

ГИДРОХИМИЯ, ГИДРОБИОЛОГИЯ,
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 504.064; 504.4.054

ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД
КУРОРТОВ РЕГИОНА КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД
И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

© 2019 г. И. С. Помеляйко¹, *, А. В. Малков¹

¹Северо-Кавказский федеральный университет, Россия 357700 Пятигорск

*e-mail: i.potelyayko@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.07.2017 г.

После исправления 26.04.2018 г.

Представлены результаты многолетнего экологического мониторинга малых рек курортного региона. Рассмотрена характеристика поверхностных и подземных вод курортов Кавказских Минеральных Вод, оценены степень и характер их загрязнения. Проанализированы причины загрязнения водных объектов соединениями тяжелых металлов, нефтепродуктами, азотсодержащими соединениями. Приведены данные о несоответствии минеральной воды ряда эксплуатационных скважин требованиям ГОСТ Р 54316-2011. Выявлены основные факторы, оказывающие влияние на загрязнение водных ресурсов региона. Дан анализ гидрогеодинамического и гидрогеохимического режимов эксплуатации Кисловодского месторождения, рекомендации по повышению качественных показателей основного источника месторождения “Нарзан”.

Ключевые слова: курорты Кавказские минеральные воды, реки, минеральные воды, загрязнение, превышение ПДК, дренажные сооружения.

DOI: 10.31857/S0321-0596462178-190

Курорты Кавказских Минеральных Вод (КМВ): Ессентуки, Железноводск, Кисловодск и Пятигорск – возникли и существуют благодаря гидроминеральной базе, тамбуканским грязям и климату. Инфраструктура региона, его экономическая стабильность напрямую связаны с количеством и качеством минеральных вод, используемых для питья, бальнеолечения и розлива. Геоморфологические, климатические, тектонические, геологические и гидрогеологические условия территории региона представляют собой очень сложную систему, способствующую поступлению загрязнителей в среды-транспортеры и их накоплению в почве. Состояние поверхностных и подземных вод на курортах КМВ, особенно верхней гидродинамической зоны, весьма неблагоприятно [3–6, 16]. Из-за высокого загрязнения грунтовых вод залегающие непосредственно под ними артезианские минеральные воды загрязнены бактериями и содержат в повышенных концентрациях тяжелые металлы, азотсодержащие соединения, нефтепродукты, фосфаты и др. [3–6, 11]. Большинство скважин и минералопроводов исчерпали свой амортизационный ресурс, так как введены в эксплуатацию еще в XIX, в начале и середине XX вв. [25], в связи с чем необходимо

бурение скважин-дублеров, проведение капитального ремонта каптажей источников и надкаптажных сооружений.

Целью данного исследования было определение качественного состава поверхностных и подземных вод курортов КМВ, оценка степени и характера их загрязнения и выявление причин появления повышенных концентраций загрязняющих веществ в водных объектах.

НАИБОЛЕЕ НЕБЛАГОПОЛУЧНЫЕ
МИНЕРАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ
РЕГИОНА КМВ

Железноводск [4]. В начале 1980-х гг. прекращена подача минеральной воды Баталинского месторождения в связи с появлением в ней ядохимикатов и с бактериальным загрязнением. Во II зоне санитарной охраны, в грунтовых водах присутствуют чрезвычайно опасные концентрации марганца – до 68 ПДК, лития – до 22.8 ПДК и бора – до 3.9 ПДК.

Пятигорск [6]. Качество минеральной воды скважин Академическая 2, Теплосерная 1 и 3, Радиошольня 2, Народный и других – нестабильно

по микробиологическим показателям, в связи с чем эта вода не может использоваться для питья. В грунтовых водах зафиксировано повышенное содержание нефтепродуктов до – 17.8 ПДК, Mn – до 15, Ba – до 18, As – до 3, аммония – до 20, B – до 5 ПДК.

Ессентуки [3]. В связи с бактериальным загрязнением и потерей кондиции не используются для питьевых целей воды из четвертичного водоносного горизонта “Ессентуки-20”, Гаазо-Пономаревский. В грунтовых водах зафиксировано содержание аммония до 20 ПДК, нитратов – до 10, Ba – до 28, Sr – до 10, B – до 8, фенолов – до 70 ПДК.

Кисловодск [5, 15]. Микробиологическое состояние воды источника “Нарзан” постоянно ухудшается. В 1990-х гг. доля неблагополучных проб составляла 65–90% от общего их количества за год, в настоящее время – практически 100%. В грунтовых водах в I зоне санитарной охраны присутствует в высоких концентрациях Sr – до 13 ПДК, Fe – до 49, Mn – до 15, As – до 2, Ba – до 5, Al – до 4 ПДК [16, 20]. Вода скважины 5/0-бис, входящей в ГОСТ Р 54316-2011, не может использоваться для питья как в силу бактериологического загрязнения, так и в связи с полной потерей кондиции. В 2016 г. средние значения минерализации составили 1.1 г/дм³ (норма 2–3.5 г/дм³), растворенной углекислоты – 0.3 г/дм³ (норма 1.0–2.5 г/дм³). Скважина 5/0, представленная в ГОСТ Р 54316-2011 [8] как Доломитный Нарзан, не соответствует требованиям ни по основному ионному составу, ни по минерализации – 3.0 г/дм³ (норма 4.0–4.5 г/дм³) [12].

ФАКТОРЫ И ИСТОЧНИКИ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕГИОНА КМВ

Причины загрязнения поверхностных вод, потеря кондиции и микробиологическое загрязнение минеральных вод заключаются как в природных особенностях региона КМВ, так и в возросшей антропогенной нагрузке.

Природные факторы. На площади 5.3 тыс. км² региона КМВ представлены все основные формы рельефа. Разнообразие рельефа создает различия в климате городов-курортов и влияет на перераспределение загрязняющих веществ (ЗВ) атмосферой. На пересеченной, холмистой местности (Ессентуки, Пятигорск) на наветренных склонах возникают восходящие, а на подветренных – нисходящие движения воздуха. При

нисходящих потоках приземные концентрации увеличиваются, при восходящих – уменьшаются. Наиболее неблагоприятной формой рельефа является котловина (Кисловодск), здесь воздух застаивается, что приводит к накоплению ЗВ вблизи подстилающей поверхности, особенно это относится к низким источникам выбросов (автотранспорт).

Климатические условия каждого курорта курортной области обладают существенными отличительными особенностями. К основным климатическим факторам, влияющим на интенсивность рассеивания и аккумуляции продуктов техногенеза, относятся: солнечная радиация, определяющая фотохимические превращения примесей и возникновение вторичных продуктов загрязнения воздуха; количество и продолжительность осадков, приводящих к вымыванию примесей из атмосферы; скорость ветра, повторяемость штилей; количество дней с туманами. Согласно районированию территории РФ по условиям рассеивания примесей и потенциалу загрязнения атмосферы (ПЗА), территория КМВ характеризуется повышенным потенциалом загрязнения атмосферы (зона II, класс II б¹) [1]. Для более детального уточнения для каждого курорта в [21] рассчитан метеорологический потенциал самоочищения атмосферы (МПА), определяемый как отношение повторяемости условий, способствующих накоплению примесей, к повторяемости условий, способствующих удалению примесей из атмосферы [27]. При МПА < 1 в рассматриваемый период времени создаются хорошие условия для рассеивания примесей в атмосфере, при МПА > 1 преобладают процессы, способствующие накоплению ЗВ. Способность атмосферы к самоочищению (рассеиванию) примесей рассчитывалась по коэффициенту К, обратному МПА. При К < 0.8 – неблагоприятные условия для рассеивания; 0.8 ≤ К ≤ 1.2 – ограниченно благоприятные условия рассеивания; К > 1.2 – благоприятные условия самоочищения атмосферы.

На территории курортов преобладают процессы, способствующие накоплению примесей. Так, многолетний МПА для Кисловодска равен 2.04, Ессентуков – 1.22, Пятигорска – 1.17, Железноводска – 1.38. Коэффициент самоочищения атмосферы К в Кисловодске составил 0.49, Ессентуках – 0.82, Пятигорске – 0.85, Железноводске – 0.73.

Метеорологические условия для рассеивания примесей неблагоприятные (Кисловодск, Железноводск) и ограниченно благоприятные

(Ессентуки, Пятигорск). По мере накопления примесей в атмосфере в грунтах накапливаются довольно значительные концентрации ЗВ, которые в дальнейшем талыми и дождевыми водами транспортируются в водоносный горизонт, имеющий высокую степень гидравлической связи с рабочими горизонтами, и далее в рабочие горизонты месторождения.

Необходимо отметить и постоянное увеличение количества атмосферных осадков. По данным инструментальных наблюдений (метеостанция г. Кисловодск), для периода с 1947 по 2016 г. отмечается устойчивый тренд роста атмосферных осадков со средней скоростью 2.9 мм/год (рис. 1), что существенно. Поступление атмосферных вод, имеющих минимальную минерализацию (до 0.2 г/дм³), приводит к потере кондиций минерального состава и диоксида углерода минеральных вод. Особенно это проявляется в южной части региона, где продуктивные водоносные горизонты расположены наиболее близко к поверхности земли [12, 14].

По геологическому строению и гидрогеологическим условиям Кисловодское, Ессентукское, Пятигорское и Железноводское месторождения минеральных вод отнесены к высшей 4-й группе сложности [24]. Для месторождений региона КМВ характерна резкая изменчивость распространения в плане и разрезе коллекторов трещиноватых зон в породах различного генезиса. Фундамент разбит системой тектонических разрывных нарушений и осложнен интрузиями кислого состава.

Основной вывод: природные факторы курортов КМВ отличаются высокой степенью экологической опасности, способствуют проникновению и накоплению загрязняющих веществ, разубоживанию продуктивных водоносных горизонтов.

Антропогенные факторы. Речь идет о влиянии на поверхностные и подземные воды стоков от неканализованных районов городов-курортов и утечек из инженерных сетей различного назначения. Износ коммунально-инженерной инфраструктуры составляет в среднем: водопроводные сети – 60, канализационные сети – 70, ливневая канализация – 80% [22]. Суммарная величина утечек складывается из трех составляющих – утечки из водопроводных сетей, утечки из канализационных (водоотводящих) сетей, стоки от неканализованного жилого фонда.

В сточных водах в несколько раз превышены концентрации тяжелых металлов, фосфатов, азотсодержащих соединений, нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ и др. Под воздействием техногенного обводнения возросла и сейсмичность территории городов, что является следствием изменения категории грунтов по сейсмическим свойствам со второй на третью под воздействием их техногенного обводнения. Если по данным 1994 г. участки с сейсмичностью 9 баллов составляли 18% территории, то по данным исследований 2006 г., подобные зоны достигают 75% [10].

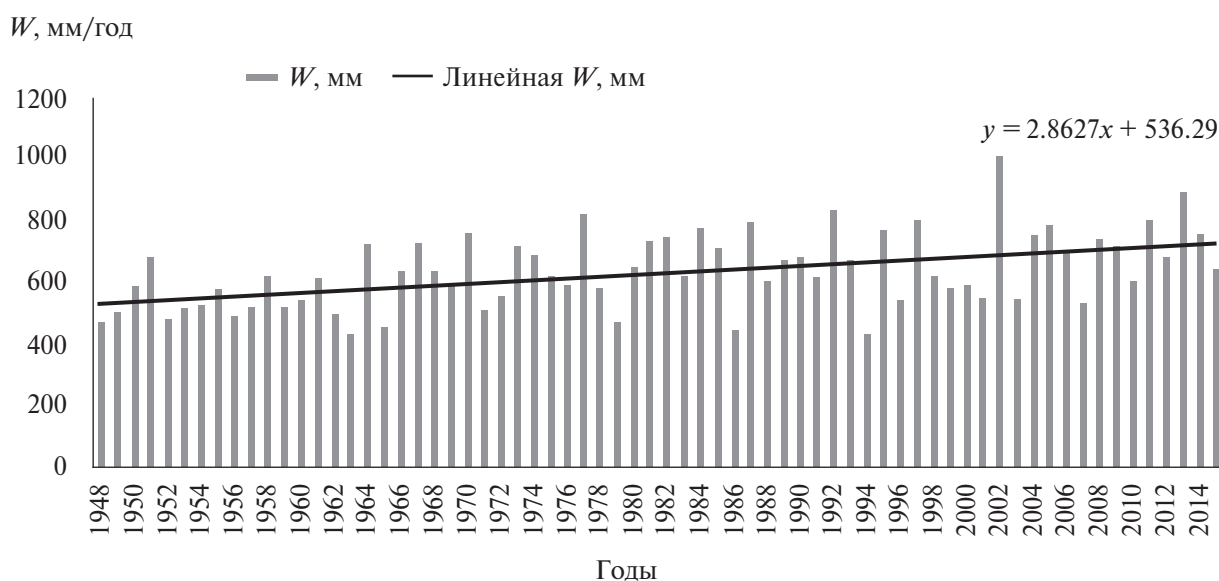


Рис. 1. Динамика атмосферных осадков по данным метеостанции г. Кисловодск.

РЕКИ В РЕГИОНЕ КМВ

Экологический мониторинг (ЭМ) на курортах КМВ охватывал период с 2000 по 2016 гг. и проводился на реках Белая, Березовая, Ольховка, Аликоновка, Бугунта, Юца и Джемуха, протекающих по территории городов-курортов. Замеры проводились 1–2 раза в сезон с обязательным отбором проб в паводок, межень и половодье. Количество постов наблюдения составило: в Кисловодске – 15, Ессентуках – 4, Железноводске – 4, Пятигорске – 4. Химический анализ каждой пробы воды включал определение 34 компонентов, таких как: основные ионы речных вод (K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^-); индикаторы, характеризующие способность воды к самоочищению (БПК₅, растворенный кислород, рН, перманганатная окисляемость); тяжелые металлы (ТМ) (Pb , Hg^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{6+}); индикаторы различных видов загрязнений (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , НФ, фосфаты, SO_4^{2-} , Al, Se, фенолы); компоненты с повышенным фоном (Ba^{2+} , Sr^{2+} , Fe); неорганические ядовитые вещества (Be^{2+} , Br, F, As); показатели радиационной безопасности (суммарная α - и β -активность) [17, 18]. Отбор проб для химического анализа осуществлялся согласно требованиям ГОСТ 31861-2012. Микробиологические исследования воды включали в себя определение КМАФАнМ, БГКП, БГКП фекальные, *Pseudomonas aeruginosa*. Отбор проб для микробиологического анализа осуществлялся согласно требованиям ГОСТ 31942-2012. При одновременном присутствии в воде двух или более веществ 1–2-го классов опасности, характеризующихся однонаправленным механизмом токсического действия, для каждой пробы рассчитывался лимитирующий показатель вредности (ЛПВ). В качестве ПДК принимались наиболее жесткие из следующих нормативов: приказ № 20 от 18.01.2010 г., разработанный для водных объектов рыбохозяйственного назначения [23], и ГН 2.1.5.1315-03 [7] для объектов культурно-бытового водопользования. Качество поверхностных вод оценивалось с использованием известных комплексных оценок – ИЗВ (индекс загрязнения вод) [13] и УКИЗВ (удельная величина комбинаторного индекса загрязненности воды) [26]. Расчет ИЗВ выполнялся по шести показателям по формуле:

$$ИЗВ = \sum_{i=1}^N \frac{C_i / ПДК_i}{N},$$

где C_i – концентрация компонента; N – число показателей, используемых для расчета индек-

са; ПДК_{*i*} – предельно допустимая концентрация для соответствующего типа водного объекта.

В число показателей входили концентрации Mn, Cu, Pb, Zn, азота нитритного и биохимическое потребление кислорода за 5 сут (БПК₅). Алгоритм расчета УКИЗВ представлен в [26], рассчитывался с учетом четырнадцати наиболее распространенных в поверхностных водах курортов КМВ ЗВ, таких как: Al, Ba, Fe, Cd, Mn, Cu, As, нефтепродукты, Ni, NO₂, Pb, Sr, Zn, фосфаты и показателя БПК₅ (табл. 1).

Таблица 1. Диапазон концентраций ряда ЗВ в реках курортов КМВ

Показатель	Концентрация ЗВ в реках, мг/дм ³		
	средняя (C_{cp})	минимальная (C_{min})	максимальная (C_{max})
Кисловодск (реки Березовая, Белая, Ольховка, Аликоновка)			
Мышьяк	0.02	<0.001	0.07
Нефтепродукты	0.10	<0.02	0.25
Стронций	1.64	0.2	7.0
Нитриты	0.10	<0.02	0.29
Кадмий	0.005	<0.0001	0.007
Цинк	0.015	<0.01	0.04
Свинец	0.01	<0.005	0.02
Медь	0.003	<0.001	0.007
Никель	0.01	<0.001	0.03
Алюминий	0.20	<0.01	0.55
Марганец	0.10	<0.001	0.15
Железо	0.15	<0.05	0.98
Барий	0.62	0.10	2.96
Фосфаты	0.05	<0.05	0.21
БПК ₅	2.30	0.50	5.70
Железноводск (р. Джемуха)			
Мышьяк	0.002	<0.001	0.005
Нефтепродукты	0.10	<0.02	0.20
Стронций	0.67	0.49	1.14
Нитриты	0.12	0.05	0.25
Кадмий	0.002	<0.0001	0.006
Цинк	0.02	<0.01	0.06
Свинец	0.006	<0.005	0.01
Медь	0.002	<0.001	0.005
Никель	0.007	<0.001	0.02
Алюминий	0.26	<0.01	0.29
Марганец	0.07	<0.001	0.15
Железо	0.18	<0.05	0.30
Барий	0.50	0.20	0.97
Фосфаты	0.29	<0.05	0.38
БПК ₅	1.10	0.30	4.10

Таблица 1. Окончание

Показатель	Концентрация ЗВ в реках, мг/дм ³		
	средняя (C _{ср})	минимальная (C _{min})	максимальная (C _{max})
Ессентуки (р. Бугунта)			
Мышьяк	0.026	<0.001	0.05
Нефтепродукты	0.19	<0.02	0.5
Стронций	0.35	0.51	9.3
Нитриты	0.15	0.04	0.98
Кадмий	0.005	<0.0001	0.0086
Цинк	0.015	0.008	0.05
Свинец	0.010	<0.005	0.045
Медь	0.015	<0.001	0.047
Никель	0.03	<0.001	0.045
Алюминий	0.15	<0.01	0.23
Марганец	0.45	<0.001	0.65
Железо	0.15	<0.05	0.30
Барий	0.60	0.15	1.05
Фосфаты	0.14	<0.05	0.38
БПК ₅	1.75	0.20	4.70
Пятигорск (р. Юца)			
Мышьяк	0.006	<0.001	0.02
Нефтепродукты	0.30	<0.02	0.78
Стронций	0.85	0.18	6.4
Нитриты	0.16	0.04	1.15
Кадмий	0.006	<0.0001	0.008
Цинк	0.025	<0.01	0.039
Свинец	0.012	<0.005	0.028
Медь	0.035	<0.001	0.082
Никель	0.009	<0.001	0.12
Алюминий	0.26	<0.01	0.29
Марганец	0.07	<0.001	0.15
Железо	0.18	<0.05	0.30
Барий	0.50	0.20	0.97
Фосфаты	0.29	<0.05	0.38
БПК ₅	1.10	0.30	4.10

Во всех обследованных реках обнаружены вещества 1–2-го классов опасности: As, Cd, Hg, Pb, Ni, Sr, Se, Ba, нитриты – в концентрациях, превышающих ПДК: As – до 7 ПДК, Cd – до 5 ПДК; Hg – до 4 ПДК; Ba и Pb – до 2.7 ПДК; Ni – до 3 ПДК; Se – до 8.5 ПДК; NO₂ – до 3.6 ПДК; Sr – до 17.5 ПДК. За исключением Sr и Ba, которые отличаются повышенным природным содержанием в почвах региона, все они поступают в речную воду в результате хозяйственной деятельности человека.

Классификация качества воды по среднеголетним значениям ИЗВ и УКИЗВ приведена в табл. 2.

В зависимости от полученного ИЗВ, водные объекты региона КМВ классифицированы по степени загрязнения следующим образом: чистые (1.6% всех проб), умеренно-загрязненные (23.8), загрязненные (66.7), грязные (3.2) и очень грязные (4.8%).

Наиболее грязные пробы речных вод зафиксированы в пик меженного периода.

В истоках рек воды соответствуют II классу качества (чистые). Вода пригодна для рыбохозяйственного и культурно-бытового водопользования. Речная вода в устьях соответствует IV и V классу качества – загрязненные и грязные. Вода непригодна для рыбохозяйственного и культурно-бытового водопользования.

Речные воды не отвечают гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям. Доля неблагоприятных проб в зависимости от сезона года достигает 94%.

По ЛПВ 64% проб не отвечают требуемым нормативам. Наибольший показатель 20.93 получен в устье рек Белой и Аликоновки, где зафиксировано превышение ПДК для рекордного количества ЗВ 1–2-го класса опасности (Cd, As, Pb, Sr).

В реках обнаружены вещества 1–2-го класса опасности: As, Hg, Cd, Pb, Ni, Sr, Se, Ba, NO₂ – в концентрациях, превышающих ПДК. Наиболее часто встречаемые загрязнители в речных водах – Al, Sr, Pb, Ni, фосфаты, сульфаты, нефтепродукты, соединения азота.

Наличие антропогенной нагрузки четко коррелирует [18, 19] с появлением конкретного, сопутствующего ему вида загрязнения в реках ниже по течению.

В речных водах не зафиксированы такие ЗВ, как Be, Br, Cr, фенолы. Показатели радиационной безопасности не превышают установленные нормы.

Основные источники загрязнения горных рек – неканализованный жилой фонд; сельское хозяйство; АЗС, расположенные в городской черте; автомобильный и железнодорожный транспорт; неочищенные стоки ливневой и промливневой канализации; кладбища в первой водоохраной зоне; несанкционированные свалки мусора в поймах [18, 19].

Таблица 2. Классификация качества речных вод курортов КМВ за многолетний период по значениям ИЗВ и УКИЗВ

Наименование створа	Класс качества (ИЗВ)	Класс качества (УКИЗВ)
р. Белая (Кисловодск)		
Исток (Курортный парк)	II класс, чистая, ИЗВ = 0.81	1 класс, условно чистая, УКИЗВ = 0.7
Устье (ОДЗ)	VI класс, очень грязная, ИЗВ = 8.68	4 класс, разряд "в", очень грязная, УКИЗВ = 5.43
р. Джемуха (Железноводск)		
ул. Заводская (пустырь)	III класс, умеренно загрязненная, ИЗВ = 1.21	3 класс, разряд "б", очень загрязненная, УКИЗВ = 2.75
ул. Ленина	V класс, грязная, ИЗВ = 4.38	4 класс, разряд "а", грязная УКИЗВ = 4.20
р. Бугунта (Ессентуки)		
ул. Тухачевского	III класс, умеренно загрязненная, ИЗВ = 1.56	3 класс, разряд "б", очень загрязненная, УКИЗВ = 3.09
Устье (ОДЗ)	VI класс, очень грязная, ИЗВ = 6.52	4 класс, разряд "б", грязная УКИЗВ = 5.60
р. Юца (Пятигорск)		
Ул. 2-я линия	III класс, умеренно загрязненная, ИЗВ = 1.94	3 класс, разряд "б", очень загрязненная, УКИЗВ = 3.10
Устье (ул. Есаульская)	VI класс, очень грязная, ИЗВ = 9.89	4 класс, разряд "в", очень грязная, УКИЗВ = 5.15

ПОДЗЕМНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ

Совместное воздействие климатических и антропогенных факторов на минеральные воды выразилось в систематическом подъеме их динамических уровней и падении содержания. Проиллюстрируем это на примере Кисловодского месторождения минеральных вод [12, 20]. Результаты регрессионного анализа и сопоставление с фактическими значениями изменения уровня по сети наблюдательных скважин изображены графически на рис. 2. Коэффициенты уравнения регрессии по каждой наблюдательной скважине представлены в табл. 3.

Несмотря на довольно интенсивный водоотбор из эксплуатационных скважин, в наблюдательных скважинах отмечается практически повсеместный рост динамических уровней.

По величине общей минерализации и диоксида углерода (CO_2) тенденция обратная. Хронологические графики свидетельствуют о преимущественном снижении концентраций основных ионов и CO_2 (рис 3). Практически по всем скважинам отмечается падение концентраций общей минерализации и диоксида углерода. Наиболее

существенно это проявилось в воде скважины 5/0-бис. Минерализация снизилась с 1.8–2.0 до 1.1 г/дм³, концентрация CO_2 – с 1.0 до 0.3 г/дм³, в связи с чем вода из разряда минеральных перешла в пресные. Исключением является лишь скважина 23, где отмечается рост общей минерализации с 5.5 до 7.0 г/дм³. Указанные процессы являются следствием поступления в водоносные горизонты в большом количестве более пресных вод атмосферного генезиса и стоков неканализованных поселков. Последние являются источником бактериологического загрязнения минеральных вод. На гидродинамический и гидрогеохимический режим эксплуатации скважин существенно влияет их гидравлическое взаимодействие, в связи с чем для более точной оценки многолетних тенденций использовался гидравлический метод прогнозирования в сочетании с многомерным регрессионным анализом. Уравнение гидравлики, описывающее процесс формирования динамического уровня в скважинах, имеет вид [2]:

$$H_t = H_0 - \frac{Q_i}{q_i} - \sum^{\nabla} \frac{Q_j}{q_{ij}} - h_t, \quad (1)$$

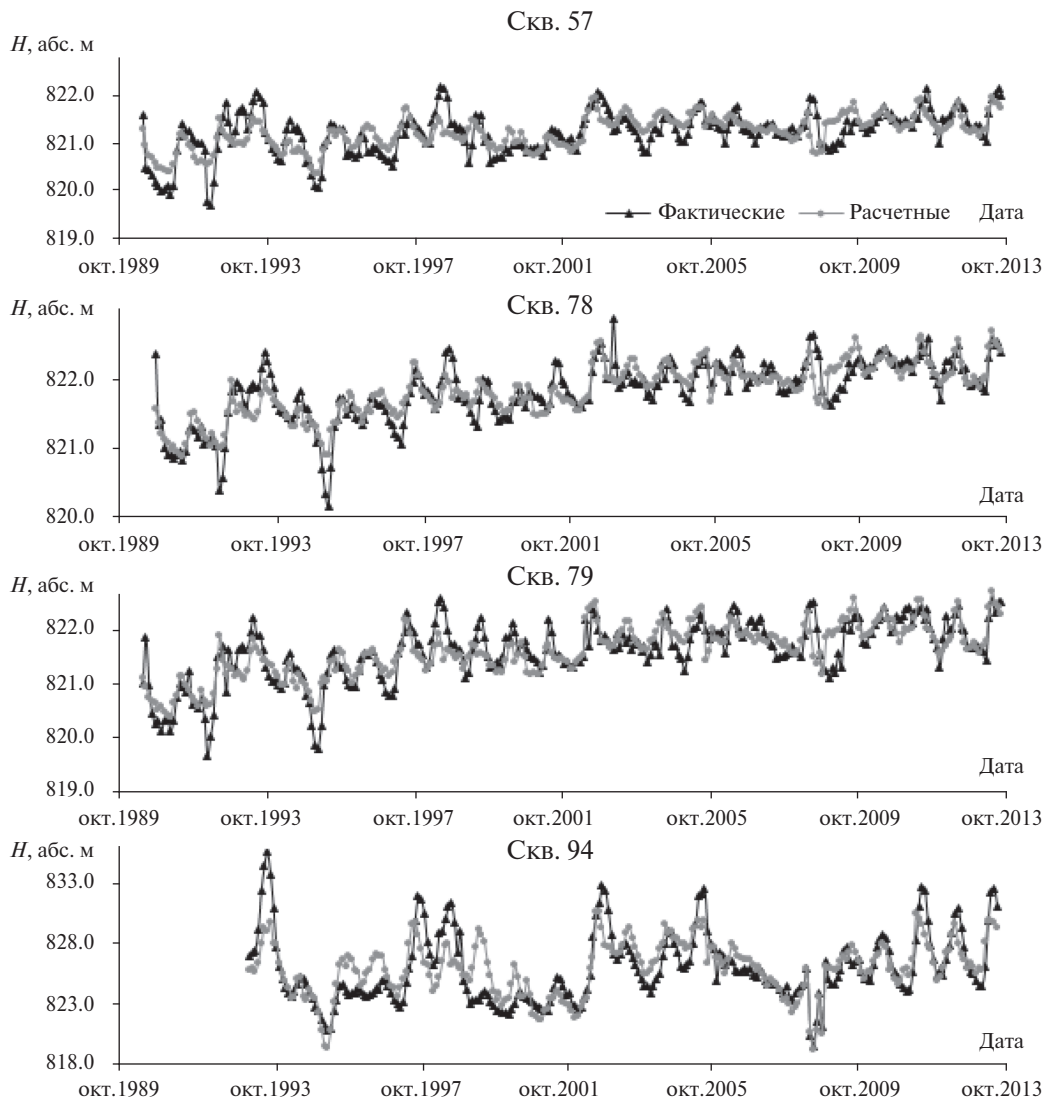


Рис. 2. Сопоставление расчетных и фактических уровней в наблюдательных скважинах Кисловодского месторождения минеральных вод.

где H_t – текущее значение динамического уровня; H_0 – начальное положение уровня; Q_i , q_i – соответственно дебит и удельный дебит скважины; Q_j , q_{ij} – дебит удаленной j -й скважины и коэффициент взаимодействия j -й скважины с рассматриваемой i -й; h_t – временная срезка уровня. Знак ∇ указывает на исключение из суммы i -й скважины.

Зависимость (1) показывает, что изменение уровня в рассматриваемой скважине представляет собой сумму “мгновенных” срезов от работы всех взаимодействующих скважин и временной срезки, характер которой определяется граничными условиями пласта. Срезка (h_t) может развиваться во времени по логарифмической, показательной, линейной либо более сложной зависимости, исходя из конфигурации границ в плане, разрезе и условий питания водо-

носных горизонтов. При рассмотрении относительно длительных периодов наблюдений, независимо от граничных условий, временная срезка с погрешностью $\leq 20\%$ может быть представлена линейной зависимостью и уравнение (1) трансформируется к следующему виду:

$$H_t = H_0 - \frac{Q_i}{q_i} - \sum \nabla \frac{Q_j}{q_{ij}} - Vt, \quad (2)$$

где V – среднееголетние темпы изменения уровня, комплексно учитывающие процессы откачки, инфильтрации, утечки из сетей; t – текущее время.

Для решения (2) использовался многомерный регрессионный анализ. Рассматривалась регрессионная линейная модель первого порядка с несколькими независимыми переменными.

Таблица 3. Коэффициенты уравнения регрессии по наблюдательным скважинам (b_0 – начальное значение рассматриваемого параметра на момент времени, принятый за нулевой; $b_{\text{Ист}}$, $b_{5/0}$, $b_{5/0\text{-бис}}$, $b_{107Д}$ – коэффициенты влияния источника Нарзан и эксплуатационных скважин (5/0, 5/0-бис, 107Д) на наблюдательные скважины; b_w – коэффициент влияния инфильтрации на динамику уровня в наблюдательных скважинах; V_t – среднемноголетние темпы изменения уровня в наблюдательных скважинах)

Номер скважины	b_0	$b_{\text{Ист}}$	$b_{5/0}$	$b_{5/0\text{-бис}}$	$b_{107\text{-Д}}$	b_w	V_t , м/мес.
57	819.23	0.00060	-0.00080	-0.00050	-0.00008	0.0045	0.0037
78	820.22	0.00043	-0.00202	-0.00060	-0.00012	0.0036	0.0043
79	819.81	0.00046	-0.00278	-0.00170	0.00000	0.0054	0.0047
94	820.47	0.00038	-0.00100	-0.00210	-0.00048	0.0047	0.0053

Гидродинамический режим месторождения. Анализ режима Кисловодского месторождения углекислых минеральных вод проводился по наблюдательным скважинам. Изучались закономерности динамики уровня по уравнению (2). Основной целью работ было установить закономерности изменения динамического уровня в наблюдательных скважинах в зависимости от нагрузок на эксплуатационные скважины и многолетних районных темпов снижения уровня. В расчетах использовались среднемесячные уровни и дебиты наиболее водообильных каптажей. При выполнении многофакторного анализа должен выполняться ряд условий: количество точек наблюдений должно быть в 6–10 раз больше чем количество переменных; соотношение факторов max/min должно различаться не менее чем в 2 раза; модель должна быть проверена на статистическую устойчивость. Рассматривалась линейная модель первого порядка с шестью независимыми переменными. Метод наименьших квадратов дает следующую систему уравнений [9]:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 n + b_1 \sum Q_u + b_2 \sum Q_5 + b_3 \sum Q_{5b} + b_4 \sum Q_C + \\ + b_5 \sum W + b_6 t = \sum H_t \\ H_0 \sum Q_u + b_1 \sum Q_u^2 + b_2 \sum Q_u Q_5 + b_3 \sum Q_u Q_{5b} + \\ + b_4 \sum Q_u Q_C + b_5 \sum Q_u W + b_6 \sum Q_u t = \sum Q_u H_t \\ H_0 \sum Q_5 + b_1 \sum Q_5 Q_u + b_2 \sum Q_5^2 + b_3 \sum Q_5 Q_{5b} + \\ + b_4 \sum Q_5 Q_C + b_5 \sum Q_5 W + b_6 \sum Q_5 t = \sum Q_5 H_t \\ H_0 \sum Q_{5b} + b_1 \sum Q_{5b} Q_u + b_2 \sum Q_{5b} Q_5 + b_3 \sum Q_{5b}^2 + \\ + b_4 \sum Q_{5b} Q_C + b_5 \sum Q_{5b} W + b_6 \sum Q_{5b} t = \sum Q_{5b} H_t \\ H_0 \sum Q_C + b_1 \sum Q_C Q_u + b_2 \sum Q_C Q_5 + b_3 \sum Q_C Q_{5b} + \\ + b_4 \sum Q_C^2 + b_5 \sum Q_C W + b_6 \sum Q_C t = \sum Q_C H_t \\ H_0 \sum W + b_1 \sum W Q_u + b_2 \sum W Q_5 + b_3 \sum W Q_{5b} + \\ + b_4 \sum W Q_C + b_5 \sum W^2 + b_6 \sum W t = \sum W H_t \end{array} \right. , (3)$$

где H_0 – положение уровня на начало расчета t ; b_1, b_2, b_3, b_4 – коэффициенты взаимодействия скважин; b_5 – коэффициент инфильтрационного питания; b_6 – коэффициент тренда инфильтрации; Q_u, Q_5, Q_{5b}, Q_C – среднемесячные дебиты источника скважин 5/0, 5/0-бис, 107, 107-Д; W – величина питания водоносных горизонтов, представляющая собой суммарное воздействие инфильтрации, утечек, испарения с поверхности подземных вод; t – текущее время, мес. За начало отсчета принят 1990 год, поскольку гидравлические характеристики зоны вокруг источника после декольматации сильно изменились.

Решение системы (3) выполнялось с использованием процедуры Гаусса. Результаты регрессионного анализа и сопоставление с фактическими значениями изображены графически на рис. 2. Практически по всем наблюдательным скважинам отмечается многолетний рост динамических уровней со скоростью от 1.0 до 6.0 см/год. Это результат влияния климатических и антропогенных факторов. Можно согласиться с тем, что коэффициент уравнения регрессии (b_w) не учитывает антропогенные факторы, только климатические, однако характер их воздействия аналогичен влиянию инфильтрации. Коэффициенты при скважинах позволяют также построить зону радиуса влияния каждой в виде изолиний b_i и оценить степень взаимодействия между эксплуатационными скважинами.

Гидрогеохимический режим месторождения. Анализ режима также выполнялся с применением линейного многофакторного регрессионного анализа по зависимости (4), но анализировались эксплуатационные скважины. Оценка режима выполнялась для значений общей минерализации и CO_2 . В задачи анализа входила оценка коэффициентов уравнения связи, позволяющая установить степень влияния каждого фактора на динамику минераль-

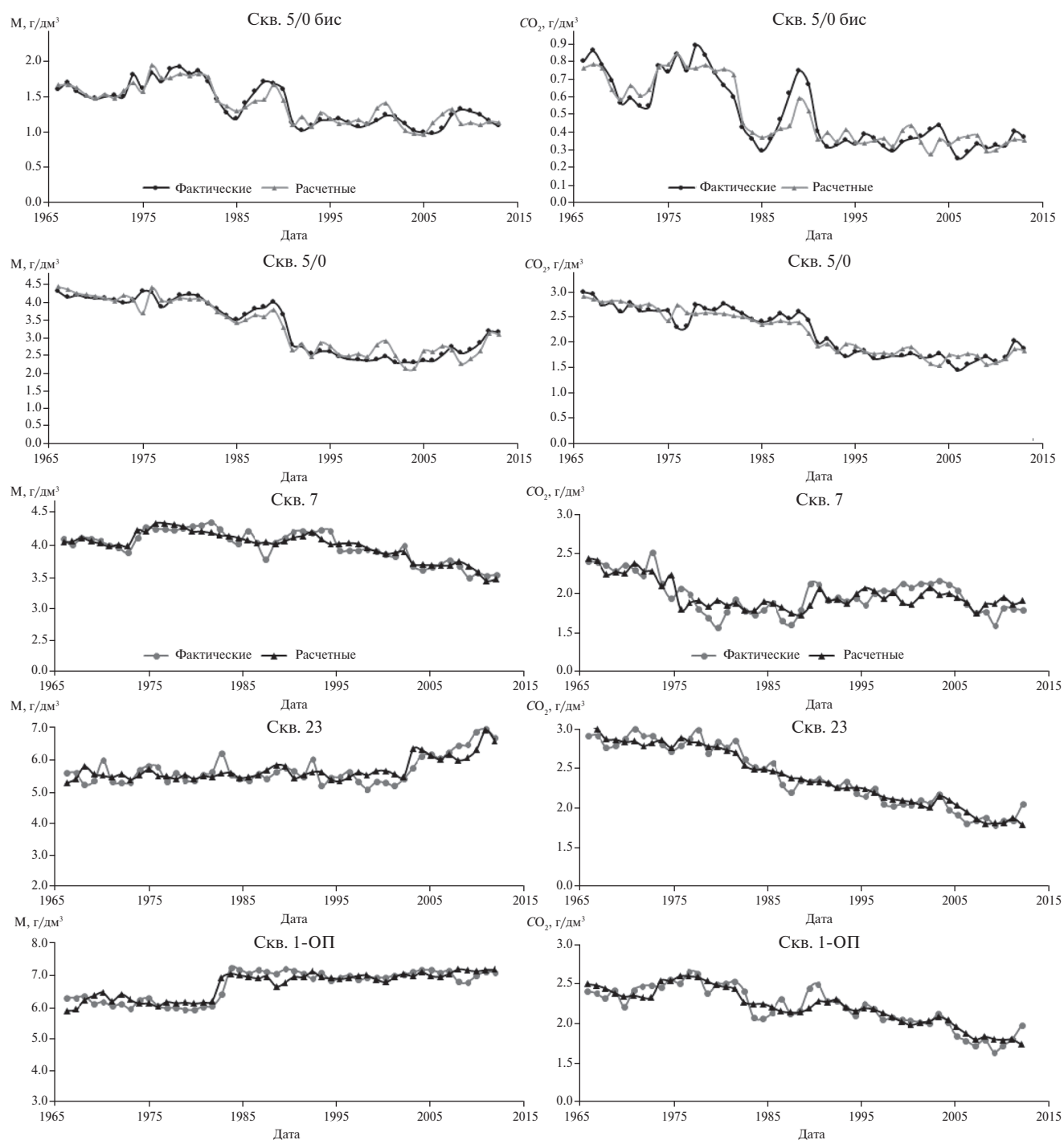


Рис. 3. Сопоставление расчетных и фактических значений минерализации и диоксида углерода по эксплуатационным скважинам Кисловодского месторождения минеральных вод.

ного состава. При допущениях в расчетах принята линейная зависимость темпов изменения качественных показателей от времени. В результате решения задачи получены коэффициенты уравнения связи для скважин валанжинского и титонского горизонтов, которые представлены в табл. 4, 5.

Рассматривалась следующая модель:

$$m_t = m_0 + b_i Q_i + \sum \nabla b_j Q_j + V_m t. \quad (4)$$

Физический смысл параметров уравнения (4) аналогичен уравнению (2). Решение дано в графической форме (рис. 3). Сходимость результатов достаточно высокая, расчет среднеквадрати-

Таблица 4. Коэффициенты уравнения регрессии скважин валанжинского горизонта (m_0 – начальное значение рассматриваемого параметра на момент времени принятый за нулевой; $b_{\text{Ист}}, b_{5/0}, b_{5/0\text{-бис}}, b_{107Д}, b_{107}$ – коэффициенты влияния источника Нарзан и эксплуатационных скважин (5/0, 5/0-бис, 107Д, 107) на минерализацию и диоксид углерода в рассматриваемых скважинах; V_m – среднеголетние темпы изменения минерализации и диоксида углерода в рассматриваемых эксплуатационных скважинах)

Источники	m_0	$b_{5/0}$	$b_{5/0\text{-бис}}$	$b_{\text{Ист}}$	$b_{107\text{-Д}}$	b_{107}	$V_m, \text{ г/дм}^3/\text{год}$	$d, \%$ ср. кв.
Минерализация подземных вод, г/дм ³								
скв. 5/0-бис	3.072	-0.00181	-0.00068	-0.00045	-0.00021	0.00026	-0.0210	8.04
скв. 5/0	6.792	-0.00188	-0.00141	-0.00088	-0.00050	0.00591	-0.0596	7.14
Концентрация диоксида углерода, г/дм ³								
скв. 5/0-бис	1.356	-0.00133	-0.00013	-0.00017	0.000158	0.00039	-0.0153	15.59
скв. 5/0	3.784	-0.00033	-0.00060	-0.00036	-0.00019	0.00201	-0.0328	7.56

Таблица 5. Коэффициенты уравнения регрессии скважин титонского и нижневаланжинского горизонтов ($b_{\text{скв}}$ – коэффициент влияния на рассматриваемый параметр самой скважины, $b_{\text{Сев}}$ – обобщенный коэффициент влияния скважин Северного фланга Центрального участка (скв. 107-Д, скв. 107) на рассматриваемые скважины)

Источники	m_0	$b_{\text{скв}}$	$b_{5/0}$	$b_{5/0\text{-бис}}$	$b_{\text{Ист}}$	$b_{\text{Сев}}$	$V_m, \text{ г/дм}^3/\text{год}$	$d, \%$ ср. кв.
Минерализация подземных вод, г/дм ³								
скв. 1-ОП	5.524	-0.06019	0.00287	-0.00022	0.000290	-0.00020	0.02108	3.40
скв. 23	5.684	-0.26108	-0.00075	0.00068	0.000030	0.00112	0.00956	4.72
скв. 7	4.294	0.0468	-0.00013	-0.00023	0.000127	-0.00039	-0.0193	2.32
Концентрация диоксида углерода, г/дм ³								
скв. 1-ОП	2.443	0.02853	-0.00040	0.00006	0.000130	0.00022	-0.0207	4.64
скв. 23	3.267	-0.07415	-0.00039	0.00005	0.000060	0.00024	-0.0340	3.78
скв. 7	1.436	-0.1267	0.00034	0.00089	0.00024	-0.00012	0.00128	7.39

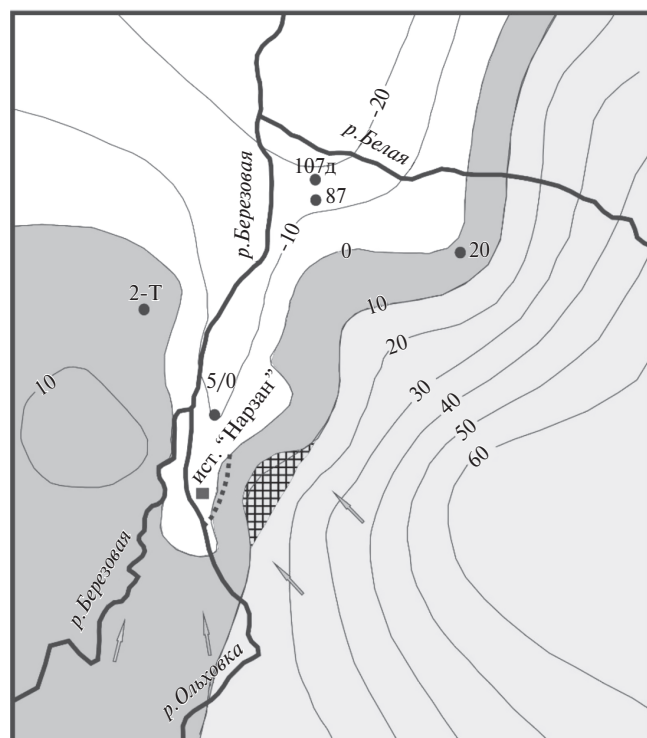
ческой погрешности свидетельствует о том, что ошибка расчетов не превышает 16%.

Анализ коэффициентов показывает, что воды валанжинских подгоризонтов характеризуются повсеместным падением общей минерализации и уменьшением концентрации диоксида углерода. Исключение составляет лишь скв. 7, где отмечен рост CO_2 . Общая минерализация вод титонского горизонта (скв. 1-ОП, 23) имеет тенденцию к росту, но концентрация CO_2 здесь также снижается.

Основной источник бальнеолечения в Кисловодске – источник “Нарзан”. Его самоизлив удовлетворял бы все потребности санаторно-курортного комплекса, если бы не санитарно-микробиологическое неблагополучие воды. Для его нейтрализации в минеральную воду перед подачей ее в ванны отделения добавляется серноокисное серебро. Метод довольно спорный, поскольку серебро – это тяжелый металл, которому в РФ присвоен 2-й класс опасности, т.е. высокоопасное вещество. Серебро медлен-

но выводится из организма и способно накапливаться в печени, почках, коже и слизистой оболочке. Возможна резорбция через кожу. В концентрациях, которые разрешены действующими нормативами (50 мкг/дм³), серебро в воде обладает только бактериостатическим эффектом, т.е. способно притормозить рост бактерий. Способность гарантированно уничтожать определенные бактерии проявляется у серебра при концентрациях >150 мкг/дм³, что составляет соответственно 3 ПДК и опасно для здоровья. По данным ВОЗ для достижения бактериостатического эффекта серебра необходимо выполнение ряда условий: вода изначально должна быть хорошего микробиологического качества; должно быть исключено поступление в воду новых бактерий; вода должна храниться в темноте, поскольку под действием света возможно выпадение осадка и изменение цвета. Необходимо отметить, что ионы серебра тормозят рост далеко не всех бактерий.

Есть способ, который позволит существенно повысить качественные показатели воды



Масштаб 1:20000

0 200 400 600 800 м
В 1 см 200 м

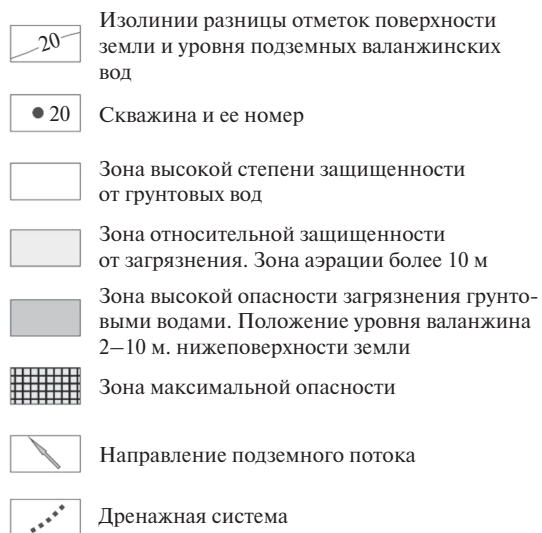


Рис. 4. Картограмма эколого-гидрогеологического районирования территории источника “Нарзан”.

источника. На рис. 4 представлена карта эколого-гидрогеологического районирования территории источника “Нарзан”. Зона высокой опасности загрязнения охватывает чуть ли не половину всего Центрального участка. Здесь воды верхневаланжинского подгоризонта яв-

ляются грунтовыми и имеют гидравлический режим связи с поверхностными водами и водами инфильтрационного генезиса. В этой зоне расположено большинство неканализованных поселков. Но самой неблагоприятной является зона максимальной опасности, расположенная юго-восточнее источника “Нарзан”. Чтобы повысить качество минеральных вод, достаточно создать дренажную систему вокруг источника. Система представляет собой четыре скважины глубиной от 30 до 60 м, каптирующие верхний валанжин и четвертичный горизонты, объединенные общим коллектором. Основная задача дренажной системы – снижение уровня по ее оси на 4.0 м. Тогда южнее источника образуется локальная депрессия, которая будет “собирать” все загрязнение, проходящее через верхневаланжинский подгоризонт, а также пресные воды и сбрасывать их в канализационный коллектор; т.е. часть более пресных загрязненных вод верхнего валанжина в самом источнике будут перехвачены дренажной системой. Это понизит дебит источника, но воды его будут значительно более минерализованными и бактериологически чистыми, что позволит улучшить качество воды в р. Ольховке, куда в настоящее время сбрасывается вода из источника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных многолетнего экологического мониторинга позволяет утверждать, что ситуация с водными ресурсами в городах-курортах КМВ критическая. Это выражается в наличии веществ 1-2-го классов опасности в концентрациях, превышающих ПДК, в речных и грунтовых водах, в бактериологическом загрязнении верхних водоносных горизонтов, что сопровождается ростом динамических уровней, падением содержания минеральных вод рабочих горизонтов. Причина кроется в игнорировании простых истин. “Все должно куда-то деваться” – аксиома, не требующая доказательств. При этом на территории курортных городов строят АЭС, оборудуют ТЭЦ в самой нижней точке закрытой котловины в зоне повышенного потенциала загрязнения атмосферы. Количество автотранспорта на курортах постоянно увеличивается. На него приходится 96% валовых выбросов в атмосферу. В XXI в. на курортах федерального значения остается неканализованной до 40% городской территории. Неканализованные участки приурочены к местам неглубокого залегания минеральных

вод (мощность зоны аэрации ~5 м). С течением времени ситуация только ухудшается, поскольку население, соответственно и стоки, увеличиваются, а инженерные сети не расширяются и практически не ремонтируются. Учитывая тенденции в динамике природных и антропогенных факторов за последние полвека, в перспективе следует ожидать ухудшения экологической ситуации на курортах КМВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В.* Воздух городов и его изменения. СПб.: Астерион, 2008. 254 с.
2. *Боचेвер Ф.М.* Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра, 1968. 325 с.
3. Генеральный план города Эссентуки. М.: Гипрогор, 2009. Т. 1. 207 с.
4. Генеральный план городского округа города-курорта Железноводск Ставропольского края. СПб.: РосНИПИУрбанистики, 2013. Т. 2. Кн. 1. 310 с. Генеральный план городского округа города-курорта Кисловодск. М.: Гипрогор, 2011. Т. 1. 108 с.
5. Генеральный план муниципального образования города-курорта Пятигорска URL: <http://pyatigorsk.org/139> (дата обращения 15.07.2017).
6. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Минздрав РФ, 2003.
7. ГОСТ Р 54316-2011. Национальный стандарт. Воды минеральные природные питьевые. М.: Стандартинформ, 2011. 41 с.
8. *Комаров И.С., Хайме Н.М., Бабенышев А.П.* Многомерный статистический анализ в инженерной геологии. М.: Недра, 1976. 198 с.
9. *Кузнецов Р.С.* Инженерно-геологическое обоснование градостроительной деятельности на территории г. Кисловодска: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Ставрополь: СКГТУ, 2009. 25 с.
10. *Малков А.В., Першин И.М., Помеляйко И.С.* Анализ экологического состояния гидроминеральной базы курорта Кисловодск // Изв. вузов. Геология и разведка. 2016. № 1. С. 12–23.
11. *Малков А.В., Першин И.М., Помеляйко И.С., Уткин В.А., Королев Б.И., Дубогрей В.Ф., Хмель В.В., Першин М.И.* Кисловодское месторождение углекислых минеральных вод: Системный анализ, диагностика, прогноз, управление. М.: Наука, 2015. 283 с.
12. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Учебно-методическое пособие / Сост. Гагарина О.В. Ижевск: Изд-во УдГУ, 2012. 199 с.
13. *Погорельский Н.С.* Углекислые воды большого района Кавказских минеральных вод. Ставрополь: Ставропольское кн. изд-во, 1973. 392 с.
14. *Помеляйко В.И., Помеляйко И.С.* Состояние гидроминеральной базы курорта федерального значения Кисловодска // Изв. вузов. Геология и разведка. 2012. № 2. С. 29–37.
15. *Помеляйко И.С.* Анализ состояния верхней гидродинамической зоны курорта Кисловодск // Разведка и охрана недр. 2014. № 6. С. 43–48.
16. *Помеляйко И.С.* Результаты комплексного экологического мониторинга региона Кавказских Минеральных Вод // Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых. Вып. 19. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: РУДН, 2017. С. 333–339.
17. *Помеляйко И.С.* Системный анализ экологического состояния зоны гипергенеза урбанизированных территорий (на примере курорта федерального значения Кисловодска): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пятигорск: ПГГТУ, 2012. 21 с.
18. *Помеляйко И.С., Коваленко Н.Н.* Статус курорта федерального значения – привилегия или кара? // Техногенные процессы в гидрлитосфере. Сб. статей. 2-го нац. науч. форума “Нарзан-2013”. Пятигорск: РИА-КМВ, 2013. С. 187–214.
19. *Помеляйко И.С., Малков А.В., Першин М.И.* Гидроминеральная база Кисловодского месторождения углекислых минеральных вод: проблемы и пути решения // Экология Кавказских Минеральных Вод: системный анализ и концептуальные подходы. Пятигорск: Изд-во ПФ СКФУ, 2016. С. 163–177.
20. *Помеляйко И.С., Помеляйко В.И.* Комплексная антропогенная нагрузка на городскую территорию ряда крупных промышленных городов и курортов федерального значения России // Изв. вузов. Геология и разведка. М.: 2016. № 1. С. 47–55.
21. Постановление Правительства Ставропольского края от 28.09.2009 № 255-п (ред. от 27.12.2012) “О краевой целевой программе “Модернизация жилищно-коммунального комплекса Ставропольского края на 2010–2012 годы”.
22. Приказ № 20. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: Росрыболовство, 2010. 214 с.
23. Приказ МПР РФ от 30 июля 2007 г. № 195 “Об утверждении Классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод”. 14 с.
24. Проект округа санитарной охраны курортов Эссентуки, Железноводск, Кисловодск, Пятигорск в Ставропольском крае. Кисловодск: Геоминвод, 1981. Т. 2. Кн. 2. 221 с.

25. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2002. 50 с.
26. Селегей Т.С., Юрченко И.П. Потенциал рассеивающей способности атмосферы // География и природные ресурсы. 1990. № 2. С. 184.

Quality of Surface and Underground Water at the Resorts of the Caucasian Mineral Water Regions — Problems and Solutions

I. S. Pomelyayko^{1, *}, A. V. Malkov¹

¹ North-Caucasian Federal University, Pyatigorsk, 357700, Russia

*e-mail: i.pomelyayko@yandex.ru

Received: 07.07.2017 г.

Received version received 26.04.2018 г.

The results of long-term environmental monitoring of small rivers in the Caucasian Mineral Waters resorts region are presented. The characteristics of the surface water and groundwater at the resorts are considered. The degree and nature of their pollution were evaluated, and the main causes of water pollution in the region—including heavy-metal compounds, petroleum products, and nitrogen-containing compounds—were identified and analyzed. Data on mineral water from a number of production wells that are not compliant with the requirements of GOST R 54316-2011 are given. The analysis of hydrogeodynamic and hydrogeochemical regimes of exploitation of the Kislovodskoye field, recommendations for improving the quality indicators of the main source of the “Narzan” field are given.

Keywords: Caucasian mineral water resorts, rivers, mineral waters, pollution, excess of maximum permissible concentration, drainage facilities.

DOI: 10.31857/S0321-0596462178-190