав подземных вод изменяется в широких пределах, подчиняясь при этом определенным гидрохимическим закономерностям. В классификации подземных вод по общей минерализации выделяют пресные, соленые и рассольные воды и соответствующие им гидрохимические зоны (табл. 30).

Таблица 30

Классификация подземных вод по общей минерализации (по И.К. Зайцеву и Н.И. Толстихину)

Группы подземных вод	Гидрохимические зоны	Индекс подзон	Минерализация воды, г/дм ³	Тип подземных вод
пресные	А	А	менее 1,0	гидрокарбонатные кальциевые и натриевые
соленые	Б	Б3	1,0-3,0	гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые
		Б10	3,0-10,0	сульфатные и хлоридно-сульфатные кальциевые или натриевые
		Б35	10,0-35,0	сульфатно-хлоридные и хлоридные натриевые
рассолы	В	В	более 35,0	хлоридные кальциево-натриевые

В классификации по гидравлическим условиям подземные воды подразделяют на *напорные* и *безнапорные*. Напорные воды при выходе на поверхность образуют восходящий источник, а безнапорные при выходе образуют нисходящий источник.

В классификации по условиям залегания, разработанной А.М. Овчинниковым, подземные воды подразделяют на *основные типы* в зависимости от геологических условий залегания, *подтипы* в зависимости от характера водовмещающих толщ, *особые типы*, представленные подземными водами с специфическими особенностями (табл. 31). В особую группу выделяют минеральные воды [12].

Классификация подземных вод по условиям залегания
(по А.М. Овчинникову)

Основные типы	Подтипы		Особые типы	
верховодка	поровые воды (воды в пористых горных породах)	трещинные воды (воды в трещино- ватых горных по- родах)	воды рай- онов веч- ной мерз- лоты	воды райо- нов молодого вулкана низма
грунтовые воды				
артезианские воды				

Каждый тип вод характеризуется определенными связями с поверхностными водами и атмосферными водами. Это влияет на зональное распределение подземных вод и условия их формирования. Основные типы подземных вод характеризуются определенными режимами. Под *режимом подземных вод* понимают закономерные изменения во времени, которые происходят в водоносном горизонте (эпизодические, суточные, сезонные, годовые, многолетние и вековые колебания) под воздействием метеорологических и геологических процессов. Водоносный горизонт – относительно выдержанная и единая в гидравлическом отношении толща (слой, пласт и т.п.) водопроницаемых горных пород, поры, трещины или пустоты которых заполнены подземными водами. Совокупность водоносных горизонтов и слабопроницаемых (водоупорных) пластов, характеризующаяся замкнутым балансом подземных вод (определяемым равенством в многолетнем разрезе величин питания и разгрузки подземных вод) называется бассейном подземных вод. Понятие этого термина охватывает артезианские бассейны, бассейны грунтовых вод, гидрогеологические массивы и т.п.

К *верховодке* относятся подземные воды, залегающие наиболее близко к земной поверхности. Эти воды находятся в зоне аэрации (между поверхностью и уровнем грунтовых вод), в виде линз накапливаются на включениях слабо проницаемых или не проницаемых для воды пород (глин, суглинков и др.) ограниченной протяженности в толще водопроницаемых пород (песков и др.). К этому типу относятся также капиллярные воды, находящиеся в подвешенном состоянии в зоне аэрации. Запасы вод верховодки, в основном, ограничены и подвержены резким сезонным колебаниям в зависимости от гидрометеорологических условий (количества выпадающих осадков, температуры и т.п.). В засушливое время года они могут полностью исчезнуть, в северных широтах зимой промерзают.

Грунтовые воды – это воды первого от поверхности водоносного горизонта, не имеющие сверху сплошной кровли из водонепроницаемых пород. Чаще всего они залегают в рыхлых четвертичных отложениях – грунтах (это

определило их название). Поверхность грунтовых вод называется зеркалом. Ниже зеркала поровое пространство пласта заполнено водой. Оно является зоной насыщения. Выше зеркала в зоне аэрации часть порового пространства содержит атмосферный воздух (иногда с примесью других газов) и воды верховодки. Грунтовые воды пополняют и обменивают свои запасы за короткое время, являются водами современными. Область питания грунтовых вод обычно совпадает с областью их распределения, вследствие чего они подвержены действию местных гидрогеологических, метеорологических и др. факторов. Уровень грунтовых вод представляет собой неровную поверхность. Основные закономерности формирования химического состава и распределения грунтовых вод определяются широтной гидрохимической и гидродинамической зональностью и обусловлены различными физико-географическими условиями. Для равнинных территорий широтная зональность выражается в увеличении общей минерализации и изменении химического состава подземных вод в направлении с севера на юг. На севере грунтовые воды обычно отличаются очень малой минерализацией (до 100 мг/дм³), относятся к гидрокарбонатному типу с повышенным содержанием кремния. В пределах Русской равнины находится зона среднеминерализованных (200-500 мг/дм³) гидрокарбонатных кальциевых вод при незначительном содержании сульфатов и хлоридов. Южнее простирается зона грунтовых вод повышенной минерализации (500 – 1000 мг/дм³ и более), совпадающая с областью неустойчивого увлажнения, которую рассматривают как переходную к аридной области. Эта зона соответствует южной части черноземно-степной полосы. В грунтовых водах этой зоны увеличивается содержание хлоридов и сульфатов, местами они переходят к хлоридно-сульфатному типу. Еще южнее, в сухих степях, полупустынях и пустынях, находится зона высокоминерализованных (более 1000 мг/дм³) сульфатно-хлоридных натриевых грунтовых вод континентального засоления. В горных районах Сибири, Кавказа и др., где обычно выпадает большое количество атмосферных осадков, развита зона среднеминерализованных гидрокарбонатных кальциевых вод.

Артезианские воды заключены между водонепроницаемыми слоями в более или менее глубоко залегающих водоносных пластах, образующих сравнительно крупные бассейны. Большой частью они приурочены к дочетвертичным отложениям, встречаются также в отложениях четвертичных пород. Артезианские воды находятся под напором, испытывают гидростатическое давление, обусловленное разностью уровней в месте питания и выхода воды на поверхность. Область питания артезианских вод обычно лежит выше области стока воды и выше выхода напорных вод на поверхность Земли. Артезианские воды представлены как современными, так и древними водами, часто вы-

сокоминерализованными и переходящими в рассолы. Для бассейнов артезианских вод наблюдается вертикальная гидрохимическая и гидродинамическая зональность. Вертикальная гидрохимическая и гидродинамическая зональность заключается в закономерной смене по мере углубления в недра земли более или менее выраженных зон подземных вод, различающихся между собой по минерализации, химическому составу и гидродинамическому режиму. В вертикальном разрезе артезианского бассейна обычно различают три гидрохимические зоны, более типичные для районов с влажным климатом:

- верхнюю зону – пресных вод с минерализацией до 1 г/дм³ преимущественно гидрокарбонатного класса;
- среднюю зону – солоноватых вод с минерализацией 1 – 35 г/дм³ сульфатного и хлоридного класса;
- нижнюю зону – соленых вод и рассолов с минерализацией более 35 г/дм³ хлоридного класса.

Эта общая схема вертикальной зональности артезианских вод в различных бассейнах может существенно меняться. В ряде артезианских бассейнов подземных вод в вертикальном разрезе наблюдаются только две зоны, а иногда одна зона, в основном, пресных вод. В некоторых бассейнах подземных вод засушливой зоны часто наблюдается обратная гидрогеохимическая зональность, когда горизонты пресных вод развиты ниже горизонтов солоноватых или соленых подземных вод или чередуются с ними.

Минеральными водами называют воды с повышенным содержанием биологически активных химических компонентов (в том числе радиоактивных), газов или с повышенной температурой (*термальные воды*).

Минеральные воды могут находиться в любых типах и подтипах подземных вод. Минеральные воды могут быть грунтовыми и артезианскими, находиться в пористых и трещиноватых горных породах, характеризуются повышенным содержанием специфических элементов. Гидрохимическая классификация минеральных вод, основанная на учете их газового и химического состава, приведена в таблице 32.

Минеральные воды относятся к водам лечебного значения и получили широкое применение в курортно-санаторной практике. К главнейшим типам лечебных минеральных вод относятся: углекислые воды, сероводородные, или сульфидные, воды, радиоактивные воды.

Углекислые воды – являются одним из своеобразных типов минеральных вод, постоянно пульсирующие, обычно холодные и освежающие, расположенные в гористых местах. Углекислые воды встречаются с небольшой минерализацией и повышенной минерализацией, например, гидрокарбонатно-хлоридные натриевые.

Гидрогеохимическая классификация минеральных вод
(по А.М. Овчинникову)

Основные группы минеральных вод	Особенности газового состава	Типы минеральных вод
Воды с газами окислительной обстановки (O ₂ и др.)	Обычно не газифицируемые (содержащие газ только в растворе)	С повышенным содержанием специфических компонентов: железистые, мышьяковистые, радоновые
		Без повышенного содержания специфических компонентов: гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные
Воды с газами восстановительной обстановки (CH ₄ , N ₂ , H ₂ S и др.)	Слабо газифицируемые: азотные	Кремнистые щелочные термальные, местами радоновые Слабо гидросульфидные термальные Воды сложного состава, часто хлоридные кальциево-натриевые
	сероводородные	Магнетиинские высокой концентрации (с метаном) Воды сложного состава средней концентрации Сульфатные кальциевые низкой концентрации
Воды с газами метаморфической обстановки (CO ₂ и др.)	Сильно газифицируемые углекислые	Холодные (нарзаны) Горячие типа железноводских, иногда радоно-радиевые Боржоми, Ессентуки, местами мышьяковистые Соленые воды Арзни-Наугйм

Сероводородные воды – воды, содержащие более 1 мг/дм³ сероводорода. Сероводородные воды приурочены к осадочным отложениям, развиты в районах нефтяных месторождений. По химическому типу являются хлоридными натриевыми или хлоридными кальциево-натриевыми и обычно содержат повышенные концентрации иода, брома, бора и аммония. Сероводородные воды имеют большое значение в современной бальнеологии.

Радиоактивные воды – воды, характеризующиеся повышенным содержанием радиоактивных элементов. Слабо минерализованные радиоактивные (радоновые) воды применяются в бальнеологии. Радоновые воды с объемной активностью 130- 370 Бк/дм³ относятся к слабо радоновым, 370-1110 Бк/дм³ – со средним содержанием радона, более 1110 Бк/дм³ – сильно радоновым. Радиоактивные воды обычно связаны с кислыми интрузивными породами (гранитами и др.) или с продуктами их разрушения. Многие радоновые воды пред-

ставляют собой холодные грунтовые воды, залегающие над массивами кислых изверженных пород.

Требования к качеству и безопасности минеральных лечебных питьевых и лечебных бальнеологических (для наружного применения) установлены в ГОСТ 13273-88, СанПиН 2.3.2.1078-2001.

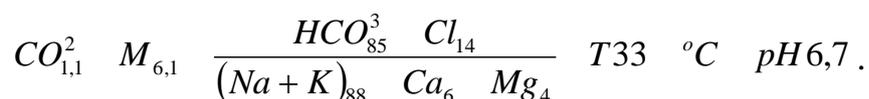
Химический состав и физические свойства минеральных вод записывают в виде формулы. В начале формулы указывают содержание газовых (CO_2 , H_2S и др.) и специфических биологически активных компонентов (Br, J, Fe, As и др.) в граммах на 1 дм³ воды (г/дм³), объемную радиоактивность в нанокюри (1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк) на 1 дм³ воды (нКи/дм³), общую минерализацию М в граммах на 1 дм³ воды (г/дм³). Преобладающие ионы записывают в виде условной дроби, в числителе которой перечислены анионы, в знаменателе – катионы в миллимолях-эквивалент-процентах (ммоль %). В конце формулы указывают температуру воды на выходе из источника (°С) и величину рН (ед.рН).

Пример 4. Минеральные воды боржомы имеют температуру 33 °С, характеризуются величиной водородного показателя рН = 6,7, общей минерализации 6,1 г/дм³, содержанием CO_2 1,1 г/дм³, преобладающих ионов, ммоль %:

HCO_3^- - 85,0; Cl^- 14,0; Ca^{2+} - 6,0; Mg^{2+} - 4,0; $\Sigma(\text{Na}^+ + \text{K}^+) - 88,0$.

Составить формулу химического состава минеральных вод этого типа.

Решение. Для минеральных вод боржомы формула записывается в следующем виде



Минеральные воды, состав и ресурсы специфических компонентов которых достаточны для извлечения этих компонентов в промышленных масштабах, относятся к *промышленным водам*. Подземные воды с температурой более 35 °С, которые используются или могут быть использованы для теплоснабжения промышленных, сельскохозяйственных и гражданских объектов, а также для выработки электроэнергии, относятся к *теплоэнергетическим (термальным)* подземным водам.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте определение понятия «подземные воды».
2. Перечислите основные физические свойства подземных вод.
3. Назовите основные группы химических элементов, входящих в состав подземных вод.
4. Перечислите основные макрокомпоненты химического состава подземных вод.
5. Какие основные свойства подземных вод обуславливают различные сочетания содержащихся в них макрокомпонентов?
6. Перечислите часто встречающиеся в подземных водах микрокомпоненты.
7. Расскажите о специфических и радиоактивных компонентах, содержащихся в подземных водах.
8. Перечислите формы выражения химического состава подземных вод.
9. Что выражает формула М.Г. Курлова?
10. Приведите классификации подземных вод по общей минерализации, по гидравлическим условиям и по условиям залегания.
11. Перечислите основные типы подземных вод по условиям залегания.
12. Сформулируйте определение понятия «режим подземных вод».
13. Чем обусловлена горизонтальная зональность подземных вод.
14. В чем заключается вертикальная гидрохимическая и гидродинамическая зональность подземных вод.
15. Какие подземные воды относятся к минеральным водам?
16. Приведите гидрогеохимическую классификацию минеральных вод.
17. Перечислите основные типы лечебных минеральных вод.
18. Какие группы минеральных радиоактивных вод выделяют по величине объемной активности?
19. Какие показатели химического состава и физических свойств минеральных вод указывают в формуле М.Г. Курлова?
20. Какие подземные воды относятся к промышленным водам?

Глава 5. РЕГИОНАЛЬНАЯ ГИДРОГЕОХИМИЯ

5.1. Гидрогеохимия подземных вод

Региональная оценка природных ресурсов подземных вод сводится к определению основных закономерностей их формирования в зависимости от физико-географических и геолого-гидрогеологических условий, установлению пространственно-временных особенностей изменения удельных величин и коэффициентов, характеризующих подземный сток, химического состава вод различных водоносных горизонтов на территории страны и крупных регионов. При региональной оценке проводится подсчет как потенциальных, так и прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод. В России выполнены работы по региональной оценке эксплуатационных ресурсов подземных вод всех артезианских бассейнов и гидрогеологических массивов страны, составлены карты различного масштаба, на которых отражены модули эксплуатационных ресурсов. Под *модулем эксплуатационных ресурсов* понимается расход воды, который в среднем можно получить с 1 км² площади распространения водоносного горизонта. Определены коэффициенты подземного стока и коэффициенты подземного питания водотоков, количественно характеризующие роль подземных вод в формировании водного баланса и водных ресурсов регионов. *Коэффициент подземного стока* представляет собой соотношение подземного стока к атмосферным осадкам. Он показывает, какая часть атмосферных осадков (обычно в процентах) расходуется на питание подземных вод. Для большинства гидрогеологических районов страны установлена принципиальная возможность использования подземных вод и создана основа для планирования поисково-разведочных работ в целях организации водоснабжения конкретного назначения. Работами отечественных ученых В.А. Всеволожского, Р.Г. Джамалова, И.В. Зеленина, И.С. Зекцера, В.П. Карпова, А.П. Лаврова, Н.А. Лебедева, О.В. Попова, Н.С. Ратнера и др. установлены основные закономерности формирования подземного стока по территории регионов страны [10]. Установлено, что:

- распределение основных количественных характеристик природных ресурсов подземных вод по территории регионов отличается резкой неоднородностью и четко выраженной дифференцированностью по основным ландшафтно-климатическим зонам и геолого-гидрологическим структурам;

- наиболее общей закономерностью является различный характер распределения параметров подземного стока в пределах платформенных (равнинных) территорий и горно-складчатых областей при диапазоне изменения величин среднегодовых модулей, определяемых соответственно от менее 0,1 до 6,0-6,8 дм³/с и от 0,1 до 30-50 дм³/с на 1 км² площади;

- более 80% общего подземного стока формируется в избыточно увлажненной и влажной зонах, около 18% – в зоне недостаточного увлажнения, около 2% – в засушливой зоне;

- на равнинной территории (на территории континентальных платформ) прослеживается как общая закономерность, обусловленная особенностями геофильтрационной среды зоны интенсивного водообмена, широтная зональность – уменьшение коэффициентов подземного стока с северо-запада на юго-восток с 10-20% в зоне избыточного увлажнения до 1% и менее в степных и полупустынных районах;

- в горно-складчатых областях распределение величины подземного стока определяется резкими изменениями типа геофильтрационных сред и количества осадков с высотой местности;

- на распределение величин подземного стока значительное влияние оказывает карст, широкое развитие хорошо проницаемых аллювиальных отложений, распределение многолетнемерзлых пород.

Данные о распределении водных ресурсов по наиболее крупным геолого-структурным и гидрогеологическим районам страны приведены в таблице 33.

Таблица 33

Данные о распределении водных ресурсов по геолого-структурным и гидрогеологическим районам страны [10]

Гидрогеологический район	Площадь, тыс. км ²	Ресурсы вод, км ³ /год		
		поверхностных вод (общий речной сток)	подземных вод (подземный сток)	соотношение подземных и поверхностных вод
Русская плита	4060	719	170,0	0,24
Кавказ	264	92	45,7	0,50
Уральская гидрогеологическая складчатая область	462	79	25,4	0,32
Западно-Сибирская артезианская область	2919	583	136,9	0,23
Сибирская плита	3500	738	108,9	0,15
Верхояно-Чукотская гидрогеологическая область	2420	538	65	0,12

Вологодская область расположена на северо-западе Европейской части России (рис. 4).



Рис. 4. Карта-схема расположения Вологодской области

Территория Вологодской области находится в пределах лесной зоны умеренного пояса в подзонах средней и южной тайги. В геологическом отношении территория области находится в пределах Восточно-Европейской платформы. Рельеф в пределах территории области равнинный с небольшими перепадами высот, со следами деятельности ледника. На северо-западе области распространен ярко выраженный моренный рельеф, в центральной части преобладают всхолмленные равнины, на востоке области рельеф спокойно волнистый. Климат умеренно континентальный. Характеризуется умеренно теплым относительно коротким летом, продолжительной умеренно холодной зимой. Средняя температура января -11°C на западе и -14°C на востоке. Средняя температура июля $+16,5^{\circ}\text{C}$ на северо-западе, $+17,5^{\circ}\text{C}$ на юге и востоке области. Годовая сумма осадков составляет 500-600 мм. Наиболее увлажнены западные и юго-западные районы области, наименее – восточные. Продолжительность залегания снежного покрова составляет 160-170 дней. По территории области протекает более 1200 рек, которые относятся к бассейнам Белого, Балтийского и Каспийского морей. К основным из них относятся: на северо-западе – Вытегра, Андома, Ковжа, Кема, Мегра; на юго-западе – Суда, Молога; в центре – Шексна, Кубена, Вага; на востоке – самая длинная река Сухона (протяженностью 558 км), Юг. На территории области насчитывается свыше 4200 озер. Самые крупные из них – Белое, Кубенское, Воже. Западную часть территории области с севера на юг пересекает Волго-Балтийский канал. Большое количество осадков, обилие грунтовых вод, замедленный сток обуславливают забо-

лоченность территории. Болотами, которые богаты торфом, занято 12 % площади.

Отличительной особенностью региона является разнообразие гидрологических условий и, как следствие, большое разнообразие в химическом составе подземных вод различных водоносных горизонтов. Подземные воды в пределах территории области большей частью относятся к Северо-Двинскому артезианскому бассейну, небольшая юго-западная часть территории области относится к Московскому артезианскому бассейну, а ее юго-восточная часть – к Волго-Камскому. Территория области характеризуется значительными запасами подземных вод в различных гидрогеологических слоях – близ поверхности земли и на глубине, превышающей десятки и сотни метров. Подземные воды в пределах территории области приурочены, в основном, к четвертичным, трассовым, пермским, каменноугольным и девонским отложениям. Водообильность дочетвертичных пород характеризуется небольшими удельными дебитами – от 2-10 дм³/с в западных районах до 0,5-2 дм³/с в центральных и восточных районах [4]. Подземные воды, приуроченные к пермским отложениям, занимающим центральную часть региона, отличаются большим разнообразием состава, глубины залегания, мощности зоны пресной воды. В целом подземные воды на территории области характеризуются значительными различиями по распределению и химическому составу, обусловленными различными гидрогеологическими и физико-географическими условиями. Минерализация подземных вод различных водоносных горизонтов изменяется в широких пределах. С глубиной минерализация возрастает постепенно или скачкообразно от слабоминерализованных вод на небольших глубинах до среднеминерализованных вод и вод с повышенной минерализацией на глубине 150-200 м и более. Для территории области характерна следующая гидрохимическая зональность: зона пресных вод, преимущественно гидрокарбонатного состава, сменяется зоной соленых вод, имеющих сульфатный и затем хлоридный состав, и зоной рассолов – высокоминерализованных вод хлоридного состава. На территории области распространены пресные, минеральные и промышленные подземные воды.

Пресные подземные воды в ряде районов области характеризуются высоким содержанием железа, фтора, бария, очень низкими концентрациями кальция и магния [6].

С повышенным содержанием *железа* подземные воды распространены на большей части территории области. На территории 20 (Вологодском, Грязовецком, Кирилловском, Череповецком и др.) из 26 районов области содержание железа в подземных водах вскрываемых скважинами значительно превышает гигиенический норматив по этому показателю (более 2 мг/дм³ при

ПДК 0,3 мг/дм³). С высоким содержанием железа подземные воды встречаются в различных по литологии и возрасту водовмещающих породах. Такие воды чаще приурочены к четвертичным образованиям или аллювиальным отложениям, содержащим органические вещества полуразложившихся растительных остатков, что способствует образованию восстановительной гидрогеохимической обстановки, обуславливающей условия перехода ионов железа в раствор. Скважинами вскрываются железистые воды водоносных горизонтов разного возраста – от четвертичного до девонского. Максимальные концентрации ионов железа (до 41,8 мг/дм³) отмечены в водах пород перми, перекрытых отложениями четвертичного возраста. По анионам эти воды относятся к гидрокарбонатным и хлоридным, по катионному составу – кальциевые, натриевые и смешанного типа. Содовые и хлоридные типы воды с повышенным содержанием железа характерны для вод отложений триаса и перми [6].

С повышенным содержанием *фтора* (более 1,5 мг/дм³) выделяется на территории области обширная провинция пресных подземных вод, приуроченная преимущественно к районам распространения отложений триаса и частично верхней перми. Пресные и маломинерализованные подземные воды с повышенным содержанием фтора широко распространены в зоне интенсивного водообмена, относятся, в основном, к типу гидрокарбонатных натриевых вод. Содержание фтора более 1,6 мг/дм³ отмечается в подземных водах вскрываемых скважинами на территориях Вологодского, Грязовецкого, Кирилловского, Междуреченского районов. Повышенные концентрации фтора (1,6–4,8 мг/дм³) отмечены в водах татарских отложений верхней перми в Великоустюгском, Сямженском, Шекснинском районах. В водах отдельных водозаборов Белозерского и Череповецкого районов, эксплуатирующих подземные воды верхнекаменноугольных и нижнепермских отложений, содержание фтора достигает 2–3 мг/дм³. Максимальные концентрации фтора (4–5 мг/дм³) отмечены в подземных водах отложений триаса в Кичм.-Городецком и Никольском районах.

Содержание в подземных водах *бария* в концентрациях, превышающих нормативы более чем на порядок, отмечено в единичных водозаборных скважинах. В наиболее высоких концентрациях барий содержится в подземных водах верхней перми, в водах озерно-аллювиальных и озерных отложений четвертичного возраста. Такие воды по анионам относятся к гидрокарбонатным, по катионному составу – кальциевые и смешанные.

Подземные воды с очень низкими концентрациями *кальция и магния* (с жесткостью менее 1 ммоль/дм³) в пределах территории области распространены в водоносных горизонтах триаса и татарского, реже казанского, ярусов верхней перми. По составу воды очень мягкие, относятся к гидрокарбонатным

натриевым, образующим обширную провинцию на юге и юго-востоке области в пределах территории Междуреченского и Никольского районов.

Минеральные подземные воды на территории области имеют практически повсеместное распространение, выходят на дневную поверхность в виде источников или вскрываются скважинами. В пределах территории области выделяются 4 бальнеологические группы минеральных вод: лечебные без специфических компонентов и свойств, сульфидные, железистые и бромные.

Минеральные подземные воды *без специфических компонентов и свойств* залегают выше толщи нижнепермских пород, имеют различный состав (сульфатные, сульфатно-хлоридные, хлоридные) и различную минерализацию. Наибольшим разнообразием по химическому составу среди минеральных вод без специфических компонентов отмечаются сульфатные воды. Они имеют широкое распространение на территории области и вскрыты многими скважинами. Сульфатные кальциевые воды Краинского типа (ГОСТ 13273-88) характеризуются повышенным содержанием аниона SO_4^{2-} с преобладанием катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} и слабой минерализацией (2,0-3,0 г/дм³). Вскрыты скважинами в окрестностях озера Вашкозеро, в пределах территорий Кадуйского (д. Панино), Кирилловского (д. Лычково), Череповецкого (д. Большой Двор) и других районов области. Сульфатные кальциевые с минерализацией 3,0-3,2 г/дм³ Кашинского типа вскрыты скважинами на Череповецком участке Нижнеустынского месторождения. Сульфатные натриево-магниевые-кальциевые Московского типа вскрыты скважинами на территории Вологодского района (д. Демино) и территории Вологодского льнокомбината. Сульфатные кальциево-натриевые слабощелочные воды с минерализацией 3,4-3,7 г/дм³ (аналогичные Московскому типу) приурочены к вехнепермским отложениям сухонского горизонта (Содимский участок Сухонского месторождения). Сульфатно-хлоридные, хлоридно-сульфатные и хлоридные воды (Угличский, Чартакский, Миргородский Феодосийский, Ергененский, Нижнее-Ивкинский №1, Ново-Ижевский и Талицкий типы по ГОСТ 13273-88) характеризуются содержанием преобладающих анионов SO_4^{2-} , Cl^- и катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ и минерализацией до 5,0-10,0 г/дм³. Эти воды вскрыты скважинами во многих районах области (Великоустюгском, Кичм-Городецком, Сокольском, Усть-Кубенском и др.) на глубинах от 27 м до 300 м в толщах четвертичных, каменноугольных, пермских и нижнетриасовых отложений, местами выходят на поверхность и, в основном, приурочены к аномальным участкам.

Сульфидные (сероводородные) воды приурочены к залегающим близко к поверхности загипсованным отложениям карбона и частично перми. Наиболее широкое развитие они получили на юго-западе области в пределах Молого-Шекснинской низменности заболоченной верховыми болотами. Выходы сульф-

фидных вод обнаружены в виде источников (Шелохачская группа) и на глубинах 10-58 м вскрыты скважинами (д.Усть-Копь, д.Елехово, д.Попчиха и др.). Эти воды сульфатно-гидрокарбонатного магниево-кальциевого и натриево-кальциевого типа с содержанием сероводорода до 54 мг/дм³ и минерализацией 1,5 г/дм³. Ресурсы сульфидных вод очень велики. Удельный дебит скважин, пробуренных на глубину до 20 м, составляет 2-10 дм³/с.

Железистые воды по условиям формирования и составу относятся к группе пресных и слабоминерализованных железистых вод типа Полуостровских минеральных вод (ГОСТ 13273-88). По химическому составу эти воды относятся к гидрокарбонатному магниево-кальциевому типу с содержанием железа в пределах от 4 до 20 мг/дм³, реже более 20 мг/дм³. Кроме железа, в водах родников содержатся в повышенных концентрациях ионы марганца, стронция, титана и других элементов, радиоактивные элементы радий и радон.

Бромные воды имеют региональное развитие в пределах нижней гидрогеохимической зоны – рассолов хлоридного натриевого типа с минерализацией более 35 г/дм³ (Вологодский тип минеральных вод по ГОСТ 13273-88). Из микроэлементов в их составе, кроме брома, обычно содержится йод, а также возможна повышенная радиоактивность вод. В соленых водах и рассолах установлено нарастание концентрации брома с глубиной. Зона залегания рассолов охватывает весь разрез от нижней перми до верхнего протерозоя на значительных глубинах (порядка 200-300 м и более) под региональным водоупором. По условиям формирования эти воды относятся к зоне застойного водообмена, отличаются обычно высокой степенью минерализации. Рассолы хлоридного натриевого типа с минерализацией 50,0-60,0 г/дм³ вскрыты скважинами в пределах территорий Вологодского, Междуреченского, Сокольского, Тотемского районов.

Кроме перечисленных 4 бальнеологических групп минеральных вод, в южной части территории области в бассейне р. Углы известны радоновые холодные слабоминерализованные воды, выходящие на дневную поверхность в виде серии родников.

Промышленные подземные воды распространены на территории области в пределах северной части Московского артезианского бассейна. Эти воды установлены под водоупорной толщей нижнепермского возраста, где повсеместно развиты крепкие рассолы с общей минерализацией более 50,0 г/дм³. Глубины залегания таких рассолов порядка 800-1000 м и более. В их составе в повышенных концентрациях установлено содержание брома, йода, стронция, калия, редких металлов. Промышленное значение из них имеют воды, содержащие бром с концентрацией 250 мг/дм³ и более.

5.2. Направления использования подземных вод

Подземные воды на территории региона используются в 3 основных направлениях: как ресурсы пресных вод питьевого и хозяйственного назначения, минеральные лечебные питьевого и бальнеологического назначения и минеральные промышленные воды.

Эксплуатационные ресурсы пресных и слабосоленых (с минерализацией до 3 г/дм³) подземных вод оцениваются в 7,5 млн. м³/сут. Обеспеченность пресными подземными водами питьевого и хозяйственного назначения на территории области неравномерна. Основной объем запасов питьевых подземных вод сосредоточен в западной части области, где распространены водообильные каменноугольные отложения. В отличие от западной части области, центральная и восточная части области обеспечены подземными водами слабо и неравномерно. Разведанные ресурсы пресных подземных вод используются на 60 % по количеству введенных в эксплуатацию месторождений и всего на 6,4 % по запасам. Из общего учтенного водоотбора подземных вод на территории области используется на хозяйственно-питьевые и производственные нужды порядка 36 %, потери при добыче и транспортировке составляют около 2 %, сброс без использования и сброс из самоизливающихся скважин составляет 62 % от всего количества извлеченных подземных вод (рис. 5).

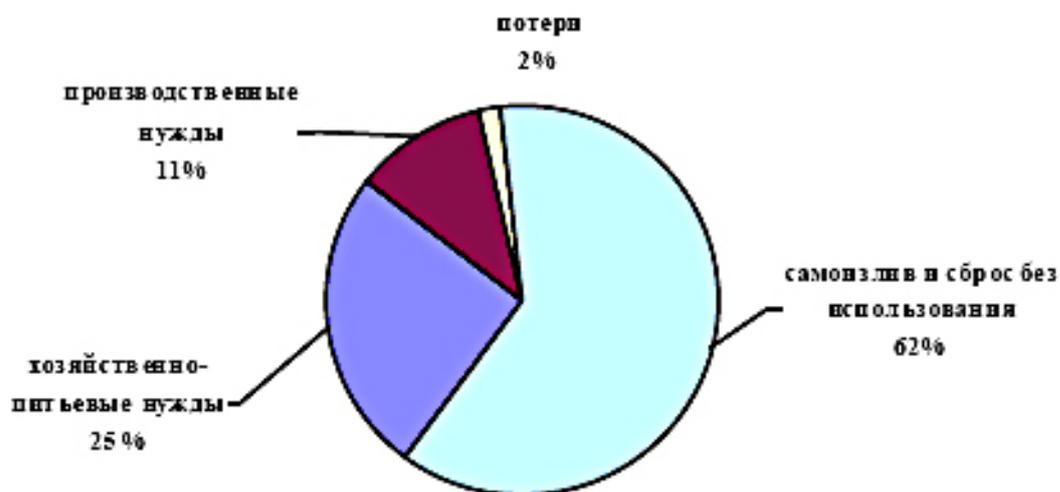


Рис. 5. Распределение пресных подземных вод по направлениям использования на территории Вологодской области

Извлечение пресных подземных вод питьевого и хозяйственного назначения из недр осуществляется одиночными скважинами, централизованными водозаборами, шахтными колодцами, при каптаже родников и карьерной разработке месторождений полезных ископаемых. В целом по области преобла-

дают децентрализованные водозаборы, состоящие из одной или двух скважин. Централизованными системами питьевого водоснабжения из подземных источников обеспечены, в основном, города (Бабаево, Великий Устюг, Вытегра, Тотма, Никольск, Устюжна), с. им. Бабушкина и другие районные центры.

Доля подземных вод в водоснабжении области составляет около 15%. Основным источником водоснабжения являются поверхностные воды, покрывающие около 85 % потребности общего водопотребления. Удельное водопотребление на хозяйственно-питьевые цели 1 человека изменяется от 24 – 29 дм³/сутки в Кичм-Городецком, Никольском и Верховажском районах до 428 дм³/сутки в Череповце, составляя в среднем по области 243 дм³/сутки. Преимущественное использование (более 90%) для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения подземных вод осуществляется лишь в 12 городах и селах области, в 7 населенных пунктах оно составляет 10-90% и в 10 – менее 10% [2].

Подземные воды являются одним из наиболее перспективных источников питьевого водоснабжения, характеризуются высокой стабильностью физико-химических и бактериологических показателей качества и поэтому не требуют применения таких дорогостоящих и сложных систем очистки, как при эксплуатации поверхностных вод. Подземные воды в значительно большей степени защищены от воздействия внешних факторов, меньше подвержены сезонным и многолетним колебаниям, обладают лучшим качеством по сравнению с поверхностными водами.

5.3. Оценка качества подземных вод, используемых для питьевых и хозяйственных целей

Все города и поселки городского типа оснащены системами централизованного водоснабжения. В сельских населенных пунктах степень оснащения системами централизованного водоснабжения составляет 7 – 30% [2]. В последние годы практически все поверхностные водные объекты, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения, подвергаются техногенному загрязнению. Отмечается ухудшение качества воды подземных водоисточников, используемых в системах централизованного водоснабжения. Данные официальной статистики качества водопроводной воды, подаваемой системами централизованного водоснабжения из поверхностных и подземных источников, обобщены на рисунке 6.

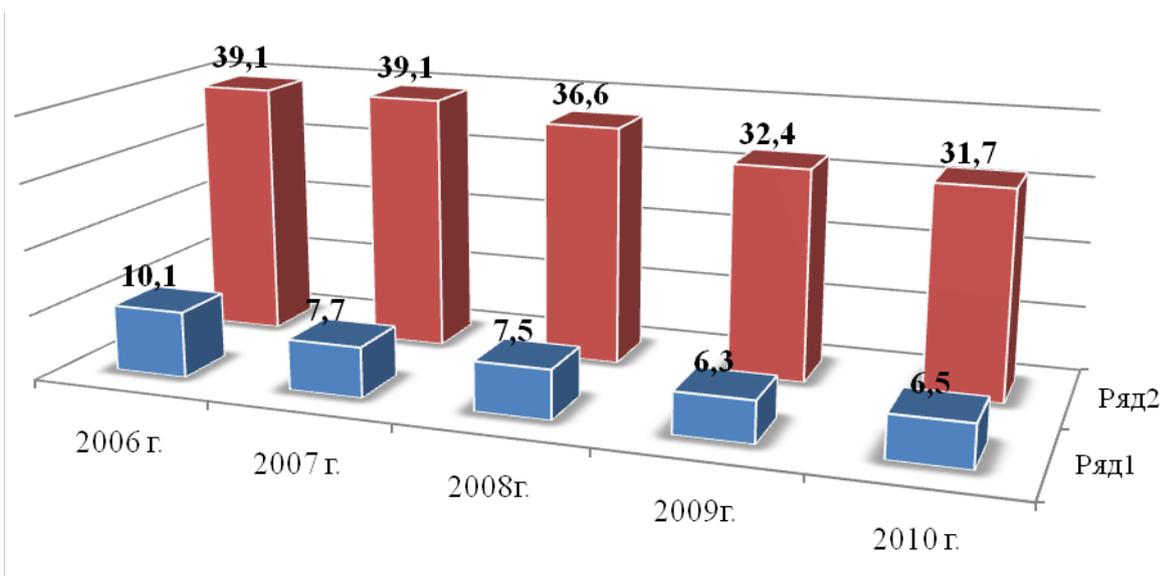


Рис. 6. Качество водопроводной воды за период 2006-2010 гг. в Вологодской области:

*ряд 1 – по микробиологическим показателям;
ряд 2 – по санитарно-химическим показателям*

На территории области используется более 400 (в 2009г. – 408, в 2010 г. - 442) источника нецентрализованного водоснабжения, все они расположены в сельской местности, более 20 % из них не отвечает санитарным нормам и правилам. Это отражается на качестве питьевой воды, доставляемой населению.

По ряду показателей качества питьевой воды несоответствие требованиям гигиенических нормативов на территории области обусловлено природными факторами. Характеристика качества используемых вод по региональным особенностям отклонений от нормативных требований СанПиН 2.1.4.1074-01, СанПиН 2.1.4.1175-02 представлена по данным [2] в таблице 34.

На территории региона разными являются также защищенность подземных вод от загрязнения и степень техногенной нагрузки. Наблюдения за качеством вод источников питьевого водоснабжения непосредственно на водозаборах осуществляет центр Госсанэпиднадзора в Вологодской области. Наблюдательные пункты охватывают всю территорию области и размещены на участках, как с естественным, так и с нарушенным режимом подземных вод. Наблюдательная сеть за изучением естественного режима подземных вод состоит из 126 скважин, в том числе включает 87 скважин опорной федеральной сети, 15 наблюдательных пунктов территориальной сети, 18 скважин объектной сети и 6 скважин ведомственной сети.

Характеристика качества используемых вод по региональным особенностям отклонений от нормативных требований

Город, поселок городского типа	Показатели, характеризующие региональные особенности источника по гигиеническим нормативам СанПиН
1	2
Бабаево	Железо
Белозерск	Железо, окисляемость, органолептические
Великий Устюг	Железо, кадмий, органолептические
Вожега	Железо, марганец, азот аммонийный, микробиологические, органолептические
Вологда	Железо, марганец, фенол, окисляемость, органолептические
Вохтога	Железо, окисляемость
Вытегра	Железо, жесткость, хлориды, сухой остаток, микробиологические
Грязовец	Железо, окисляемость
Желябова	Железо, жесткость, сухой остаток
Кадников	Железо, органолептические
Кадуй	Железо, жесткость, органолептические
Кириллов	Железо, окисляемость, органолептические
Красавино	Железо, марганец, хром, органолептические
Никольск	Сухой остаток, фтор, бор, рН
Сазоново	Железо, бор, органолептические
Сокол	Железо, окисляемость, органолептические
Суда	Железо, марганец, окисляемость, органолептические
Тотьма	Железо, жесткость, органолептические
Устье	Железо, рН, окисляемость, органолептические
Устюжна	Железо, жесткость
Харовск	Железо, сульфаты, жесткость, сухой остаток, микробиологические, органолептические
Шексна	Железо, марганец, окисляемость, органолептические
Чибсара	Железо, марганец, органолептические
Череповец	Железо, алюминий, кадмий, окисляемость

Подземные воды считаются загрязненными при обнаружении динамических тенденций изменения состава и свойств воды, обусловленных проникновением загрязнений с поверхности почвы, из водотоков, смежных водоносных горизонтов; латерального подтока вод иного (относительно фона) минерального состава, изменением условий питания и разгрузки, уровнем эксплуатируемого и первого от поверхности водоносных горизонтов. Степень опасности загрязнения оценивается с использованием гигиенической классификации.

Химический состав подземных вод на территории области по данным [2], как в естественных, так и в нарушенных условиях, практически остается неизменным и в целом отвечает гигиеническим нормативам. Превышений ПДК по основным химическим показателям в подземных водах, эксплуатируемых на водозаборах, не обнаружено. Высокое содержание железа общего в четвертичных водоносных горизонтах, фтора в ветлужском терригенном комплексе, а также сероводорода в каменноугольных и нижнепермских водоносных горизонтах вызвано природными факторами. На некоторых участках на территории в зоне воздействия промышленных предприятий г. Череповца качество воды первого от поверхности водоносного горизонта не соответствует гигиеническим нормативам. Отмечается превышение ПДК по окисляемости, жесткости и содержанию ионов группы азота. Загрязнение грунтовых вод сульфатами, фенолами, нефтепродуктами, ионами группы азота, тяжелыми металлами, фосфатами отмечается в скважинах ведомственной наблюдательной сети на промышленных предприятиях. Загрязнение грунтовых вод на этой территории имеет как локальную, так и обширную площадь распространения.

В отличие от подземных вод, вскрываемых скважинами, вода в колодцах, коптирующих грунтовые воды, характеризуется более сбалансированным химическим составом, отвечающим критериям физиологической полноценности по содержанию основных биологически необходимых макро- и микрокомпонентов, более низким содержанием общей минерализации, специфических биологически активных компонентов (в том числе радиоактивных). Это объясняется тем, что колодцы, как правило, неглубоки, и водовмещающими породами являются современные отложения (элювиальные, аллювиальные и делювиальные). В то же время качество воды, используемой из таких источников для питьевого водоснабжения, в большей мере зависит от степени техногенной нагрузки на территории и санитарно-технического состояния водозаборных сооружений.

Анализ фактического материала по результатам оценки качества воды в источниках нецентрализованного водоснабжения на территории ряда районов региона показал, что техногенные гидрохимические провинции в пределах территории региона формируются, в основном, по повышенным содержаниям соединений азота (нитрат-ионов и ионов аммония) и ионов свинца.

Суммируя данные санитарного обследования источников водоснабжения, устройств и оборудования водозаборных сооружений, аналитические данные показателей качества воды в источниках нецентрализованного водоснабжения и состава сопряженных сред (почвы, снежного покрова), установлено, что в пределах рассматриваемой территории формирование грунтовых вод с повышенными содержаниями токсичных нормируемых примесей нельзя

рассматривать только как результат их техногенного загрязнения. В современных условиях хозяйственного освоения территории основные существующие проблемы гигиены водопользования являются результатом сочетания естественных геохимических процессов с техногенными процессами и недостаточной санитарной надежностью существующих водозаборных сооружений.

На территории сельских поселений Череповецкого района, расположенных в зоне техногенного воздействия предприятий промышленного комплекса, включающего производства металлургической, химической, энергетической и других отраслей, возрастающая техногенная нагрузка вызывает загрязнение природной среды по всем ее компонентам.

Для грунтовых вод в пределах рассматриваемой территории (рис. 7) характерен комплекс однотипных гидрогеохимических свойств. По величине водородного показателя рН все исследованные пробы воды относятся к нейтральным и слабощелочным. Значение рН изменяется в диапазоне от 6,53 до 8,08. Содержание растворенного кислорода находится в пределах от 4,2 до 10,5 мг О₂/дм³. Вода по большинству точек пробоотбора по содержанию макроэлементов относится к гидрокарбонатной кальциевой и магниевой-кальциевой. Изменение соотношений между содержанием ионов натрия и ионов кальция в анализируемых водах не превышает единицу. Все исследованные пробы воды из учтенных водозаборов относятся к слабоминерализованным с солесодержанием до 1000 мг/дм³. При этом на территории района широко распространены маломинерализованные воды (< 500 мг/дм³) с показателем жесткости значительно ниже нормативного (рис. 8). Содержание анионогенных элементов не превышает гигиенический норматив. Концентрация сульфатов установлена в пределах от 10,3 до 81,4 мг/дм³, хлоридов – в диапазоне 3,7 - 66,8 мг/дм³. Содержание бора находится в диапазоне от 0,1 до 0,5 ПДК, мышьяка в пределах 0,08 - 0,37 ПДК и менее. Концентрация ионов фтора в воде всех опробованных источников не превышает 0,3 мг/дм³, что значительно менее нормируемого нижнего предела (0,7 мг/дм³). Средние содержания ряда биологически активных компонентов в исследованных пробах воды, систематизированные по территории района, приведены в таблице 35.

Основными показателями, по которым питьевая вода не соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1175-02, для большинства исследованных проб с использованием нормативных методик анализа являются: жесткость, мутность, цветность, превышение ПДК по содержанию ионов железа общего, марганца, алюминия, свинца, аммония, нитрат-ионов, значительно менее нормируемого нижнего предела концентрации ионов фтора.

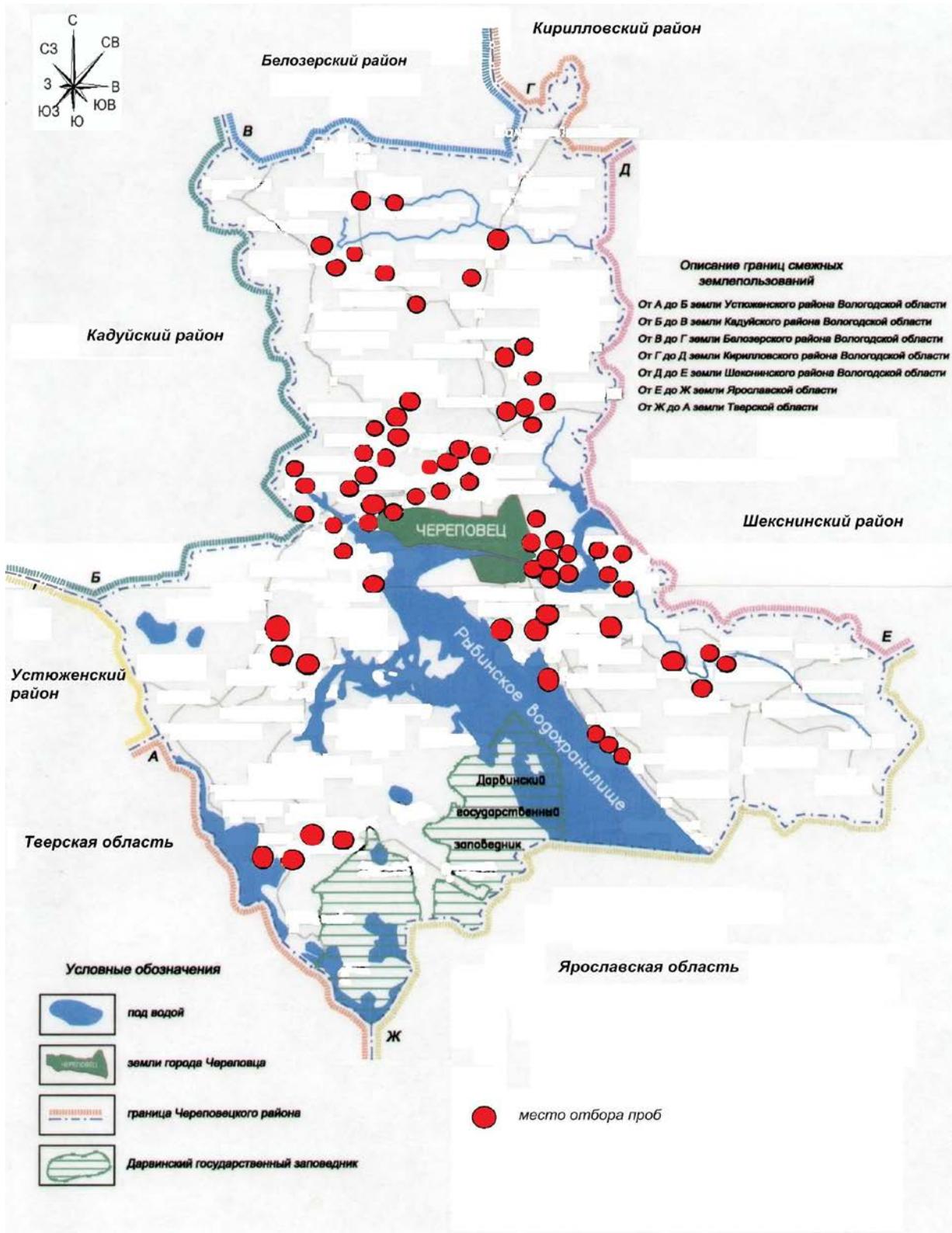


Рис. 7. Карта-схема мест отбора проб воды из источников нецентрализованного водоснабжения на территории сельских поселений Череповецкого района

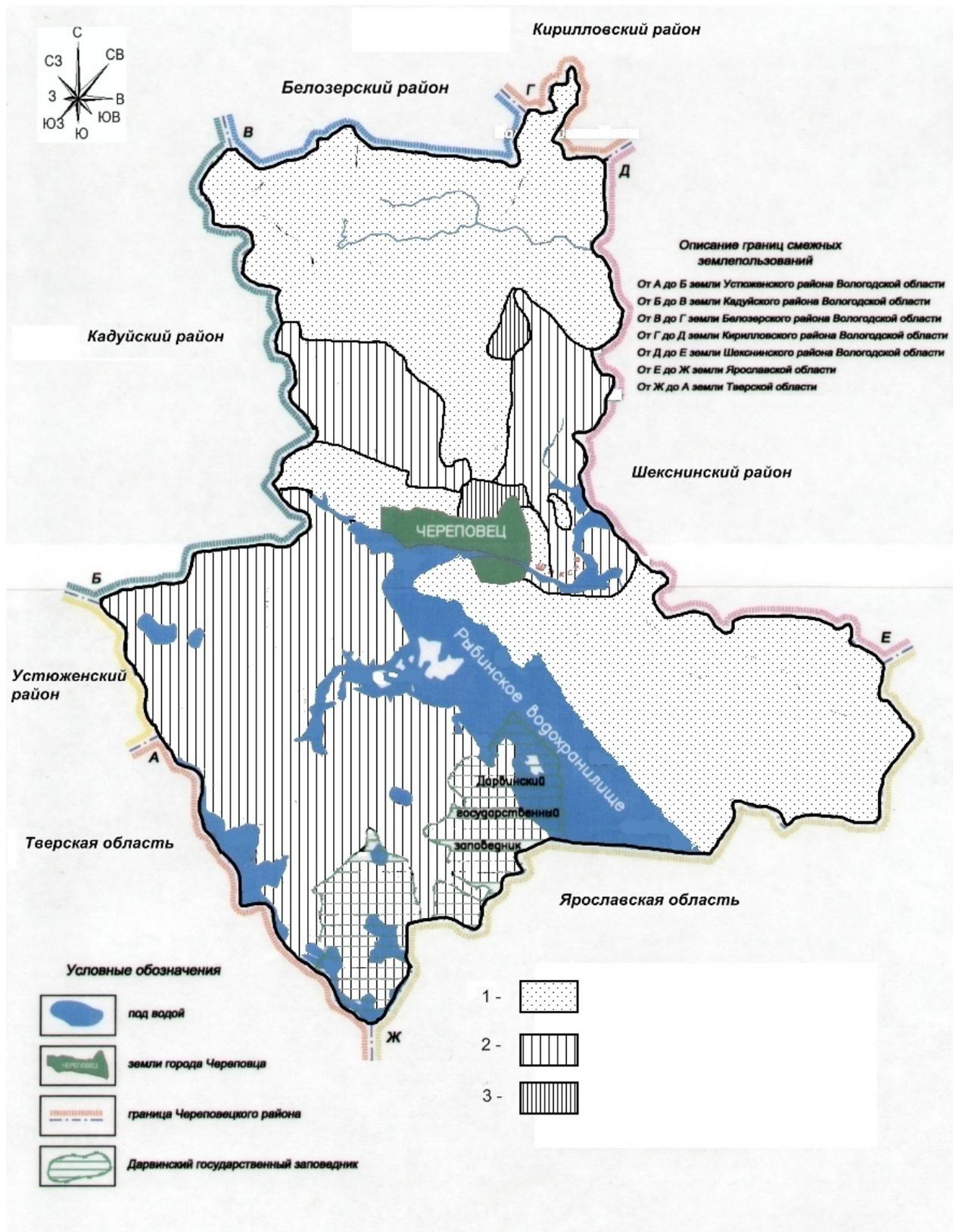


Рис. 8. Гидрогеохимические провинции грунтовых вод, не соответствующих гигиеническим нормативам по показателю жесткости:

1 – 7,0 ... 10 ммоль/дм³; 2 – менее 7,0 ммоль/дм³; 3 – более 10 ммоль/дм³.

**Среднее содержание ряда биологически активных компонентов
в исследованных пробах воды**

Определяемый показатель	Санитарно-гигиенический норматив показателя	Исследуемая часть района								
		центральная			западная			восточная		
		Значение величины показателя, мг /дм ³								
		среднее	минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное
Ca ²⁺	не нормируется	79,3	29,9	149,3	41,4	20,0	76,7	94,4	39,0	143,0
Mg ²⁺	не более 500	31,5	9,7	76,5	24,5	4,7	36,5	32,9	1,2	57,6
Na ⁺	не более 500	15,6	3,4	63,3	19,3	11,2	41,9	27,5	11,2	47,0
K ⁺	не нормируется	6,8	0,6	51,4	18,0	1,6	39,0	3,6	1,0	13,1
F ⁻	не более 1,5	0,12	<0,1	0,30	<0,1	<0,1	<0,1	0,17	<0,1	0,28

Примечание. знак < указывает на значение величины показателя ниже предела обнаружения.

По ряду показателей на территории района проявляется гидрохимическая зональность (табл. 36). В пределах западной части района наблюдаются более высокие средние значения показателей цветности, перманганатной окисляемости. Для этой части района характерны наиболее низкие показатели общей жесткости, солесодержания, концентрации ионов фтора.

Распределение повышенных относительно ПДК концентраций ионов алюминия и железа общего по территории района показано на рисунке 9. Для концентраций ионов алюминия в грунтовых водах исследуемой территории характерна обратная зависимость от величины общей жесткости и соответственно формирующих ее содержания ионов кальция и ионов магния, а также прямая зависимость от значений водородного показателя. Гидрогеохимические провинции с повышенными содержаниями ионов железа общего и ионов марганца формируются, в основном, в пределах восточной части района.

Распределение повышенных относительно ПДК концентраций соединений азота и ионов свинца в грунтовых водах по территории района показано на рисунке 10 и рисунке 11.

Обобщенные показатели качества исследованных проб воды

Определяемый показатель	Единица измерения	Санитарно-гигиенический норматив показателя	Исследуемая часть района								
			центральная			западная			восточная		
			Значение величины показателя								
			среднее	минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное
Цветность	градус	не более 30	19	<1	116	45	14	89	26	3	75
Мутность	ЕМ/дм ³	в пределах 2,6 – 3,5	2,2	<1	16,7	5,6	1,6	21,7	7,3	1,6	24,5
Водородный показатель (рН)	ед. рН	в пределах 6,0 – 9,0	7,17	6,54	7,75	7,05	6,53	8,08	7,3	6,86	7,55
Жесткость	ммоль/дм ³	в пределах 7-10	7,6	4,0	11,4	3,9	2,4	6,4	7,4	2,0	11,5
Солесодержание	мг/дм ³	в пределах 1000-1500	543	230	889	280	128	566	468	190	812
Перманганатная окисляемость	мг/дм ³	в пределах 5-7	2,9	1,2	11,8	7,5	1,2	13,5	3,0	1,4	6,7

Примечание. Знак < указывает на значение величины показателя ниже предела обнаружения.

Влияние техногенных факторов на формирование химического состава воды с повышенными или близкими к ПДК нормируемыми токсичными примесями в рассматриваемых источниках водоснабжения установлено расчетом коэффициента корреляции между содержанием компонентов в грунтовых водах, в почве и в талых водах снежного покрова. Значения величины коэффициента корреляции близкие к 1 определяют предположение о функциональной связи между величинами массовой концентрации анализируемого компонента в грунтовых водах и в сопряженных средах (почве, снежном покрове). Отсутствие эффектов взаимодействия между факторами, положенными в основу исследования, определяют выявленные в ходе анализа малые значения коэффициента корреляции.

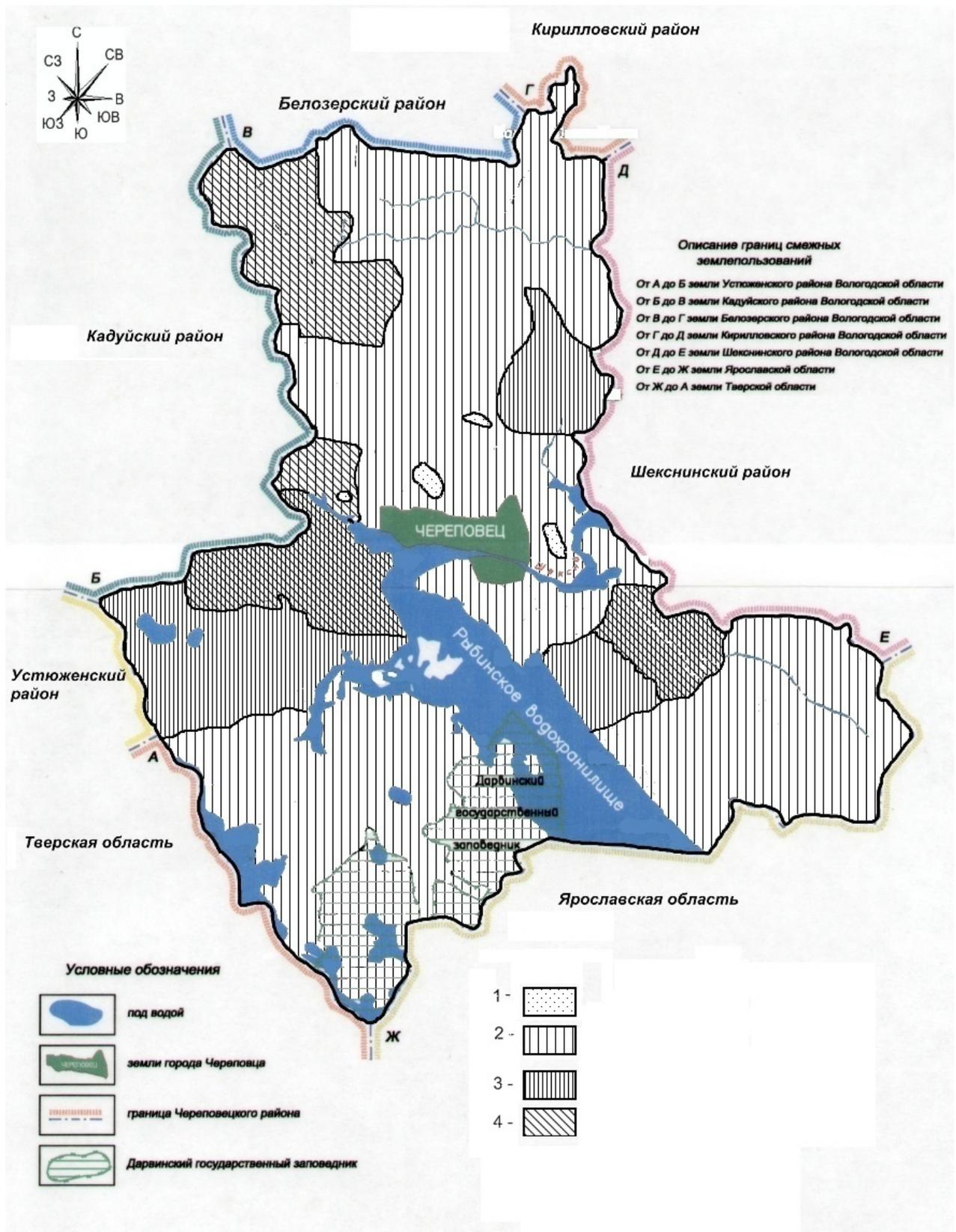


Рис. 9. Гидрогеохимические провинции грунтовых вод с повышенными (относительно ПДК) концентрациями ионов алюминия (не более $0,2 (0,5) * \text{мг/дм}^3$) и ионов железа общего (не более $0,3 \text{ мг/дм}^3$):

1 – не более ПДК; 2 – содержание Al^{3+} – $(0,2 - 0,5) \text{ мг/дм}^3$;

3 – содержание Al^{3+} более $0,5 \text{ мг/дм}^3$; 4 – содержание $\text{Fe}_{\text{общ}}$ более $0,3 \text{ мг/дм}^3$

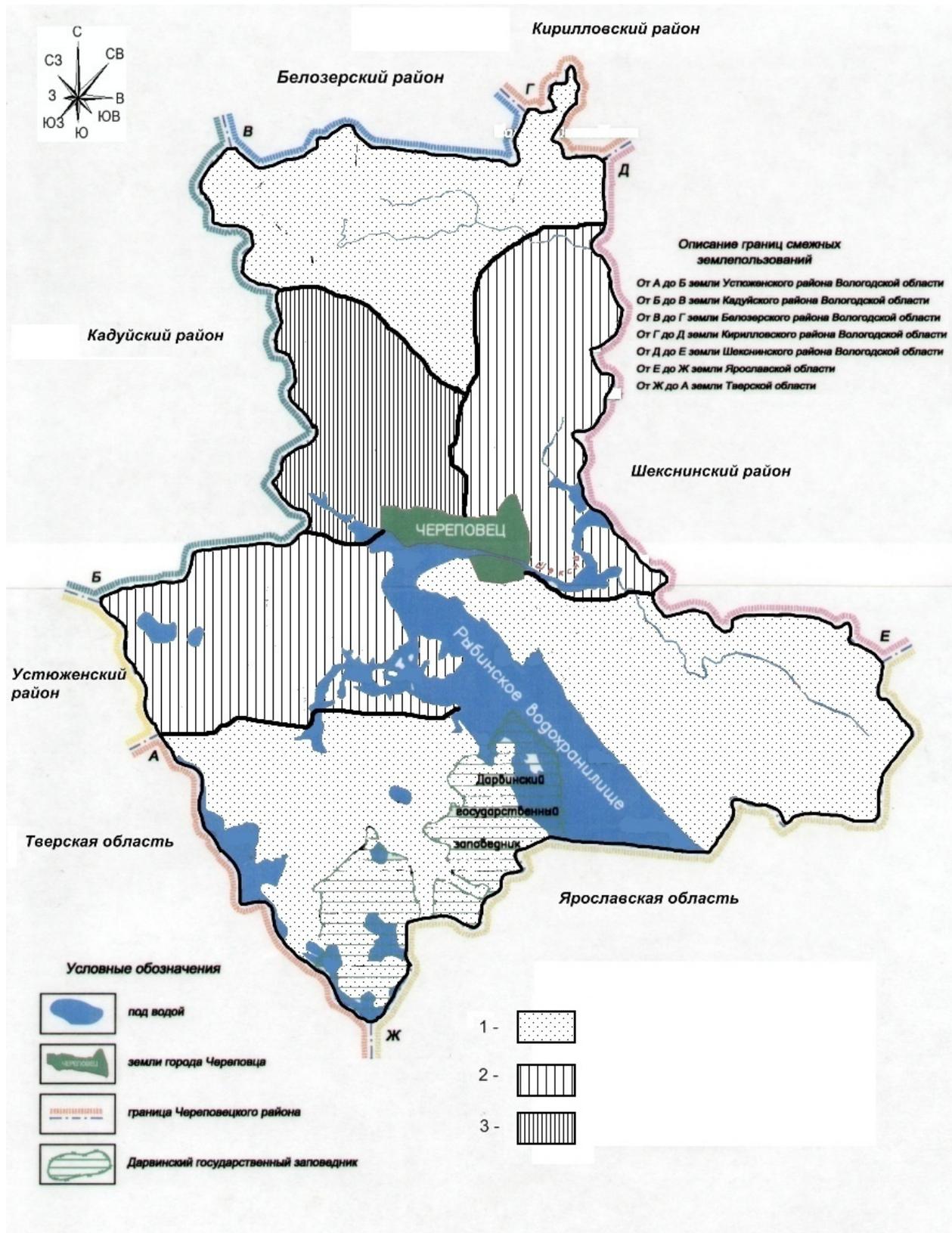


Рис. 10. Частота встречаемости повышенных (более 45 мг/дм^3) концентраций NO_3^- в грунтовых водах:
 1 – < 10%; 2 – (10 - 50) %; 3 – >50 %.

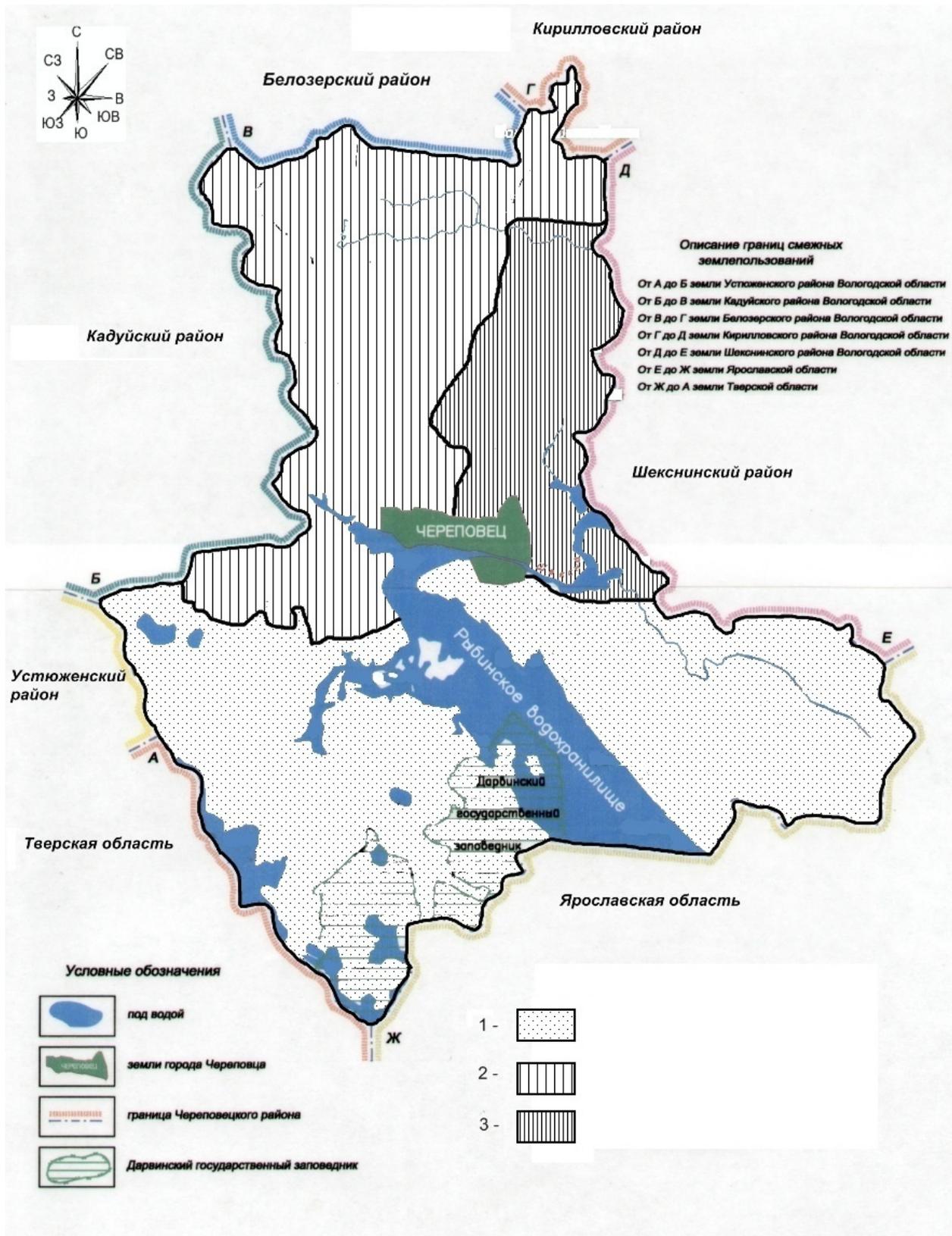


Рис. 11. Частота встречаемости повышенных (более $0,03 \text{ мг/дм}^3$) концентраций Pb^{2+} в грунтовых водах:
 1 – $< 10\%$; 2 – $(10 - 50) \%$; 3 – $> 50 \%$

Функциональные территории района по уровню содержания ионных форм токсичных компонентов в грунтовых водах в целом слабо дифференцированы (табл. 37).

Таблица 37

Содержание токсичных компонентов в исследованных пробах воды

Определяемый показатель	Санитарно-гигиенический норматив показателя	Исследуемая часть района								
		центральная			западная			восточная		
		Значение величины показателя, мг /дм ³								
		среднее	минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное
NO ₃ ⁻	не более 45	28,5	1,6	110,4	56,5	4,7	155,0	8,4	2,0	25,3
NO ₂ ⁻	не более 3,0	0,11	<0,02	0,85	0,08	<0,02	0,17	0,13	<0,02	0,60
NH ₄ ⁺	не более 1,5	1,3	<0,05	5,4	0,37	<0,05	1,29	2,97	<0,05	12,60
Al ³⁺	не более 0,2	0,18	0,17	1,04	0,65	0,36	0,94	0,52	0,20	1,23
Fe _{общ}	не более 0,3	0,28	<0,05	0,84	0,25	<0,05	0,75	0,24	<0,05	0,79
Mn ²⁺	не более 0,1	0,040	<0,05	0,747	0,075	<0,05	0,26	0,217	<0,05	0,750
Zn ²⁺	не более 5,0	0,169	<0,01	2,580	0,106	0,03	0,470	0,018	<0,01	0,224
Cu ²⁺	не более 1,0	0,003	<0,001	0,028	0,005	<0,001	0,038	0,003	<0,001	0,018
Pb ²⁺	не более 0,03	0,022	<0,0003	0,069	0,007	<0,0003	0,038	0,018	<0,0003	0,095

Примечание. Знак < указывает на значение величины показателя ниже предела обнаружения.

Повышенным уровнем загрязнения почвы и снежного покрова характеризуются территории сельских поселений, расположенных относительно промышленной зоны г. Череповца практически по всем направлениям розы ветров. Наиболее существенными и характерными загрязнениями почвы на территории сельских поселений являются *нитраты*. Загрязнение *нефтепродуктами* наиболее характерно для проб почвы, отобранных на территории сельских поселений, расположенных в северо-восточном, северном и восточном направлениях относительно промышленной зоны. Превышение нормативных требований по величине ПДК_п *тяжелых металлов* в почве установлено для ионов цинка, ртути, марганца, свинца. Средние значения их содержания в почве изменяются для различных направлений в значительных пределах. Приори-

тетными загрязнениями снежного покрова на территории всех населенных пунктов являются *железо общее, нефтепродукты и соединения свинца*. Частота встречаемости их концентраций, превышающих ПДК, составляет более 75%.

В пределах рассматриваемой территории из числа характерных загрязняющих веществ сильные корреляционные зависимости установлены по показателю содержания соединений азота в грунтовых водах и в почве. Коэффициент корреляции определяется величиной 0,88. Коэффициент корреляции, оцениваемый величиной 0,75, установлен по показателю концентрации ионов свинца в грунтовых водах в зависимости от его содержания в пробах талой воды снежного покрова. Эти значения корреляционного отношения показывают, что формирование состава грунтовых вод по этим показателям преимущественно обусловливается влиянием техногенного фактора. Превышение ПДК по этим показателям выявлено в 45 % опробованных источников.

По содержанию ионов марганца и ионов железа общего в анализируемых средах однозначно определяемой характерной зависимости не установлено. Зависимость содержания ионов железа общего и ионов марганца в грунтовых водах от их содержания в пробах талой воды снежного покрова оценивается значениями величины коэффициента корреляции 0,38 и 0,32 соответственно. Полученный результат позволяет сделать вывод, что техногенный фактор является значимым в формировании состава грунтовых вод и в определении несоответствия концентрации данных ионов нормативным требованиям в водозаборах населенных пунктов сельских поселений в пределах рассматриваемой территории, однако он не является основной причиной, определяющей увеличение концентрации этих ионов в грунтовых водах. Его доля в изменении функции составляет $0,38^2 = 0,14$ и $0,32^2 = 0,10$ соответственно. Остальной эффект обусловливается влиянием других факторов, в частности взаимодействием грунтовых вод с компонентами геологической среды, их тесной связью с болотными водами.

Наличие техногенного фактора в формировании состава грунтовых вод с высокими относительно ПДК показателями цветности, мутности и ионов алюминия в пределах рассматриваемой территории не установлено. Определяющими факторами в формировании состава грунтовых вод, не соответствующих по этим показателям требованиям СанПиН 2.1.4.1175-02 на территории этого района, являются, в основном, отсутствие или недостаточная эффективность песчано-гравийных фильтров в водоприемной части колодцев, а также невысокие фильтрационные свойства водовмещающих пород.

На территории сельских поселений Великоустюгского района, расположенного на северо-востоке области, в структуре отраслей экономики которого доминирующее положение занимают такие отрасли, как лесопромышленный комплекс, пищевая и легкая промышленность, туризм, места от-

бора проб грунтовых вод в источниках нецентрализованного водоснабжения и сопряженных сред (почвы, снежного покрова) приведены на рисунке 12. На этой территории грунтовые воды относятся к нейтральным и слабощелочным по величине водородного показателя рН (от 6,18 до 8,03), к слабоминерализованным с солесодержанием, в основном, менее 350 мг/дм³, характеризуются как мягкие и очень мягкие (показатель жесткости определяется, в основном, величиной в диапазоне от 0,7 до 4,5 ммоль/дм³) с низкими концентрациями ионов фтора (от менее 0,1 до 0,16 мг/дм³). По макрокомпонентному химическому составу вода относится к гидрокарбонатному магниево-кальциевому типу. По содержанию биогенных макро- и микроэлементов состав воды оценивается, в основном, как достаточно хорошо сбалансированный.

Требования санитарно-гигиенических нормативов к качеству и безопасности питьевой воды (СанПиН 2.1.4.1074-01, СанПиН 2.1.4.1175-02), наряду с низкими показателями жесткости и низкими концентрациями ионов фтора, в ряде проб не выполняются по показателям цветности, мутности, концентрациям ионов Fe_{общ}, Mn²⁺, Al³⁺, NO₃⁻, Pb²⁺.



- место отбора проб анализируемых сред

Рис. 12. Карта-схема мест отбора проб анализируемых сред на территории сельских поселений Великоустюгского района

На территории сельских поселений Сямженского района, расположенного в центральной части области (рис. 13), основными отраслями экономики которого являются лесная, агропромышленная и пищевая, грунтовые воды в источниках, используемых для питьевого водоснабжения, в основном характеризуются сбалансированным по биогенным макро- и микроэлементам составом. Воды относятся к гидрокарбонатному магниево-кальциевому типу с минерализацией в диапазоне от 162 до 578 мг/дм³. Величина концентрации ионов водорода близка к нейтральной. Для грунтовых вод этого района характерны низкие показатели общей жесткости (варьирует в пределах от 1,9 до 6,0 ммоль/дм³) и содержания ионов фтора (не превышает 0,12 мг/дм³). Требования санитарно-гигиенических нормативов в ряде проб не выполняются по показателям цветности, мутности, концентрациям ионов Fe_{общ}, NO₃⁻, Pb²⁺.



Рис. 13. Карта-схема мест отбора проб анализируемых сред на территории сельских поселений Сямженского района

5.4. Инженерные методы защиты подземных вод от загрязнения

Методы защиты от загрязнения подземных вод, требования к выбору местоположения и устройству источников питьевого нецентрализованного водоснабжения определены в СанПиН 2.1.4.1175-02.

Выбор места расположения водозаборных сооружений нецентрализованного водоснабжения имеет приоритетное значение для сохранения постоянства качества питьевой воды, предотвращения ее бактериального или химического загрязнения, предупреждения заболеваемости населения инфекциями, передающимися водным путем, а также профилактики возможных интоксикаций. Место расположения водозаборных сооружений в соответствии с нормативными требованиями СанПиН 2.1.4.1175-02 следует выбирать на незагрязненном участке, удаленном не менее чем на 50 метров выше по потоку грунтовых вод от существующих или возможных источников загрязнения, не менее чем на 30 м от магистралей с интенсивным движением транспорта. Водозаборные сооружения нецентрализованного водоснабжения не должны устраиваться на участках, затапливаемых паводковыми водами, в заболоченных местах, в местах, подвергаемых оползневым и другим видам деформации.

Захват грунтовых вод в источниках нецентрализованного водоснабжения осуществляется из верхних водоносных горизонтов путем устройства и специального оборудования водозаборных сооружений (шахтные и трубчатые колодцы, каптажи родников) общего и индивидуального пользования. Для водозаборов устанавливается зона санитарной охраны (ЗСО), в которой осуществляются специальные мероприятия, исключающие возможность поступления загрязнений в водозабор и водоносный пласт в районе водозабора [3], [5].

Выбор типа сооружений для забора подземных вод зависит от глубины и условий залегания водоносных пластов, их мощности и способности водоотдачи. Чаще всего в водоснабжении небольших населенных пунктов и отдельно расположенных объектов используются шахтные колодцы. Конструктивно шахтные колодцы представляют собой вертикальную шахтную выработку прямоугольного или круглого сечения с диаметром до 1,5 м и глубиной до 30-50 м, представленную на рисунке 14 [5].

Нижняя часть колодца, расположенная в зоне водоносного пласта, оборудуется фильтром. Прием воды из водоносного пласта осуществляется через днище и боковые стенки. Под или над уровнем воды располагаются водоподъемные устройства (ленточные водоподъемники, бытовые насосы) и другое необходимое для эксплуатации и осмотра оборудование. Для предотвращения обвалов и загрязнений колодца его боковые стенки укрепляют бетонными или сборными железобетонными элементами, реже кирпичом и деревом. Надземная часть колодца – оголовок, – по санитарным условиям расположенная на высоте не менее 0,7 – 0,8 м над поверхностью земли, должна перекрываться крышкой или иметь навес. Ствол (шахта) служит для прохода водоподъемных приспособлений, а также в ряде случаев и для размещения водоподъемных механизмов. Подъем воды из шахтных колодцев осуществляется с использованием различных приспособлений и механизмов. Наиболее приемлемым с гигиенической точки зрения является использование насосов различных конструкций (ручных и электрических). При невозможности оборудования колодца насосом допускается устройство ворота с одной или двумя ручками, ворота с колесом для одной или двух бадей, "журавля" с общественной, прочно прикрепленной бадьей и др. Размер бадей должен примерно соответствовать объему ведра, чтобы переливание воды из нее в ведра не представляло затруднений. Вокруг колодца должно быть ограждение, а около колодца устраивается скамья для ведер.

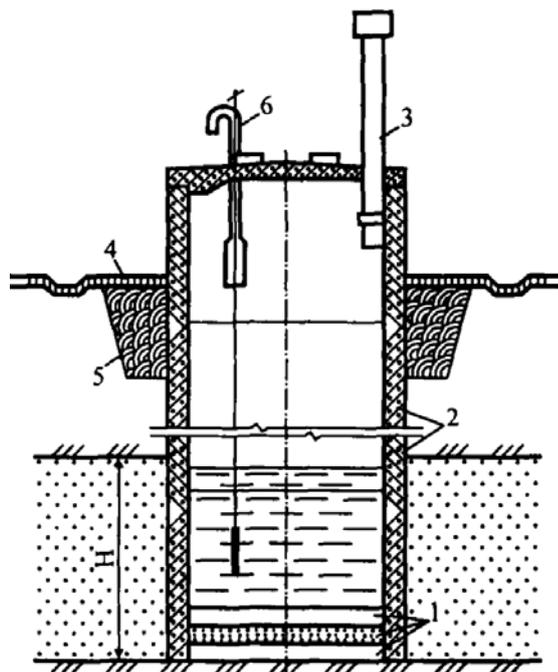


Рис. 14. Конструкция шахтного колодца:

- 1 - обратный гравийный фильтр;*
- 2 - железобетонные кольца;*
- 3 - вентиляционный стояк; 4 - отмостка;*
- 5 - глиняный замок;*
- 6 - ручной поршневой водоподъемник*

Стенки шахты должны быть плотными, хорошо изолирующими колодец от проникновения поверхностного стока, а также верховодки. При устройстве срубов должны использоваться определенные породы древесины в виде бревен или брусьев. Водоприемная поверхность колодца в зависимости от глубины и других гидрогеологических условий залегания грунтовых вод может обо-

рудоваться в стенах и (или) на дне колодца. При поступлении воды в колодец через дно его оборудуют обратным гравийно-песчаным фильтром с несколькими слоями фильтрующего материала или пористой железобетонной плитой. При поступлении воды через стены колодца в них устраивают специальные окна, заполняемые гравием, пористыми фильтрующими блоками, гидрозащитными фильтрующими элементами.

По периметру оголовка колодца должен быть сделан "замок" из хорошо промятой и тщательно уплотненной глины или жирного суглинка глубиной 2,0 метра и шириной 1,0 метр, а также отмостка из камня, кирпича, бетона или асфальта радиусом не менее 2,0 метров с уклоном 0,1 метра от колодца в сторону кювета (лотка).

В процессе эксплуатации колодцев должны проводиться их профилактические осмотры, очистка от наносов и текущие ремонты. Для спуска в колодец при ремонте и очистке в стенки его должны заделываться чугунные скобы, которые располагаются в шахматном порядке на расстоянии 30 см друг от друга.

Подверженность загрязнению воды верхних водоносных горизонтов, используемых для обеспечения населения сельской местности питьевой водой из источников нецентрализованного водоснабжения, обуславливает необходимость разработки систем защиты их от загрязнения веществами природного и техногенного происхождения.

Значительное улучшение качества отбираемой воды непосредственно при ее заборе возможно при внедрении технологии фильтрующего водоприема. Фильтрующий водоприем – наиболее технологически целесообразное, экономически выгодное, экологически приемлемое решение и водоотбора и очистки забираемой воды в любых природно-климатических, гидрологических и хозяйственно-эксплуатационных условиях. Эти сооружения получили теоретическое, конструктивно-технологическое и эксплуатационно-функциональное обоснование и реализованы на многочисленных объектах. Технологические схемы очистки и кондиционирования подземных вод в источниках нецентрализованного водоснабжения (шахтных и трубчатых колодцев), содержащих природные загрязнения, включают установку в водоприемной части колодца фильтров различных конструкций с фильтрующими элементами из жестких (щебень, гравий, керамзит и т.п.) и иных материалов [5]. Эффективность работы фильтров зависит как от выбора конструкции и используемого фильтрующего материала, так и от гидрогеологических условий залегания грунтовых вод и условий эксплуатации колодцев. Фильтры должны соответствовать следующим характеристикам:

- обеспечение подачи воды потребителю без песка или других механических примесей;

- незначительное сопротивление;
- механическая прочность фильтрующих элементов;
- стойкость против коррозии;
- индустриальность и экономичность изготовления.

Технология предотвращения попадания загрязняющих веществ в воду источников нецентрализованного водоснабжения основывается, в основном, на использовании сорбционных свойств глинистых материалов при устройстве «замков» по периметру оголовка [17]. Глины отличаются очень малыми размерами слагающих их частиц и поровых каналов, большой поверхностью и, вследствие этого, активным взаимодействием с жидкой фазой. От изменения водопроницаемости глин зависят условия взаимосвязи водоносных горизонтов, перетекания, защищенности грунтовых вод и др. Для глин характерны очень низкие фильтрационные свойства, коэффициент фильтрации для них составляет 10^{-4} - 10^{-6} м/сут и менее. Другая специфика фильтрации в глинах связана с так называемым "начальным градиентом фильтрации" [9]. Под ним понимается значение градиента напора, при котором начинается течение (фильтрация) воды в глине. При значениях градиента напора, меньших начального, фильтрация предполагается отсутствующей. С ростом минерализации фильтрующейся воды уменьшается поверхностная диссоциация глинистых частиц и переход катионов с твердой поверхности в жидкую фазу. Вследствие этого снижается интенсивность гидратации, обуславливающей процесс связывания катионами молекул воды, что сокращает объем связанной воды. Наоборот, при фильтрации через глины раствора меньшей минерализации, чем поровая вода, интенсифицируется поверхностная диссоциация глинистых частиц, с твердой поверхности переходит в жидкую фазу значительное количество катионов из поглощенного комплекса. В результате этого усилится гидратация катионами молекул воды, что приведет к возрастанию объема связанной воды.

При взаимодействии минеральных частиц глины с водой протекает ряд явлений, изменяющих физико-химические свойства, как глины, так и воды и обеспечивающих образование коагуляционных структур. Особенности и характер образования коагуляционных структур в водных дисперсиях глинистых материалов зависят от их кристаллического строения, а также обуславливаются такими важными коллоидно-химическими свойствами минералов, как гидрофильность, дисперсность, сорбционная активность, ионообменная способность, набухание и др. Знание их необходимо в технологическом процессе устройства защитных «замков». С точки зрения современных представлений, адсорбционная способность глин определяется поверхностной активностью глинистого минерала и его пористой структурой и оценивается структурно-сорбционной характеристикой глинистых материалов.

Структурные особенности глинистых минералов обуславливают различия в величине их активной поверхности, адсорбционной способности, емкости поглощения, гидрофильности и в конечном итоге их взаимодействия с водой и водными растворами. На границе твердой минеральной частицы и порового раствора формируется слой связанной воды, на формирование которой большое влияние оказывают обменные катионы. Общее количество ионов в глинистой породе, способное к обмену в данных условиях, называется емкостью поглощения или обмена. Так как в большинстве случаев глинистые частицы в воде имеют отрицательный заряд, то в обмене участвуют преимущественно катионы.

На основании катионного обмена происходит очистка загрязненных подземных вод при прохождении их через глинистые материалы. При реакции обмена катионы вступают в химическую связь с молекулами твердой поверхности и переходят в состав кристаллической решетки. Различные катионы не одинаково поглощаются глинистыми частицами и неодинаково выходят из поглощенного состояния. Одни катионы энергично вытесняют ионы, находящиеся в поглощенном состоянии и сами, являясь поглощенными глинистой частицей, с трудом переходят в раствор. Другие катионы менее активно вытесняют ионы из поглощенного комплекса и легко переходят в раствор из поглощенного состояния. По энергиям поглощения и выхода основные катионы могут быть расположены в следующие противоположные ряды: энергия поглощения $Fe^{2+} > Al^{3+} > H^+ > Ba^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > NH_4^+ > K^+ > Na^+ > Li^+$; энергия выхода $Li^+ > Na^+ > K^+ > NH_4^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > Ba^{2+} > H^+ > Al^{3+} > Fe^{2+}$.

Различия в энергиях поглощения и выхода основных катионов обуславливают химический состав воды, профильтровавшейся через глинистые материалы. Тяжелые металлы, содержащиеся в подземных водах в катионной форме, обычно хорошо сорбируются, площади их распространения приурочены преимущественно к локальным источникам загрязнения и имеют ограниченное распространение. Нитраты хорошо растворяются в воде, практически не сорбируются водовмещающими породами, что способствует их миграции на большие расстояния по водоносным горизонтам, а также распространению в глубоко залегающие водоносные горизонты.

Сорбционные свойства глин в значительной степени обусловлены строением кристаллической решетки глинистых минералов [9]. Все глинистые минералы по кристаллохимии их поверхности делят на две основные группы – монтмориллонитовую и каолинитовую. К первой группе относятся минералы монтмориллонит и гидрослюда, имеющие в результате изоморфных замещений электрически неуравновешенные решетки. Их отрицательный заряд компенсируется обменными (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и др.) или необменными (чаще всего

K⁺) катионами. Наиболее распространенными минералами второй группы являются каолинит и галлузит. По величине емкости обмена минералы монтмориллонитовой группы значительно отличаются от минералов каолинитовой группы. Сорбционная емкость катионного обмена монтмориллонита составляет 80–150 ммоль/100г, анионного обмена – 20–30 ммоль/100г. Для сравнения, сорбционная емкость катионного обмена каолинита составляет 3 – 15 ммоль/100г, анионного обмена – 5–10 ммоль/100 г [9].

Выбор глинистых пород местных месторождений для целей конкретной выполняемой задачи – использования для устройства защитных «замков» – определен на основе анализа их химического и минералогического состава и содержания токсичных нормируемых примесей как результата техногенного загрязнения грунтовых вод в пределах территорий районов области. Максимально достижимый результат установлен с использованием в качестве сорбента глинистых пород, преимущественно содержащих минералы монтмориллонитовой группы, при очистке воды от ионов свинца (более 90 %). Эффективность сорбционной очистки от нитрат-ионов не превышает 60 %.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте определение понятия «модуль эксплуатационных ресурсов».
2. Что определяют термином «коэффициент подземного стока»?
3. Перечислите компоненты, содержащиеся в пресных подземных водах в ряде районов области в высоких концентрациях.
4. Какие группы минеральных подземных вод имеют распространение в пределах территории области?
5. Какие промышленные подземные воды известны в пределах территории области?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дисциплина Управление природными ресурсами призвана заложить фундамент профессиональных знаний в одном из основных направлений практической деятельности инженеров-экологов – принятию технических решений по защите природной среды от техногенного воздействия как процедуре оценки качества и оптимизации инженерных систем применительно к конкретным производственным условиям их функционирования. Решение поставленной задачи предполагает формирование системы знаний, выражающих основные понятия и представления о методах и принципах системного анализа в задачах принятия решений о развитии хозяйственной деятельности, сформулированных, преподаваемых и изучаемых в определенной логической последовательности.

Наряду с описанием основных понятий и направлений использования природных ресурсов пресных вод, целей и задач водного хозяйства, рассмотрены основные физико-химические характеристики природных вод, приведены их классификации, методы оценки качества, рассмотрены возможные экологические последствия загрязнения природных вод. Особое внимание уделено состоянию и перспективам использования пресных подземных вод в регионе. Изложенный материал позволяет ознакомить студентов с расчетными методами оценки качества природных вод по санитарно-химическим показателям и критериям физиологической полноценности их химического состава, установления техногенных факторов, определяющих формирование подземных вод с повышенным содержанием нормируемых примесей.

Связь теоретических научных положений дисциплины с региональными проблемами рассматривается при организации самостоятельной работы студентов на практических занятиях и при разработке курсовых проектов и выпускных квалификационных работ.

Библиографический список

1. Алексеев, А.И. Физико-химические основы водных систем и правовые аспекты их использования: учеб. пособие [Текст] /А.И. Алексеев,М.Ю. Валов, З. Юзвяк.- СПб: ХИМИЗДАТ, 2002.- 212 с.
2. Алексеев, В.С. Совершенствование и развитие водного хозяйства региона [Текст] / В.С. Алексеев, С.Н. Ильин, С.Н. Куранов и др.- Вологда: ООО ПФ «Полиграфист», 2001.- 208 с.
3. Бочеввер, Ф.М. Защита подземных вод от загрязнения [Текст] / Ф.М. Бочеввер, Н.Н. Лапшин, А.Е. Орадовская. –М.: Недра,1979. – 254 с.
4. Буслович, А.Л. Геологическое строение и полезные ископаемые Вологодской области: учеб. пособие [Текст] / А.Л. Буслович, В.И. Гаркуша, Н.Д. Авдошенко, Л.Б. Галкина. – Вологда: Изд. центр ВоИРО, 2001. –171 с.
5. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: В 3-х т. – Т.1. Системы водоснабжения. Водозаборные сооружения [Текст] / Научно-методическое руководство и общая редакция докт. техн. наук, проф. Журбы М.Г.- Вологда-Москва: ВоГТУ, 2001.- 209 с.
6. Геология и минеральные ресурсы Вологодской области: сборник научных трудов [Текст] / Отв. ред. Д.В. Семенов. – Вологда: ВГПУ, изд. «Русь»,2000. –160 с.
7. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы [Текст] /Под ред Т.В. Гусевой. –М.: Социально-экологический Союз, 2000. –148 с.
8. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы [Текст]. – М.:СТК «Аякс», 2004.- 154 с. (Издание официальное).
9. Гольдберг, В.М. Проницаемость и фильтрация в глинах [Текст] / В.М. Гольдберг, Н.П. Скворцов. – М.: Недра, 1986. – 160 с.
10. Зекцер, И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды [Текст] /И.С. Зекцер. – М.: Научный мир, 2001. –328 с.
11. Никаноров, А.М. Гидрохимия: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп [Текст] /А.М. Никаноров.- СПб: Гидрометиздат, 2001.- 444 с.
12. Овчинников, А.М. Общая гидрогеология: учебник.- 2-е изд., перераб, и доп. [Текст] /А.М. Овчинников. –М.: Недра, 1955. – 254 с.
13. Озорнина, С.П. Учение о гидросфере и гидрогеология: учеб. пособие [Текст] / С.П. Озорнина. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2006.- 201 с.
14. Пряжинская, В.Г. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами [Текст] /В.Г. Пряжинская, Д.М. Ярошевский, Л.К. Левит-Гуревич. – М.:ФИЗМАТЛИТ,2002. –496 с.

15. СанПиН 2.1.5.980-00. Санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод [Текст]. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001.- 10 с. (Издание официальное)

16. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества [Текст]. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002.- 103 с. (Издание официальное).

17. СанПиН 2.1.4.1175-02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников [Текст]. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003.- 32 с. (Издание официальное).

18. СанПиН 2.6.1.2523 – 09. Нормы радиационной безопасности: НРБ – 99/2009 [Текст]. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2009.- 74 с. (Издание официальное).

19. Химическая энциклопедия: В 5 т. [Текст]. – Т. 1: А - Дарзана / Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл. ред.) и др. – М.: Сов. энцикл., 1988. – 623 с

20. Экологический энциклопедический словарь [Текст] / Гл. ред. А.С.Монин. – М.: Изд дом «Ноосфера», 1999. – 930 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Основные физические свойства химически чистой воды

Характеристика	Размерность	Условия (температура, давление)	Численное значение
1	2	3	4
Температура: - замерзания (плавления) - кипения - наибольшей плотности	°С	При нормальном давлении ($1,013 \cdot 10^5$ Па)	0
	К		273,15
	°С	То же	100
	К	То же	373,15
	°С	То же	3,98
	К	То же	277,13
Плотность: - льда - жидкой воды	кг/м ³	При нормальном давлении ($1,013 \cdot 10^5$ Па) и 0 °С	916,7
		При нормальном давлении ($1,013 \cdot 10^5$ Па) и 0 °С	999,87
		При нормальном давлении ($1,013 \cdot 10^5$ Па) и 3,98 °С	1000,0
		При нормальном давлении ($1,013 \cdot 10^5$ Па) и 20 °С	998,23
- насыщенного пара		При нормальном давлении ($1,013 \cdot 10^5$ Па) и 0 °С	0,00493
Коэффициент поверхностного натяжения	Н/м ²	При нормальном давлении ($1,013 \cdot 10^5$ Па) и 0 °С	$7,55 \cdot 10^{-2}$
		При нормальном давлении ($1,013 \cdot 10^5$ Па) и 100 °С	$5,71 \cdot 10^{-2}$
Коэффициент сжимаемости воды	1/Па		$5 \cdot 10^{-10}$
Удельная теплота плавления льда (замерзания воды)	Дж/кг	При нормальном давлении ($1,013 \cdot 10^5$ Па) и 0 °С	333 000
Удельная теплота испарения (конденсации)	Дж/кг	При нормальном давлении ($1,013 \cdot 10^5$ Па) и 0 °С	$2,5 \cdot 10^6$
		При нормальном давлении ($1,013 \cdot 10^5$ Па) и 100 °С	$2,3 \cdot 10^6$

Окончание прил. 1

1	2	3	4
Удельная теплоемкость: - льда - воды	Дж/ /(кг · °С)	При нормальном давлении (1,013 · 10 ⁵ Па) и 0 °С	2120
		При нормальном давлении (1,013 · 10 ⁵ Па) и 0 °С	4230
		При нормальном давлении (1,013 · 10 ⁵ Па) и 15 °С	4190
		При нормальном давлении (1,013 · 10 ⁵ Па) и 30 °С	4180
Молекулярная теплопроводность, λ: - льда - снега - воды	Вт/ /(м · °С)		2,24
			1,8
			0,6
Коэффициент вязкости - воды - льда	Па·с	При нормальном давлении (1,013 · 10 ⁵ Па) и 0 °С	1,79 · 10 ⁻³
		При нормальном давлении (1,013 · 10 ⁵ Па) и 10 °С	1,31 · 10 ⁻³
		При нормальном давлении (1,013 · 10 ⁵ Па) и 20 °С	1,01 · 10 ⁻³
		При нормальном давлении (1,013 · 10 ⁵ Па) и 30 °С	0,80 · 10 ⁻³
		При нормальном давлении (1,013 · 10 ⁵ Па) и 0 °С	10 ⁵ – 10 ⁸
Удельное электрическое сопротивление воды	Ом · м	При нормальном давлении (1,013 · 10 ⁵ Па) и 0 °С	1,19 · 10 ¹⁰
		При нормальном давлении (1,013 · 10 ⁵ Па) и 10 °С	2,31 · 10 ¹⁰
		При нормальном давлении (1,013 · 10 ⁵ Па) и 25 °С	5,51 · 10 ¹⁰
Коэффициент преломления света в воде			1,33 - 1,34
Скорость распространения звука в воде	м/с	При нормальном давлении (1,013 · 10 ⁵ Па) и 0 °С	1149,14

Средние концентрации химических элементов в природных водах
(по В.С. Савенко, 1997)

Элемент	Концентрация растворенных форм, мкг/дм ³			Элемент	Концентрация растворенных форм, мкг/дм ³			Элемент	Концентрация растворенных форм, мкг/дм ³		
	речные воды	подземные воды	морская вода		речные воды	подземные воды	морская вода		речные воды	подземные воды	морская вода
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Li	2,5	14	180	Ti	3,0	11	1,0	Mo	0,5	2,1	10
B	18	42	4500	V	1,0	1,6	1,5	Ag	0,2	0,29	0,003
C	15 900	47200	29 500	Cr	1,0	2,9	0,25	Cd	0,02	(0,02)	0,08
N	375	1250	500	Mn	8,2	49	0,03	Sn	0,04	0,04	0,001
F	100	450	1300	Fe	40	547	0,05	Sb	1,0	1,5	0,15
Na	5150	45500	$1,08 \cdot 10^7$	Co	0,2	0,75	0,002	I	70	16	50
Mg	3350	45500	$1,29 \cdot 10^6$	Ni	0,5	3,3	0,4	Cs	0,03	(0,03)	0,3
Al	50	280	0,5	Cu	1,5	5,6	0,1	Ba	60	20	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Si	4860	8100	2800	Zn	30	34	0,4	La	0,04	(0,04)	0,005
P	25**	58	70	Ga	0,1	0,49	0,02	W	0,03	(0,03)	0,01
S	2750	25000	$9,04 \cdot 10^5$	As	1,7	2,1	1,5	Au	0,002	(0,002)	0,005
Cl	5750	47000	$1,94 \cdot 10^7$	Br	20	183	67 000	Hg	0,07	(0,07)	0,002
K	1300	4590	$3,99 \cdot 10^5$	Rb	1,5	2,2	120	Pb	0,1	2,2	0,002
Ca	13 400	43900	$4,14 \cdot 10^5$	Sr	60	185	7700	Th	0,1	0,42	0,0005
Sc	0,004	(0,004) *	0,0007	Zr	2,6	1,3	0,03	U	0,24	3,4	3,2

Примечание.

* В скобках приведены данные для подземных вод зоны гипергенеза, приравненные к содержанию в речных водах из-за отсутствия информации.

** Природная концентрация растворенного фосфора без антропогенного вклада.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. ВОДА В ПРИРОДЕ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	5
1.1. Основные понятия и определения.....	5
1.2. Ресурсы пресных вод и их использование.....	10
Контрольные вопросы	16
Глава 2. ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ СИСТЕМА И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО.....	17
2.1. Цели, задачи и структура водного хозяйства	17
2.2. Управление водохозяйственными системами и водными ресурсами	22
2.3. Экологический мониторинг водных объектов.....	27
Контрольные вопросы	37
Глава 3. СОСТАВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ ВОД	38
3.1. Природная вода как многокомпонентный раствор.....	38
3.2. Классификация природных вод	40
3.3. Оценка качества природных вод	49
3.4. Причины и тенденции изменения качества природных вод.....	57
Контрольные вопросы	65
Глава 4. ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД	66
4.1. Физические свойства подземных вод.....	66
4.2. Химический состав подземных вод.....	68
4.3. Формы выражения химического состава подземных вод.....	76
4.4. Классификация подземных вод	80
Контрольные вопросы	86
Глава 5. РЕГИОНАЛЬНАЯ ГИДРОГЕОХИМИЯ.....	87
5.1. Гидрогеохимия подземных вод	87
5.2. Направления использования подземных вод	94
5.3. Оценка качества подземных вод, используемых для питьевых и хозяйственных целей	95
5.4. Инженерные методы защиты подземных вод от загрязнения.....	111
Контрольные вопросы	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
Библиографический список.....	118
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	120

Учебное издание

Александра Ивановна Фоменко, доктор техн. наук, профессор

УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДНЫМИ РЕСУРСАМИ. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Учебное пособие

Редактор И.Т. Куликова

Подписано в печать 22.06.2011 г.

Формат 60x90/16. Бумага офисная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 8,75. Тираж 300 экз. Заказ 328.

Отпечатано: РИО ВоГТУ
160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15.