

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД

Н.С. Попов, А.В. Святенко, Е.И. Киреев

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов;

ОАО «Тамбовские коммунальные системы», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор М.А. Промтов

Ключевые слова и фразы: методы контроля; классификация вод; статистические методы.

Аннотация: Рассмотрена проблема питьевого водоснабжения, относящаяся к важнейшим проблемам выживания человечества. Проанализированы основные методы контроля качества воды, их достоинства и недостатки. При этом в качестве объекта исследования использованы образцы грунтовых вод г. Тамбова. Продемонстрировано использование методов контроля для различных водозаборных узлов города. Предложена систематика методов контроля, включающая лабораторные анализы, классификационные схемы, агрегированные показатели, расчетные характеристики и многомерные показатели статистического анализа, необходимость использования которых продиктована возможностью формализации органолептических свойств воды.

Введение

Проблема питьевого водоснабжения планеты с каждым годом становится все более значимой из-за увеличения численности населения, неумения и нежелания людей рационально использовать имеющиеся водные ресурсы. По оценкам специалистов стационарные запасы пресных вод составляют менее 3 % (около 35 млн м³) от общего объема гидроресурсов Земли. В ряде стран мира положение с водопользованием оказалось настолько сложным, что в декабре 2003 г. Генеральная ассамблея ООН объ-

Попов Николай Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Природопользование и защита окружающей среды», e-mail: eco@nnn.tstu.ru; Святенко Андрей Викторович – аспирант кафедры «Природопользование и защита окружающей среды», ТамбГТУ, г. Тамбов; Киреев Евгений Иванович – главный инженер, ОАО «Тамбовские коммунальные системы», г. Тамбов.

явила 2005–2015 гг. Международным десятилетием действий «Вода для жизни», главной задачей которого является поощрение усилий правительств в отношении выполнения принятых на международном уровне обязательств по водоочистке и водоснабжению, а 2013 г. объявлен Международным годом водного сотрудничества ради ускорения достижения ранее намеченных целей в данной сфере. Основные темы десятилетия «Вода для жизни» следующие: дефицит воды, доступ к санитарно-медицинскому обслуживанию, гендерные проблемы водопользования, финансирование водных программ, ценообразование, комплексное управление водными ресурсами, трансграничные водные проблемы, окружающая среда и биоразнообразие, предупреждение бедствий, продовольствие и сельское хозяйство, загрязнение и энергетика. В резолюции ООН отмечается решающее значение водных ресурсов для устойчивого развития цивилизации, включая сохранение окружающей среды, ликвидацию нищеты и голода.

Россия обладает уникальными поверхностными и подземными источниками питьевого водоснабжения, однако и для нее характерны проблемы с обеспечением качества вод и их доступностью потребителям. В этой связи разработана Национальная программа «Развитие водохозяйственного комплекса России на перспективу (Вода России – XXI век)» (2003–2015 гг.) [1]. Постановлением Правительства Российской Федерации № 1092 от 22.12.2010 г. принята Федеральная целевая программа «Чистая вода» на 2011–2017 гг. Ее смыслом является обеспечение населения питьевой водой, соответствующей требованиям безопасности и безвредности, установленным санитарно-эпидемиологическими правилами. В декабре 2011 г. принят Федеральный закон № 416–ФЗ «О водоснабжении и водоотведении», определяющий требования к качеству и безопасности воды, подаваемой централизованно и децентрализованно системами горячего и холодного водоснабжения. В нем под водоотведением понимается прием, транспортирование и очистка сточных вод с использованием централизованной системы водоотведения, а под водоснабжением – водоподготовка, транспортирование и подача питьевой или технической воды потребителям. Главное, что в этом законе закреплено понятие качества и безопасности воды у потребителя как совокупности показателей, характеризующих физические, химические, бактериологические, органолептические и другие возможные свойства воды, в том числе и ее температура.

В Тамбовской области в октябре 2009 г. принят закон № 568-3 «О питьевой воде и питьевом водоснабжении в Тамбовской области», целями которого является установление правовых гарантий удовлетворения потребностей граждан и юридических лиц в качественной питьевой воде, утверждение хозяйственно-экономических основ питьевого водоснабжения, государственное обеспечение надежности питьевого водоснабжения.

Обобщая все вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что государственная политика России в сфере водоснабжения и водоотведения направлена на охрану здоровья населения и улучшение качества жизни путем бесперебойного обеспечения высококачественной водой, повышения энергетической эффективности отрасли с помощью экономичного потреб-

ления воды, снижения негативного воздействия на водные объекты в результате повышения степени очистки сточных вод.

Настоящая работа посвящена анализу существующих подходов к оценке качества подземных вод с использованием экспериментальных данных водозаборных узлов г. Тамбова и обоснованию целесообразности применения многомерных методов статистического контроля в оценке качества подземных источников питьевого водоснабжения.

Факторы, влияющие на формирование качества подземных вод

Качество воды выступает как характеристика ее состава и свойств, определяющая пригодность воды для конкретных видов использования. При этом любой водный объект характеризуется значениями показателей качества, а вид водопользования – нормами качества воды. Контроль качества воды заключается в проверке соответствия значений показателя качества воды установленным нормам и требованиям.

Для функционирования многих отраслей экономики характерно высокое водопотребление. К ним, в частности, относятся промышленность, сельское хозяйство, рыбоводство, жилищно-коммунальный сектор и др. В зависимости от значений показателей качества воды различают пять целевых категорий:

- хозяйственно-питьевого назначения (СанПиН 2.1.4.1074–01);
- для сельскохозяйственных нужд (орошения полей) (ГОСТ 17.1.2.03–90);
- для паросилового хозяйства (СНиП II-35–76*. Котельные установки);
- лечебные, курортные и оздоровительные воды (ГОСТ Р 54316–2011);
- рыбохозяйственного значения (приказ Росрыболовства от 18.01.2010 г. № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения»).

Главным источником питьевого водоснабжения являются подземные воды. Их классификация приведена в табл. 1. [2, с. 90].

Согласно ГОСТ 276.1–57 для хозяйственно-питьевого назначения используют артезианские воды, заключенные между водонепроницаемыми пластами и заполняющие расположенную между ними водопроницаемую породу, либо воды, циркулирующие по трещинам. Глубина залегания их – 100...1000 метров. Места выхода артезианских водных пластов на земную поверхность образуют область питания и зоны разгрузки. При отсутствии артезианских вод эксплуатационникам следует ориентироваться на межпластовые безнапорные воды, грунтовые, а также воды открытого водоема (водохранилища, реки, озера, каналы) [3].

Природная вода представляет собой открытую гетерогенную сплошную среду, обменивающуюся веществами и энергией с сопредельными

Классификация подземных вод по Ф.П. Саваренскому, 1934 г.

Основные подразделения	Главные виды	Отдельные виды
Безнапорные (со свободной поверхностью)	Грунтовые – залегающие в поверхностных отложениях	Верховодки
	Межпластовые безнапорные – залегающие в слоях, перекрытыми водоупорными породами	Полунапорные (Субартезианские)
Напорные	Межпластовые (артезианские) – залегающие в проницаемых слоях или переслаивающихся с водоупорными породами	
	Трещинные – залегающие в тектонических секущих трещинах	Минеральные. Термальные

средами и с биологическими составляющими. Схематически элемент природного водного горизонта можно рассматривать в виде «экологического реактора» проточного типа (рис. 1). Биология водной среды представлена совокупностью всех возможных ее гидробионтов, включая микроорганизмы. Важно отметить, что качество подземных вод на различных участках водоносного слоя может меняться. Это объясняется природными и антропогенными условиями его формирования.

Различают четыре класса основных природных процессов, формирующих качество подземных вод [4, с. 54–83]:

- 1) растворение/выщелачивание;
- 2) кристаллизация;
- 3) сорбция и ионный обмен;
- 4) химические и биохимические реакции.

К антропогенным факторам формирования качества вод относятся следующие:

- чрезмерное водопотребление, ведущее к снижению уровня водного стола и образованию замкнутых депрессионных воронок. В результате этого процесса возникает подсосывание минерализованных вод из нижележащего водоносного слоя;
- несоблюдение предписаний при разработке и эксплуатации скважин, что приводит к ухудшению в них качества воды;
- использование пестицидов как стойких загрязнителей воды, проникающих с поверхности земли;
- создание полей фильтрации, из которых загрязняющие вещества с дождевыми водами просачиваются через неплотности водоупорных пород и попадают в зоны питания водоносного горизонта.

Понятно, что любое ухудшение качества питьевой воды в первую очередь отражается на здоровье людей. Поэтому, основываясь на комплексном анализе выкачиваемой воды, приходится создавать ее системы доочистки и обезвреживания.

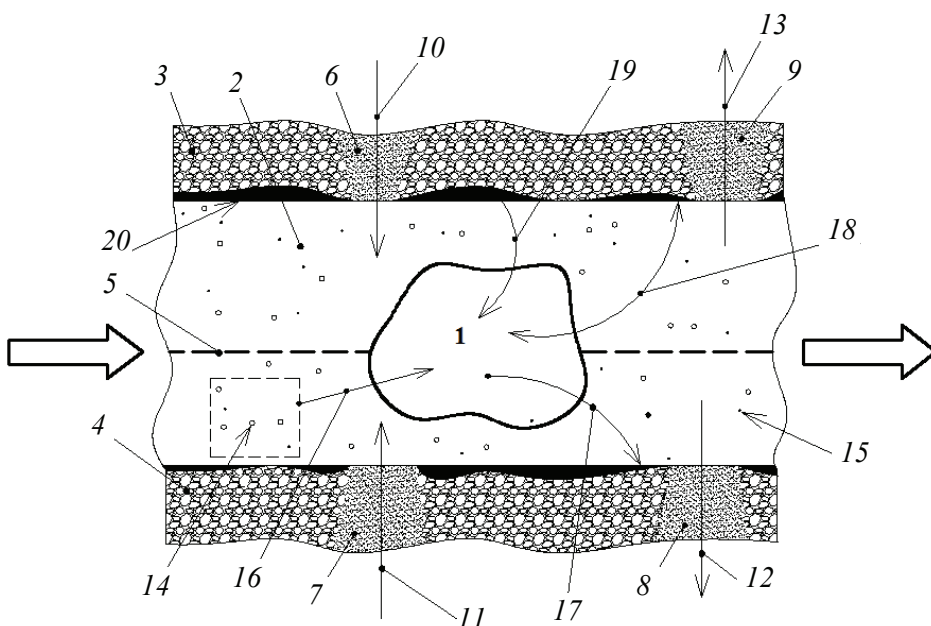


Рис. 1. Взаимодействие воды с водоупорными породами водоносного горизонта: 1 – локальный объем водного тела; 2 – водоносный горизонт; 3, 4 – верхние и нижние водоупорные породы; 5 – линия тока; 6–9 – неплотности в водоупорных породах; 10 – просачивание воды из верхнего горизонта; 11 – просачивание солей из нижнего горизонта; 12 – дренаж воды в нижние горизонты; 13 – выход воды в верхний горизонт; 14 – микроорганизмы; 15 – коллоидные частицы; 16 – химические и биохимические реакции; 17 – процессы кристаллизации/осаждения; 18 – ионообменные реакции; 19 – процессы растворения/выщелачивания; 20 – минеральные отложения

Система централизованного водоснабжения в г. Тамбове

Водоснабжение районов г. Тамбова питьевой водой возложено на филиал ОАО «Тамбовские коммунальные системы» (ТКС) «Тамбовводоканал». Источники водоснабжения делятся на поверхностные и подземные.

К поверхностным источникам относится водозаборный узел (ВЗУ) «Студенка» производительностью 3,5 тыс. м³/сутки.

Река Студенка является уникальным водным памятником природы, русловые пески являются естественным фильтром, сосновые леса и могучие дубравы создают условия, при которых вода остается высокого качества, с приятным вкусом, слабой минерализацией. По результатам анализа 1900 г. качество воды в реке Студенке стояла на третьем месте в России после киевской и петербургской. Бассейн реки Студенка является зоной водоснабжения Тамбова на протяжении 100 лет. На Студенке в 1885 году создано водохранилище, от которого по трубе вода самотеком шла и идет на водоснабжение центральной части города Тамбова. Подъем воды из подземных источников 1-го подъема (артезианских скважин в количестве 100 штук) осуществляется из артезианского горизонта с глубины 70...120 м. Из отдельностоящих скважин вода напрямую поступает к жителям года. Из остальных скважин вода попадает на станции фильтрации

водозаборных узлов, там проводится очистка от взвешенных веществ и железа, после чего вода проходит процесс обеззараживания гипохлоритом натрия и попадает в трубопроводную сеть. На территории г. Тамбова находится шесть действующих водозаборных узлов (ВЗУ – станции 2-го подъема) (рис. 2):

– № 1 «Пехотное училище» (ул. Астраханская) производительностью 3,5 тыс. м³/сут., вошедший в эксплуатацию в 1953 г.;

– № 2 (ул. Ипподромная, 5а) производительностью 20 тыс. м³/сут., вошедший в эксплуатацию в 1983 г.;

– № 3 (ул. Железнодорожная, 10а) производительностью 22 тыс. м³/сут., вошедший в эксплуатацию в 1968 г.;

– № 4 (ул. И. Франко) производительностью 20 тыс. м³/сут., вошедший в эксплуатацию в 1984 г.;

– № 6 (с. Полковое) производительностью 40 тыс. м³/сут., вошедший в эксплуатацию в 1973 г.;

– № 7 (с. Татаново) производительностью 40 тыс. м³/сут., вошедший в эксплуатацию в 2009 г.

Несмотря на то что строительство ВЗУ № 7 начато в 1984 году, когда были пробурены первые скважины, вплоть до 2008 года, этот узел эксплуатировался по временной схеме – без водоподготовки и на 1/3 мощности. Подача воды в северную часть областного центра осуществлялась с ВЗУ №№ 6 и 7. Содержание железа в воде, прошедшей подготовку на ВЗУ № 6, составляло 0,15 мг/л. С водозаборного узла № 7, где система водоподготовки отсутствовала, вода уходила с бóльшим содержанием железа 1,62 мг/л при норме по СанПиН 2.1.4.1074–01 в 0,3 мг/л. Смешиваясь в водоводе до концентрации железа 0,96 мг/л, она подавалась в город в объеме 8 млн м³/год. Пуск станции позволил уменьшить содержание растворимого железа в воде, подаваемой с ВЗУ № 7, до 0,1 мг/л.

Впервые проект станции обезжелезивания заложен в начале 1990-х гг., но только в 2004 г., спустя 20 лет, был вновь реанимирован и предложен Российскими коммунальными системами (РКС) в качестве инвестиционного. В 2007 г. его удалось отстоять, и в 2008 г. заключить договор строительного подряда на окончание строительства комплекса ВЗУ № 7, между ОАО «РКС» и его тамбовской «дочкой», где заказчиком выступило ОАО «РКС», а генеральным подрядчиком – ОАО «ТКС» [5].

Для поддержания гидравлического режима в городе существуют станции 3-го подъема – на ВЗУ №№ 6 и 7, введенные в эксплуатацию в 1993 и 1997 гг. соответственно. Повысительные насосные станции (станции 4-го подъема) подают воду на верхние этажи многоэтажных домов.

Из рисунка 2 следует, что ВЗУ рассредоточены по всей территории города. Глубина скважин различна, что может отражаться на результатах анализов качества воды.

В рамках программы государственного мониторинга окружающей природной среды в Тамбовской области ведется мониторинг геологической среды и водных объектов. Его осуществляет Территориальный центр «Тамбовгеомониторинг». Мониторинг подземных вод включает в себя



Рис. 2. Схема расположения ВЗУ на территории г. Тамбова

наблюдения по трем основным показателям: уровень, температура и качественный состав подземных вод.

Анализ качества питьевой воды систематически осуществляют две лаборатории: санэпиднадзора г. Тамбова и ОАО «ТКС» «Тамбовводоканал». В лаборатории санэпиднадзора пробы воды анализируются по следующим показателям:

- органолептическим – запах, цветность, мутность, привкус;
- физико-химическим – водородный показатель, общая минерализация, общая жесткость, окисляемость перманганатная;
- химическим, влияющим на органолептические свойства воды, а именно: нитраты (NO_3^-), нитриты (NO_2^-), хлориды (Cl^-), железо суммарно (Fe^{2+} , Fe^{3+}), сульфаты (SO_4^{2-}), фториды (F^-), кальций (Ca^{2+}), магний (Mg^{2+}), марганец суммарно ($\text{Mn}^{n+}_{\text{сум}}$, при $2 \leq n \leq 7$), бор суммарно (B^{2+} , B^{3+}).

Таблица 2

Показатели качества подземных вод на ВЗУ-3, скв. № 31

Показатель	Единица измерения	Нормативы (предельно допустимые концентрации (ПДК)), не более	Фактические значения концентраций по данным	
			ОАО «ТКС» «Тамбов-водоканал»	Санэпид-надзор
Обобщенные показатели				
Водородный показатель	рН	В пределах 6...9	7,44	7,55
Общая минерализация (сухой остаток)	мг/л	1000 (1500)*	527	543,2
Жесткость общая	мг-экв./л	7,0 (10)*	7,4	6,9
Окисляемость перманганатная	мг/л	5,0	0,71	–
Неорганические вещества				
Бор (суммарно: B^{2+} , B^{3+})	мг/л	0,5	–	< 0,05
Железо (суммарно: Fe^{2+} , Fe^{3+})		0,3 (1,0)*	1,45	0,94
Марганец (суммарно) ($Mn_{\text{сум}}^{n+}$, при $2 < n < 7$),		0,1 (0,5)*	–	0,045
Медь (Cu^{2+})		1,0	< 0,0003	–
Нитраты (по NO_3^-)		45	–	< 0,1
Нитриты (по NO_2^-)		3	–	< 0,003
Ионы аммония (NH_4^+)		2	0,193	< 0,005
Свинец (Pb^{2+})		0,03	< 0,0001	–
Сульфаты (SO_4^{2-})		500	91	96,5
Фториды (F^-)		0,7...1,5	0,99	1,08
Хлориды (Cl^-)		350	68	56,5
Цинк (Zn^{2+})		5,0	< 0,001	–
Кальций (Ca^{2+})		100	90,3	90,4
Магний (Mg^{2+})		30...50	35,1	29,1
$Na^+ + K^+$		–	–	73,4
Щелочность	мг-экв./л	6,5	6,1	6,5
Гидрокарбонаты (HCO_3^-)	мг/л	–	–	195
Сероводород (H_2S)	мг/л	0,003	–	< 0,002
Органолептические показатели качества воды				
Запах	Баллы	2	–	0
Привкус		2	–	0
Цветность	Градусы	20 (35)*	–	10,7
Мутность по формазину	ЕМФ	2,6 (3,5)* 1,5 (2)*	–	2,73

* Величина, указанная в скобках, может быть установлена по постановлению Главного государственного санитарного врача для соответствующей территории и конкретной системы водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и применяемой технологии водоподготовки.

Таблица 3

Концентрации основных ионов подземных вод на ВЗУ-3, скв. № 31

Показатель	Концентрация		
	мг/л	мг-экв./л	%-экв.
Анионы			
HCO_3^-	195	6,50	32,2
Cl^-	56,5	1,59	7,9
SO_4^{2-}	96,5	2,01	9,95
Катионы			
Ca^{2+}	90,4	4,51	22,3
Mg^{2+}	29,1	2,39	11,8
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	73,4	3,19	15,8

В лаборатории ОАО «ТКС» «Тамбовводоканал» пробы воды анализируются раз в квартал по четырем основным физико-химическим показателям качества воды: водородному показателю; жесткости общей; окисляемости перманганатной и сухому остатку. Раз в год в данной лаборатории проводится расширенный анализ, включающий анализ проб воды по 11 показателям, таким как хлориды (Cl^-), сульфаты (SO_4^{2-}), кальций (Ca^{2+}), магний (Mg^{2+}), щелочность, аммонийный ион (NH_4^+), железо суммарно (Fe^{2+} , Fe^{3+}), медь (Cu^{2+}), цинк (Zn^{2+}), свинец (Pb^{2+}), фториды (F^-).

Отбор проб питьевой воды для анализа в обеих лабораториях не регулярен, так как не имеет заранее определенного месяца и дня. Это обстоятельство необходимо учитывать при статистической обработке экспериментальных данных. Примерный химический состав подземных вод на ВЗУ-3 скважины № 31 за март и август 2011 года приведен в табл. 2, а часть ее значений в нужных для расчета размерностях показана в табл. 3.

Оценка качества природных вод

Результаты комплексного анализа проб воды позволяют всесторонне оценивать ее качество. Самый простой способ оценки – это проверка показателей на соответствие их требованиям водопользователей, выраженным в соответствующих ГОСТ, СНиП, СанПиН, ТУ и т.д. Итогом оценки является резолюция типа «вода соответствует...» или «вода не соответствует...» предъявляемым требованиям. Анализ данных табл. 2 показывает, что для воды г. Тамбова характерно повышенное содержание железа и общей жесткости, что указывает на необходимость ее доочистки.

До появления первых ГОСТ на воду в России в 1937 г. [6] и позже этого события ученые разрабатывали многоуровневые классификационные системы оценки состояния воды для того, чтобы выявлять их генезис, давать точную и краткую оценку качества воды и определять целесообразность ее использования в конкретных видах хозяйственной деятельности. Классификация, предложенная академиком В.И. Вернадским в 1929 г. [7], является уникальным в мировой практике опытом геохимической систематики вод Земли, построенной на учете их химического состава, физико-географических и геологических условий нахождения. Вернадский считал, что число видов природных вод превышает 1500. Состав определялся им по преобладающим химическим элементам, за исключением водорода и кислорода, составляющим молекулу воды. Подгруппы учитывают фазовое состояние воды и делятся на три класса – пресные, соленые и рассольные воды, выделенные по величине концентрации. Классы распадаются на подклассы, по преобладающим газовым компонентам. Другие группы классифицируют воду по условиям ее нахождения: поверхностные, подземные и глубинные, на подцарства и семейства (озерные, пластовые, воды нефтяных месторождений и др.). Однако принятая в классификации В.И. Вернадского атомная форма выражения состояния воды, удобная при геохимическом изучении, к сожалению, создает трудности при практической оценке ее качеств и свойств.

В настоящее время известно уже несколько десятков классификационных систем, среди которых самыми употребительными являются классификации С.А. Щукарева, В.А. Александрова, О.А. Алекина и Л.А. Кульского. Так, по классификации С.А. Щукарева конкретная вода относится к одному из 49 классов, в зависимости от преобладания одного или нескольких главных катионов (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) и трех главных анионов (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-). По общей минерализации каждый класс делится на четыре группы, г/л: А – менее 1,5; В – 1,5...10; С – 10...40 и D – более 40. В таком случае, используя значения концентраций главных ионов табл. 3, делаем вывод о том, что данная проба воды по аниону гидрокарбонатная, а по катиону кальциево-натриевая, что соответствует 18-му классу вод и группе А.

Классификация О.А. Алекина, с поправкой Е.В. Посохова и Ж.С. Садыкова [8], сочетает принцип деления вод по преобладающим ионам и по соотношению между ними (в мг-экв./л). Природные воды О.А. Алекин разделял на три гидрохимических класса: гидрокарбонатные с преобладанием ионов $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$; сульфатные с преобладанием ионов SO_4^{2-} ; хлоридные с преобладанием ионов Cl^- . Каждый класс разделял на три группы по преобладающему катиону: Ca^{2+} , Mg^{2+} или $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. А каждую группу делил на четыре типа, характеризующиеся различными соотношениями между ионами:

- 1) $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$;
- 2) $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$;
- 3) $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$;

4) $\text{HCO}_3^- = 0$. Эти воды кислые и в класс карбонатных не входят. Они относятся только к сульфатному и хлоридному классам в группах Ca^{2+} и Mg^{2+} , где первый тип отсутствует. По классификации О.А. Алекина проба воды в табл. 3 является гидрокарбонатной по аниону и кальциевой по катиону и соответствует второму типу вод.

Классификация по В.А. Александрову разделяет воды на шесть классов. Первые три класса (гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные) выделяются по преобладанию значений одного из следующих ионов: HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^- больше 12,5 %-экв. и содержанию других ионов менее 12,5 %-экв., при сумме анионов и катионов 100 %-экв. Четвертый класс является комбинированным: к нему относятся воды, в которых содержание двух или трех анионов превышает 12,5 %-экв. Каждый из этих четырех классов подразделяется в зависимости от преобладания одного из следующих катионов: Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} . Пятый класс включает воды одного из предыдущих классов при содержании каких-либо специфических ионов, встречающихся в природных водах в малых количествах (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , I^- и др.). Шестой класс объединяет воды, содержащие в повышенных количествах газы (CO_2 и H_2S) и радиоактивные вещества. По классификации В.А. Александрова, исследуемая проба воды в табл. 3 по аниону является гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридной, по катиону кальциевой и относится к четвертому классу вод.

Полученные результаты классификаций свидетельствуют о том, что совпадения возможны лишь в случае идентичности критериев разбиения вод по категориям. Потребитель должен решать сам – какая система классификации вод отвечает его целям наилучшим образом. Вместе с тем отметим, что система классификации обладает значительно большей устойчивостью в анализе качества воды, чем ГОСТы, поскольку в них заложен интервальный принцип оценивания. И в случае сезонного изменения химического состава подземных вод результаты классификации, скорее всего, окажутся неизменными в силу стабильности основных гидрохимических процессов.

Оценка качества загрязненных вод по агрегированным показателям

В отличие от систем классификации, характеризующих природную чистоту вод, оценка степени загрязненности поверхностных вод базируется на знании концентраций веществ, оказавшихся в водоеме в результате хозяйственной деятельности людей. Определены три перечня веществ, способствующих антропогенному загрязнению вод:

– обязательный (растворенный кислород, биологическое потребление кислорода за 5 суток (**БПК₅**), химическое потребление кислорода (**ХПК**),

фенолы, нефтепродукты, нитрит- и нитрат-ионы, аммонийный ион, железо общее, медь, цинк, никель, марганец, хлориды, сульфаты);

– рекомендуемый (тяжелые металлы, пестициды, анилин, метилмеркаптан и другие);

– свободный (вещества, которые по производственным или иным обстоятельствам водопользования необходимо учесть в оценке качества воды).

Вывод о загрязненности поверхностных вод делается на основе расчета гидрохимического индекса загрязненности воды (**ИЗВ**):

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}, \quad (1)$$

где C_i – концентрация i -го компонента в воде, а ПДК_i – его норматив в соответствующем типе водных объектов; n – число веществ, используемых для расчета ИЗВ, $n \geq 7$.

В зависимости от величины ИЗВ участки водных объектов подразделяют на классы (табл. 4). Установлено требование, чтобы ИЗВ сравнивались для водных объектов одной биогеохимической провинции и сходного типа, для одного и того же водотока (по течению, во времени, и так далее), а также с учетом фактической водности текущего года.

В методике НИИ гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана степень загрязненности поверхностных вод определяется по четырем критериям: W_c , W_ϕ , $W_{ст}$ и $W_э$, где – W_c критерий санитарного режима, учитывающий растворенный кислород, БПК₅, ХПК и специфические загрязнения, нормируемые по влиянию на санитарный режим; W_ϕ – критерий органолептических свойств, учитывающий запах, взвешенные вещества, ХПК и специфические загрязнения, нормируемые по органолептическому признаку вредности; $W_{ст}$ – критерий, характеризующий опасность санитарно-токсикологического загрязнения, учитывающий ХПК и специфические загрязнения, нормируемые по санитарно-токсикологическому признаку; $W_э$ – эпидемиологический критерий, характеризующий опасность микробного загрязнения водоемов.

Таблица 4

Классы качества вод в зависимости от значения ИЗВ

Вода	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Условно чистая	до 0,2	I
Слабо загрязненная	0,2...1,0	II
Загрязненная	1,0...2,0	III
Очень загрязненная	2,0...4,0	IV
Грязная	4,0...6,0	V
Очень грязная	6,0...10,0	VI
Экстремально грязная	> 10,0	VII

Таблица 5

Значения комплексных показателей W

Уровень загрязнения	Критерий загрязнения по величинам комплексных оценок			
	W_{ϕ}	W_c	$W_{ст}$	$W_{э}$
Допустимый	1	1	1	1
Умеренный	1,0...1,5	1,0...3,0	1,0...3,0	1,0...10,0
Высокий	1,5...2,0	3,0...6,0	3,0...10,0	10,0...100,0
Чрезвычайно высокий	> 2,0	> 6,0	> 10,0	> 100,0

Расчет степени загрязненности воды проводится по каждому критерию в отдельности по формуле

$$W = 1 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\delta_i - 1), \quad (2)$$

где $\delta_i = C_i/N_i$, C_i – величина показателя для i -го вещества, N_i – его нормативное значение (обычно $N_i = \text{ПДК}_i$). При $\delta_i < 1$ принимается $\delta_i = 1$.

Классификация вод по степени их загрязненности осуществляется с помощью критериев табл. 5.

Получение расчетным способом дополнительной информации о качестве воды из первичных лабораторных анализов

Еще одно принципиально важное направление в оценке качества природных вод связано с попытками получения дополнительной информации из первичных данных, подобных табл. 2. Например, в поливном земледелии используется индекс SAR (Sodium Adsorption Ratio), характеризующий вероятность вхождения ионов натрия в состав почвенного поглощающего комплекса, в результате чего возможно осолонцевание почв. Расчет SAR проводится по формуле

$$\text{SAR} = 1,41 [\text{Na}^+] / \sqrt{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}, \quad (3)$$

где концентрация ионов представлена в мг-экв./л.

Натриевое адсорбционное отношение (3) широко используют не только при оценке качества поливной воды, но и для характеристики почвенных растворов и прогнозов изменения генетических свойств почв в результате природных или антропогенных процессов.

Независимо от области применения величину SAR нельзя рассматривать как некоторый абсолютный показатель, поскольку на соотношение в растворе ионов натрия и ионов щелочноземельных катионов влияет не только состав почвенного раствора (ирригационных вод), но и свойства почвенного поглощающего комплекса, которые находят отражение в величинах констант ионного обмена или коэффициентов селективности.

Однако в первом приближении величина SAR позволяет прогнозировать изменения свойств почв при смене водного режима, ирригационных или осушительных мелиорациях. Поскольку опасность осолонцевания почв зависит не только от величины SAR, но и от общей минерализации поливных вод, то при оценке потенциальной опасности засоления и осолонцевания почв учитывают оба указанных показателя. Критерии такой оценки воды, предложенные Ричардсоном, приведены в табл. 6.

Значение SAR для характеристик воды из табл. 3 свидетельствует о низкой опасности осолонцевания почв в случае ее использования в поливном земледелии.

В работе [9] предложена компьютерная программа расчетов «вторичных» показателей качества воды на основе «первичных» гидрохимических анализов, получаемых из скважины. К ним, в частности, относятся коэффициенты метаморфизации рассолов Курнакова–Валяшко [10], гипсования почв и др.

Наряду с системами оценок качества природных вод разрабатываются методы визуального отображения результатов гидрохимических анализов, способствующие лучшему пониманию экологических проблем, выявлению сходств и различий в образцах воды и т.д. Используя подход Беркалова и Шеллера, ионный состав воды по всем ВЗУ г. Тамбова можно показать на диаграмме (рис. 3).

Таблица 6

Оценка качества воды по степени ее опасности в аспекте засоления и осолонцевания почв

Общая минерализация воды, г/л	Опасность засоления почвы	Уровни SAR при опасности осолонцевания			
		Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
< 1	Низкая	8–10	15–18	22–26	> 26
1–2	Средняя	6–8	12–15	18–22	> 22
2–3	Высокая	4–6	9–12	14–18	> 18
> 3	Очень высокая	2–4	6–9	11–14	> 14

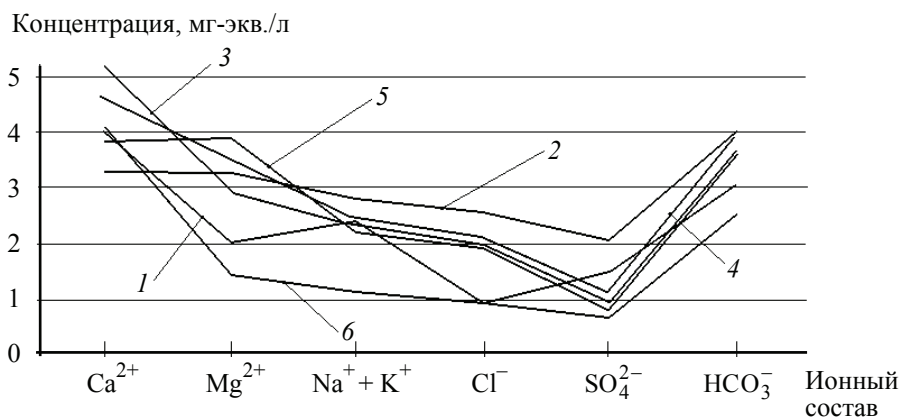


Рис. 3. Полулогарифмическая диаграмма Беркалова–Шеллера для водозаборных узлов [11]:
1 – № 1 «Пехотное училище»; 2 – № 2; 3 – № 3; 4 – № 4; 5 – № 5; 6 – № 6

Многомерные методы статистического контроля качества воды

Все рассмотренные выше методы анализа качества воды в принципе построены на предположении о независимости одних гидрохимических показателей от других. Подтверждением этому является индивидуальная проверка соответствия значений каждого показателя из табл. 2 нормативам СанПиН 2.1.4.1074–01. В действительности качество воды представляет собой многомерную взаимосвязанную систему гидрохимических показателей, формируемую одновременно в «экологическом реакторе» под действием разного рода процессов, отображенных на рис. 1.

Данное обстоятельство важно учитывать, прежде всего, при изучении вкусовых свойств воды. Этим занимаются эксперты, которые с помощью тестов решают – какой состав, например столовой питьевой воды, можно считать наиболее удачным и приятным на вкус. Однако рецептурно формализовать свои вкусовые ощущения только на основе значений концентраций ионного состава они не могут, поскольку количественно не определена одна из важнейших характеристик состава – взаимосвязь между всеми ионами водного раствора. Поэтому при воссоздании вкусовых свойств воды в лабораторных условиях недостаточно «попадать» в нужный диапазон концентраций ионов, как предписывает СанПиН, а необходимо также сбалансировать значения этих концентраций между собой в соответствии с их природными связями (корреляциями). При длительном наблюдении за изменением концентраций ионного состава в скважине можно получить информацию о структуре корреляционной матрицы подземного источника воды.

Примером такой матрицы является корреляционная матрица, полученная в ходе девятилетних наблюдений за гидрохимическим составом воды в скважине № 31 г. Тамбова (табл. 7).

Данное предложение в оценке качества природных вод не только дополнит сложившуюся систему аналитического контроля за водоподготовкой, но и делает ее существенно более строгой при реализации Федерального закона №416–ФЗ «О водоснабжении и водоотведении».

Таблица 7

Корреляционная матрица по ВЗУ № 3, скв. № 31

	Железо	Кальций	Магний	Сульфаты	Хлориды
Железо	1,0	0,4267	0,2261	0,2622	0,3537
Кальций		1,0	0,5488	0,4759	0,6565
Магний			1,0	0,0240	0,8424
Сульфаты				1,0	0,2296
Хлориды					1,0

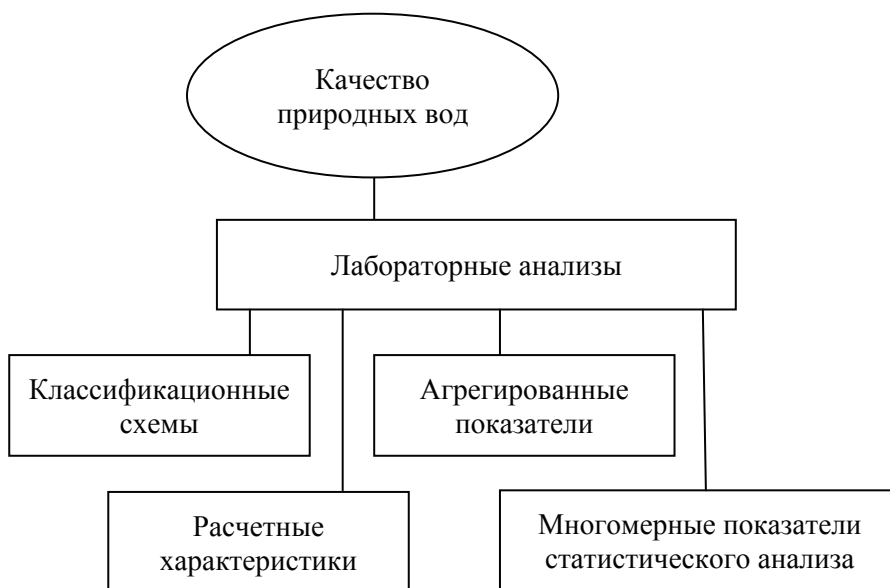


Рис. 4. Классификация методов контроля качества природных вод

В заключение данной работы на рис. 4 показана классификация методов контроля качества природных вод, использующая все вышеназванные методы. Выбор среди них нужного метода контроля качества зависит от целей использования воды, предъявляемых к ней требований и доступности информации.

Список литературы

1. Национальная программа действий по совершенствованию и развитию водохозяйственного комплекса России на перспективу «Вода России – XXI век» (2003–2015 гг.). – ГАРАНТ : информ.-правовой портал. – Режим доступа : <http://www.garant.ru/>. – Загл. с экрана.
2. Саваренский, Ф.П. Гидрогеология / Ф.П. Саваренский. – Л. : Горгео-нефтеиздат, 1934. – 320 с.
3. Чеботарев, А.И. Гидрологический словарь / А.И. Чеботарев. – Л. : Гидрометеиздат, 1978. – 308 с.
4. Крайнов, С.Р. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения / С.Р. Крайнов, В.М. Швец. – М. : Недра, 1987. – 237 с.
5. Открытие водозаборного узла № 7 [Электронный ресурс] // Тамбовские коммунальные системы : офиц сайт. – 2009. – 29 нояб. – Режим доступа : <http://www.tamcomsys.ru/index.php?productID=217>. – Загл. с экрана.
6. Просто добавь воды... [Электронный ресурс] // Деловой Квартал : интернет-портал. – 1999. – 18 нояб. – Режим доступа : <http://ekb.dkvartal.ru/news/prosto-dobav-vody-236604640>. – Загл. с экрана.
7. Вернадский, В.И. История минералов земной коры. В 3 т. Т. 2. История природных вод. Ч. 1. Вып. 1 / В.И. Вернадский. – Л. : Госхимтехиздат, 1933. – 202 с.
8. Алекин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л. : Гидрометеорол. изд-во, 1953. – 297 с.

9. Gill, D. Hydrochem – a Fortran IV Program for Processing Analytical Hydrochemical Data / D. Gill, E. Rosenthal // Computers&Geosciences. – 1975. – Vol. 1. – P. 83–96.

10. Коэффициенты метаморфизации рассолов Курнакова–Валяшко [Электронный ресурс] // Геологический словарь. – Режим доступа : <http://geoslovar.ru/opredelenie/006706>. – Загл. с экрана.

11. Schoeller, H. Geochimie des eaux souterraines / H. Schoeller. – Paris : Technip, 1956. – 213 p.

Methods of Control and Evaluation of Natural Waters

N.S. Popov, A.V. Svyatenko, E.I. Kireyev

*Tambov State Technical University, Tambov;
OAO “Tambov Utility Systems”, Tambov*

Key words and expressions: classification of waters; control methods; statistical methods.

Abstract: The paper explores the problem of drinking water supply which is one of the most important issues of mankind survival.

Russia accepted the Federal Target program “Clear water” on 2011–2017 which is aimed at improving the quality of life of the population.

The key question of drinking water supply is the objective assessment of the quality of natural waters.

In the article the main methods of quality control of water are analyzed, their advantages and disadvantages are discussed. The samples of ground waters of the city of Tambov are used as an object of research. The systematization of the control methods including laboratory analyses, classification schemes, aggregated indicators, settlement characteristics and multidimensional indicators of the statistical analysis is proposed.

The need for the latter is explained by the possibility of formalization of organoleptic properties of water.

© Н.С. Попов, А.В. Святенко, Е.И. Киреев, 2013