



И.С. Помеляйко
канд. техн. наук
ООО «Нарзан-гидроресурсы»¹
ведущий инженер-гидрогеолог
i.pomelyaiko@yandex.ru

Концентрация ряда веществ 1-2 класса опасности и долгоживущих техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в природных средах городов-курортов конурбации Кавказских Минеральных Вод

¹Россия, 357700, Ставропольский край, Кисловодск, ул. Кирова, 43.

На основании исследований специалистов ВОЗ, МАИР и нормативных документов, действующих на территории РФ, выделены чрезвычайно опасные химические вещества, пагубно влияющие на окружающую среду и здоровье человека. К ним относятся бенз(а)пирен, Be, Hg, Cd, As, Pb, Ni, Zn, нитриты. Большинство из них обладают беспороговостью действия, когда уже при незначительных количествах может наступить кумулятивный эффект индуцированного мутагенеза. Помимо перечисленных веществ отрицательное влияние на организм человека оказывает ионизирующая радиация. В частности, техногенные радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr способствуют возникновению врожденных пороков развития, снижению фертильности, дефициту иммунитета, росту частоты опухолей и лейкозов, оказывают эмбриотоксическое действие и т.д. Концентрации данных веществ регулярно замерялись в природных средах курортов Кавказских Минеральных Вод. Мониторинг проводится с 2010 г. и включает систематический отбор проб грунтов, поверхностных и подземных вод курортов КМВ на химические, микробиологические и радиологические анализы. Анализируется информация о загрязнении атмосферы курортов. Данные исследования позволили установить пространственную структуру загрязнения городских территорий и степень их гигиенической опасности. В качестве количественной характеристики основных факторов экологического состояния среды, определяющих реальную нагрузку на организм человека автором предложена величина комплексной антропогенной нагрузки (ВАН) на окружающую среду. Согласно предложенной методике исходя из значения ВАН экологическое состояние территории можно дифференцировать как удовлетворительное, напряженное, критическое, катастрофическое. Экологическое состояние городов КМВ – напряженное и критическое. Наибольший вклад в комплексную антропогенную нагрузку курортов вносит загрязнение поверхностных вод и загрязнение долгоживущими радионуклидами

Ключевые слова: чрезвычайно опасные химические вещества; здоровье человека; экологический мониторинг; курорты КМВ; экологическое состояние; величина комплексной антропогенной нагрузки (ВАН)

Существуют различные перечни чрезвычайно опасных химических веществ, которые в случае их ненадлежащего регулирования могут пагубно влиять на окружающую среду (ОС) и здоровье человека. Эксперты ВОЗ выделяют 10 химических соединений (групп), наиболее негативно влияющих на здоровье. К ним относятся: асбест, бензол, диоксины, взвешенные частицы (диоксид азота, озон), кадмий, мышьяк, фтор, пестициды, ртуть, свинец [1]. Данные вещества способны нарушать эмбриогенное развитие плода, обладают мутагенным и канцерогенным эффектами. Большинство из них имеют хорошую проникающую способность в клетки живых организмов. Человек может получить их через кожу, дыхательные пути и с пищей. Накапливаясь в живых организмах, они провоцируют в дальнейшем различные заболевания. Ситуацию осложняют синергетические эффекты. Тяжелые металлы (ТМ) редко встречаются отдельно друг от друга, а два или более ядов вместе дают эффект, во много раз превосходящий сумму действий каждого из них. Сочетаясь вместе и поступая в организм, они ослабляют иммунную систему, и человек становится более подверженным воздействию инфекций и паразитов. Кроме того, большинство мутагенов обладает беспороговостью действия, когда уже при незначительных количествах может наступить кумулятивный эффект индуцированного мутагенеза. Экоотоксиканты (бенз(а)пирен (БП), нитрозамины, свинец, кадмий, мышьяк и др.) накапливаются в живых организмах и, передаваясь по трофическим цепям, представляют опасность не только для настоящего, но и для будущих поколений [2].

Согласно определению Международного агентства изучения рака (МАИР), среди канцерогенов большое значение придается ряду ТМ, к которым относят кадмий, никель, бериллий, хром, молибден, свинец, мышьяк и их соединения. Из них в первую группу (канцерогенность которых для человека доказана) входят Cd, Ni, Be, Cr, As [3].

Ко второй группе химических веществ, вероятно канцерогенных для человека, отнесены 54 соединений веществ из класса полиароматиче-

ских углеводородов (ПАУ), в том числе БП, ряд веществ класса N-нитрозосоединений, предшественниками которых являются нитраты и нитриты, а также свинец [3].

Отрицательное воздействие на организм человека оказывает и ионизирующая радиация. Радионуклид ¹³⁷Cs, способствует возникновению врожденных пороков развития, при наличии генетической предрасположенности, выступая в роли провоцирующего внешнесредового фактора. В значительных количествах, ¹³⁷Cs оказывает эмбриотоксическое действие. При поступлении в организм плода ⁹⁰Sr отмечаются нарушения процессов плацентации и органогенеза, что может привести к его гибели. В постнатальном периоде такое потомство характеризуется пониженной жизнеспособностью, снижением фертильности (способности к размножению) и дефицитом иммунитета, возрастает частота опухолей и лейкозов [4]. Около 80% радиационной нагрузки население получает за счет внутреннего облучения [5].

Учитывая нормативные документы РФ, разработанные для различных сред [6, 7, 8], можно отметить, что из веществ, о которых упоминалось выше, к чрезвычайно (1 класс) и высокоопасным (2 класс) были отнесены вещества, представленные в **табл. 1**. Таким образом, исходя из данных ВОЗ, МАИР и нормативных документов (НД), действующих на территории РФ, к наиболее опасным веществам 1–2 класса относятся: БП, Be, Hg, Cd, As, Pb, Ni, Zn, нитриты (NO₂). Концентрации данных загрязняющих веществ (ЗВ), регулярно замерялись в природных средах курортов КМВ (**табл. 1**).

Подробная методика экологического мониторинга (ЭМ) изложена в работах [9, 10, 11]. Мониторинг проводится с 2010 г. и включает систематический отбор проб грунтов, поверхностных и подземных вод курортов КМВ на химические, микробиологические и радиологические показатели. Данные о концентрации поллютантов в атмосфере курортов Кисловодск и Пятигорск получены в НПК «Атмосфера» (Санкт-Петербург) [12]. Концентрации ЗВ для Ессентуков и Железноводска представлены Ставропольским Росгидрометом [13,14]. Итогом ЭМ курортов КМВ

Таблица 1. Вещества, отнесенные к чрезвычайно и высоко опасным согласно классификаций ВОЗ, МАИР и НД РФ, и определяемые в различных средах курортов КМВ

Среда	Вещество
Атмосфера	Бенз(а)пирен, NO ₂ *
Педосфера	As, Cd, Hg, Pb, Zn, Ni,
Гидросфера (реки)	Hg, Be, As, NO ₂ , Cd, Pb, Ni, Zn

* данное вещество относилось ко 2 классу опасности до 2003 г., после чего было отнесено к 3 классу опасности.

ЭКОЛОГИЯ

Компонент (ЗВ) Фоновая (С _ф)	Концентрация ЗВ				Превышение С _ф над С _н
	Средняя (С _{ср})	Мин. (С _{мин})	Макс. (С _{макс})		
Кисловодск (К)					
<i>Атмосферный воздух</i>					
БП, нг/м ³	-	1,2	0,2	2,2	1,5*
Диоксид азота, мкг/м ³	-	37	20	50	1,2*
<i>Грунты, мг/кг</i>					
Свинец	10	54,8	10	62,75	5,5
Мышьяк	2,2	4,93	1,39	6,8	2,2
Кадмий	1	1,86	0,74	2,19	1,9
Никель	24	47,40	18	60	2
Ртуть	0,02	0,08	0,01	0,24	4
Цинк	52,5	102,16	50,6	127,7	1,9
Цезий-137, Бк/кг	60	29,2	23	60	0,5
Стронций-90, Бк/кг	2	12,9	2	21	6,5
<i>Поверхностные водотоки, мг/дм³</i>					
Мышьяк	0,001	0,03	< 0,001	0,07	30
Нитриты	0,02	0,1	< 0,02	0,29	5
Цинк	0,01	0,04	< 0,01	0,04	4
Кадмий	0,001	0,006	< 0,0001	0,007	6
Свинец	0,004	0,02	< 0,005	0,02	5
Никель	< 0,001	0,01	< 0,001	0,03	10
Железноводск (Ж)					
<i>Грунты, мг/кг</i>					
Свинец	10	42,64	23,8	88,1	4,3
Мышьяк	2,2	2,09	1	2,97	1
Кадмий	1	1,16	0,7	1,8	1,2
Никель	24	61,86	37,8	78,9	2,6
Ртуть	0,02	0,26	0,1	0,85	13
Цинк	52,5	124,58	74,9	162,3	2,4
Цезий-137	60	87,74	61,6	114,4	1,5
Стронций-90	2	84,2	11	121	42,1
<i>Поверхностные водотоки, мг/дм³</i>					
Мышьяк	0,001	0,002	< 0,001	0,005	2
Нитриты	0,02	0,12	0,05	0,25	6
Цинк	0,01	0,02	< 0,01	0,06	2
Кадмий	0,001	0,002	< 0,0001	0,006	2
Свинец	0,004	0,006	< 0,005	0,01	1,5
Никель	< 0,001	0,007	< 0,001	0,02	7
Ессентуки (Е)					
<i>Грунты, мг/кг</i>					
Свинец	10	11,42	4,2	17,9	1,1
Мышьяк	2,2	1,47	1,15	1,87	0,7
Кадмий	1	0,7	0,4	1,2	0,7
Никель	24	61,46	33,8	72,9	2,6
Ртуть	0,02	0,08	0,02	0,22	4
Цинк	52,5	65,28	37,8	87,5	1,2
Цезий-137	60	55,7	31,4	65,6	0,9
Стронций-90	2	58	39	80	29
<i>Поверхностные водотоки, мг/дм³</i>					
Мышьяк	0,001	0,026	< 0,001	0,05	26
Нитриты	0,02	0,15	0,04	0,98	7,5
Цинк	0,01	0,015	0,008	0,05	1,5
Кадмий	0,001	0,005	< 0,0001	0,0086	5
Свинец	0,004	0,01	< 0,005	0,045	2,5
Никель	< 0,001	0,03	< 0,001	0,045	30
Пятигорск (П)					
<i>Атмосферный воздух</i>					
БП, нг/м ³	-	0,9	0,1	1,5	1,1*
Диоксид азота, мкг/м ³	-	33	19	44	1*
<i>Грунты, мг/кг</i>					
Свинец	10	64,7	34,5	100,2	6,5
Мышьяк	2,2	2,5	0,94	5,7	1,1
Кадмий	1	0,9	0,46	1,84	0,9
Никель	24	57,7	43	86,4	2,4
Ртуть	0,02	0,34	0,1	0,95	17
Цинк	52,5	89,5	42,3	100,1	1,7
Цезий-137	60	64,2	8,88	98,8	1,1
Стронций-90	2	94,2	66,58	154,45	47,1
<i>Поверхностные водотоки, мг/дм³</i>					
Мышьяк	0,001	0,006	< 0,001	0,02	6
Нитриты	0,02	0,16	0,04	1,15	3
Цинк	0,01	0,025	< 0,01	0,039	2,5
Кадмий	0,001	0,006	< 0,0001	0,008	2
Свинец	0,004	0,012	< 0,005	0,028	3
Никель	< 0,001	0,009	< 0,001	0,12	9

*превышение над ПДК

Таблица 2.

Диапазон концентрации ЗВ по различным природным средам в городах-курортах КМВ

стало определение поллютантов, регулярно превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК) в природных средах. Рассчитаны показатели, позволяющие определить ЭС каждого курорта. Полученные данные свидетельствуют о сильном загрязнении ОС курортов КМВ (табл. 2).

Кроме указанных в табл. 1 элементов, в почвах и речных водах определялись показатели радиоактивности. Для почв это – долгоживущие техногенные радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr ; для рек – α - и β -радиоактивность. В почвах городов-курортов определялись также концентрации линдана и 1,1,1-трихлор-2,2-бис(4-хлорфенил)этан (ДДТ). Необходимость определения данных показателей связана с высокими значениями эффективных доз облучения населения в регионе Кавказских Минеральных Вод. Так, по данным исследований, проведенных в 89 субъектах РФ, максимальные значения средних годовых эффективных доз облучения населения природными источниками зарегистрированы в Республике Алтай (9,54 мЗв/год), Еврейской АО (7,20 мЗв/год) и Ставропольском крае (5,86 мЗв/год), при средней суммарной дозе облучения равной 3,38 мЗв/год [15]. В почвах городов-курортов определялись также концентрации линдана и 1,1,1-трихлор-2,2-бис(4-хлорфенил)этана (ДДТ).

Проследим концентрацию и распределение анализируемых веществ в природных средах курортов КМВ (табл. 2). Отсутствие многолетних данных по концентрации ЗВ в воздушном бассейне Ессентуков и Железноводска связано с тем, что на территории данных курортов нет стационарных постов (СП) наблюдения за атмосферой. Данная ситуация противоречит требованиям НД [16, 17]. При численности населения до 100 000 жителей (Железноводск) необходимое число постов наблюдения – 2; от 100 000 до 200 000 жителей (Кисловодск, Ессентуки) – 2–3; от 200 000 до 500 000 жителей (Пятигорск) – 3–5.

Кроме того, число СП согласно НД [19] «может быть увеличено в условиях сложного рельефа местности, а также при наличии на данной территории объектов, для которых чистота воздуха имеет первостепенное значение (например, уникальных парков)». Единственный СП в Кисловодске расположен в южной части города (пер. Штукатурный, 25) в курортной зоне так, что с учетом розы ветров, фактически замеряет воздух, максимально лишенный примесей.

В обязательный перечень веществ, контролируемых в атмосфере курортов КМВ, не включены формальдегид и соединения свинца, поскольку они «замеряются в городах с населением более 500 тыс. жителей» [17]. В качестве

пояснения данного ограничения РД 52.04.186-89 приводит аргумент – «так как эти примеси в большом количестве выбрасываются автомобилями». В контексте данного уточнения не совсем корректным кажется привязка обязательных замеров формальдегида и свинца в атмосфере к числу жителей. Необходимо оценить число автотранспорта на единицу площади, учесть влияние геоморфологии и метеорологических особенностей данного населенного пункта в накоплении ЗВ. К примеру, плотность выбросов от автотранспорта на единицу площади (данные за 2012 г.) в Кисловодске – 123,9 т/км², что значительно выше показателей таких крупных городов с населением более 500 тыс. жителей как: Уфа (100,4 т/км²), Ижевск (93,3 т/км²), Волгоград (83,4 т/км²), Нижний Новгород (69,4 т/км²) и т.д. [18].

Интегральная оценка загрязнения рек по гидрохимическим показателям осуществлялась по показателю загрязнения поверхностных вод $K_{\text{вод}}$. Расчет $K_{\text{вод}}$ выполнялся по 6 веществам – As, NO₂, Cd, Pb, Ni, Zn. В качестве ПДК принимались наиболее жесткие из следующих нормативов: приказ № 20 от 18.01.2010, разработанный для водных объектов рыбохозяйственного назначения, и ГН 2.1.5.1315-03 – для объектов культурно-бытового водопользования. Микробиологические исследования воды включали определение – КМАФАнМ, БГКП, БГКП фекальные, *Pseudomonas aeruginosa*. Доля неблагоприятных по микробиологическим показателям проб варьирует в зависимости от сезона года, достигая 94 %. По лимитирующему показателю вредности (ЛПВ) 98% проб не отвечают требуемым нормативам. В реках, в концентрациях, превышающих ПДК, присутствуют вещества 1–2 классов опасности – мышьяк, кадмий, свинец, никель, стронций, селен, барий, нитриты. За время мониторинга в речных водах не выявлены бериллий, ртуть, фенолы, хром, линдан и ДДТ. Кроме того, во всех пробах, за исключением р. Джемуха в Железноводске, показатели радиационной безопасности не превышают установленные нормы.

Экотоксикологический мониторинг помимо определения валовых форм тяжелых металлов, включал отбор проб на долгоживущие техногенные радионуклиды – ^{137}Cs и ^{90}Sr . На каждом исследуемом участке отбиралось по две параллельные пробы почвы на открытых участках с ровной поверхностью из верхнего 10-сантиметрового слоя, в котором сосредоточено около 90% активности, обусловленной выпадениями из атмосферы. Отбор проводился на регламентируемых функциональных зонах (ФЗ). Определения ^{90}Sr проводились методом измерения активно-

Город	Количество проб, %						
	¹³⁷ Cs, Бк/кг			⁹⁰ Sr, Бк/кг			
	0-22	22-44	44-220	0-10	10-20	20-65	65-120
Ессентуки	отс.	22	78	отс.	отс.	63	37
Железноводск	отс.	отс.	100	отс.	17	отс.	83
Кисловодск	7	83	19	24	47	18	12
Пятигорск	отс.	14	86	отс.	12	20	68

Таблица 3.

Процентное содержание проб почв по концентрациям в них радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr

сти радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». Определения ¹³⁷Cs осуществлялось согласно ГОСТ 54038-2010 с использованием сцинтилляционного гамма спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». Как показали результаты мониторинга, максимальные концентрации радионуклидов зафиксированы в почвах Железноводска, где их средние значения превосходят аналогичные показатели по РФ в 4 раза по ¹³⁷Cs и в 13 раз – по ⁹⁰Sr. Минимальные концентрации ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr характерны для почв Кисловодска. Содержание радионуклидов варьирует в широких пределах: для ⁹⁰Sr – от 2 до 108 Бк/кг, ¹³⁷Cs – от 7 до 60 Бк/кг. Максимальные концентрации ⁹⁰Sr в почве несколько выше, чем ¹³⁷Cs. Средние концентрации, установленные в почвах курортов КМВ, превышают аналогичные показатели по России. Превышение по ¹³⁷Cs составляет в Кисловодске – 1,4 раза; Ессентуках – 2,5 раз; Пятигорске – 3,2 раза; Железноводске – 4 раза. Аналогичное превышение по ⁹⁰Sr еще выше, в Кисловодске – 3,6 раз; Ессентуках – 8,9 раз; Пятигорске – 10 раз; Железноводске – 13 раз.

Поскольку в России отсутствуют ПДК радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в почвах, при оценке загрязнения и построении карт принимались следующие значения:

- допустимому уровню соответствуют средние по РФ значения – ¹³⁷Cs ≤ 22 Бк/кг, ⁹⁰Sr ≤ 7 Бк/кг;
- умеренно опасный уровень загрязнения принимался при повышении концентрации в 3 раза: 22 < ¹³⁷Cs < 66 Бк/кг, 7 < ⁹⁰Sr < 21 Бк/кг;
- опасный, при повышении концентраций в 10 раз: 66 < ¹³⁷Cs < 220 Бк/кг, 21 < ⁹⁰Sr < 70 Бк/кг;
- чрезвычайно опасный при повышении концентраций более чем в 10 раз: для ¹³⁷Cs > 220, ⁹⁰Sr > 70 Бк/кг.

В качестве примера приведены схематические карты эколого-радиогеохимического зонирования территории Железноводска по уровню загрязнения почв ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr (рис. 1, 2).

Наибольшее содержание ¹³⁷Cs на курортах КМВ (60–121 Бк/кг) отмечается в почвах производственной, сельскохозяйственной и рекреаци-

онной зон, ⁹⁰Sr (108–118 Бк/кг) в рекреационной и сельскохозяйственной зонах. Минимальные концентрации ¹³⁷Cs (26–62 Бк/кг) зафиксированы в зоне специального назначения, водоохранной и сельскохозяйственной ФЗ, ⁹⁰Sr (7–11 Бк/кг) в общественно-деловой зоне (ОДЗ), транспортной и зоне специального назначения.

Поскольку загрязненная долгоживущими техногенными радионуклидами почва является источником облучения растений, приуроченность максимальных их концентраций к зонам сельскохозяйственного назначения может стать причиной загрязнения урожая и способствовать внутреннему облучению населения.

Большая часть почв курортов Ессентуки, Пятигорск и Железноводск по концентрации в них ¹³⁷Cs соответствует опасному уровню загрязнения (78, 86 и 100%) проб, соответственно. В Кисловодске по данному показателю значительная часть территории соответствует умеренно опасной (83% всех проб). По содержанию в почвах ⁹⁰Sr в Ессентуках превалирует опасный (63%), в Пятигорске – 68%, в Железноводске – чрезвычайно опасный (83%), в Кисловодске – умеренно опасный (47% всех проб) уровень загрязнения почв (табл. 3).

Оценка степени химического загрязнения почв осуществлялась по показателю загрязнения $K_{почвы}$. Расчет $K_{почвы}$ выполнялся по 6 веществам – As, Hg, Cd, Pb, Ni, Zn, концентрации которых приводились к их ПДК. Полученный аналитический материал был подвергнут статистической обработке и сгруппирован по функциональным зонам в программных пакетах *Microsoft Excel*. Почвенно-геохимическое картографирование выполнено в пакете *CorelDRAW X6*.

Данные исследования позволили установить пространственную структуру загрязнения городских территорий и степень их гигиенической опасности. Загрязнение почв курортов соответствует допустимой (23% всех проб), умеренно опасной (46%) и опасной категории (31%). Оценка степени эпидемической опасности почвы включала определение бактерий группы кишечной палочки (БГКП), энтерококков, патогенных бактерий, яиц гельминтов, личинок – Л куколок и К-мух. Можно констатировать, что по-

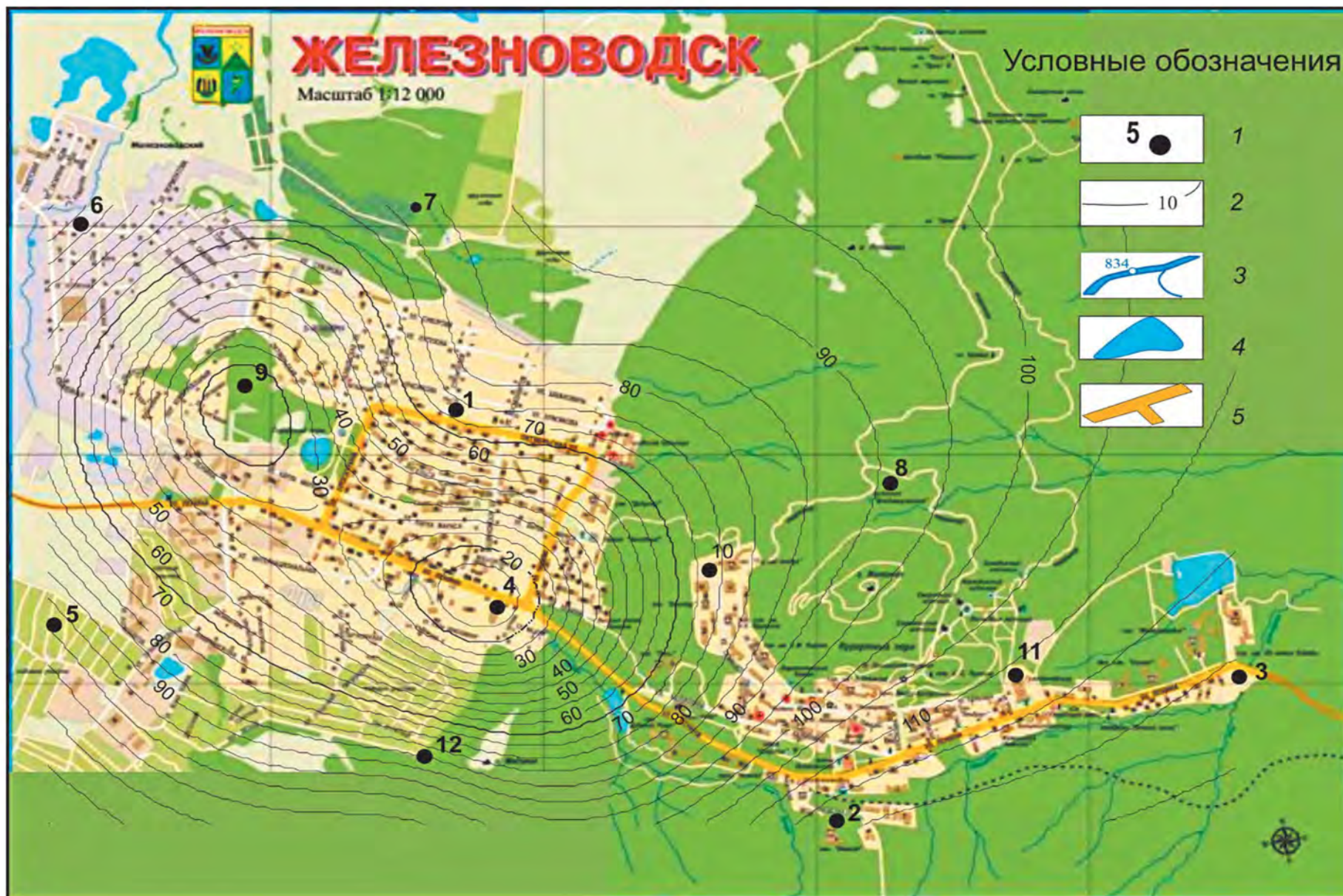


Рис. 1.
Карта концентрации ^{137}Cs в почвах Железноводска

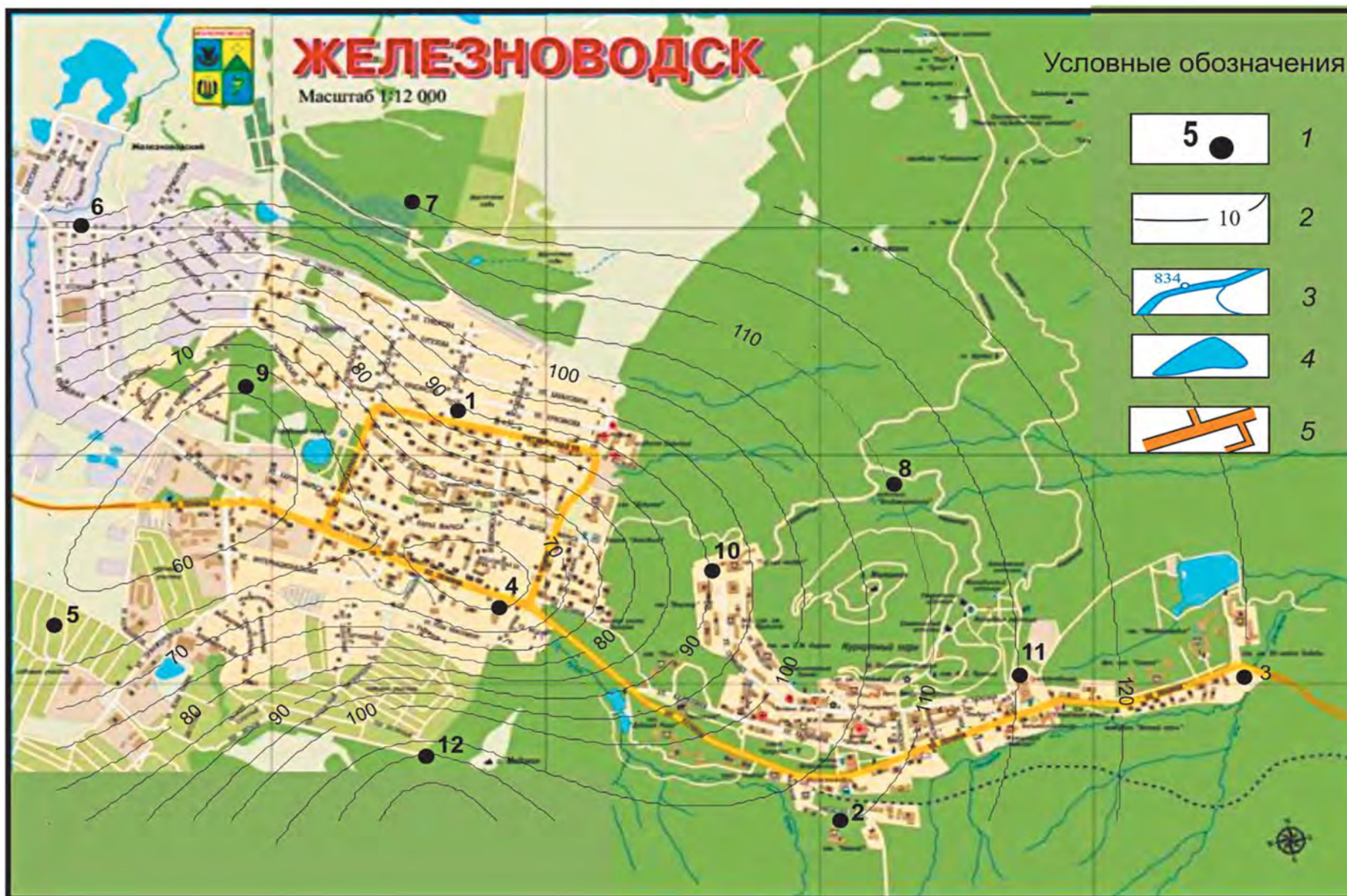


Рис. 2.
Карта концентрации ^{90}Sr в почвах Железноводска

Город	Коэффициент химического загрязнения (К)				ВАН
	$K_{\text{воздух}}$	$K_{\text{вода}}$	$K_{\text{почва}}$	$K_{\text{рад}}$	
Кисловодск	3,39 (11%)	19,93 (64%)	2,93 (9%)	5,08 (16%)	8
Ессентуки	2,91* (8%)	19,19 (54%)	1,69 (5%)	11,45 (32%)	9
Железноводск	2,67* (8%)	11,74 (35%)	2,58 (8%)	16,94 (50%)	9
Пятигорск	3,06 (8%)	19,52 (53%)	2,49 (7%)	12,11 (33%)	9

* расчет осуществлен по фоновым концентрациям ЗВ, для городов где отсутствуют регулярные наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха

Таблица 4.

Оценка комплексной величины антропогенной нагрузки (ВАН) на территорию курортов КМВ по данным мониторинга за 2010–2016 гг.

чвы на территории курортов в 60–80% проб (по разным городам) не соответствуют требованиям санитарно-эпидемиологических правил и нормативов. Индекс БГКП превышен в 10–100 и более раз, индекс энтерококков – в 10 и более раз.

В качестве количественной характеристики основных факторов экологического состояния среды, определяющих реальную нагрузку на организм человека, автор предлагает использовать величину комплексной антропогенной нагрузки (ВАН) на окружающую среду. В данной формуле показатели загрязнения различных сред приводятся к их предельно допустимым концентрациям (ПДК) либо, в случае их отсутствия – к ориентировочно допустимым концентрациям (ОДК). Нормативы ПДК и ОДК разработаны на основе комплексных экспериментальных исследований опасности опосредованного воздействия вещества на здоровье человека, с учетом его токсичности, эпидемиологических исследований и международного опыта нормирования. Основным недостатком гигиенических нормативов ПДК и ОДК для почв является незначительное число загрязняющих веществ, для которых они разработаны. Так ГН 2.1.7.2041-06 [19] лимитирует валовое содержание ПДК 30 химических веществ, а ГН 2.1.7.2511-09 [20] ОДК – всего 7 элементов. В результате допустимые концентрации в почве для таких загрязняющих веществ как бериллий, барий, бор, висмут, молибден, олово, селен, стронций, отсутствуют. Учитывая специфику и народнохозяйственное значение, а также запреты, действующие в 1 и 2 зонах санитарной охраны городов-курортов КМВ, для них должны быть разработаны специальные нормативы ПДК (ОДК), либо применяться поправочные коэффициенты, как это сделано для атмосферы. Расчет величины комплексной антропогенной нагрузки (ВАН) на окружающую среду следующий:

$$ВАН = (K_{\text{атм}} + K_{\text{вод}} + K_{\text{почвы}} + K_{\text{рад}}) / N, \quad (1)$$

где $K_{\text{атм}}$ – показатель загрязнения атмосферы; $K_{\text{вод}}$ – показатель загрязнения поверхностных

вод; $K_{\text{почвы}}$ – показатель загрязнения почв; $K_{\text{рад}}$ – показатель радиационного загрязнения; N – число единиц, соответствующих количеству учтенных пофакторных оценок.

$$K_{\text{атм}} = \left(\frac{C_1}{k \cdot \text{ПДК}_{C_1}} + \frac{C_2}{k \cdot \text{ПДК}_{C_2}} + \frac{C_n}{k \cdot \text{ПДК}_{C_n}} \right), \quad (2)$$

где $C_{1,n}$ – среднесуточные концентрации ЗВ, измеряемых в атмосферном воздухе; $\text{ПДК}_{C_1, C_n}$ – среднесуточная ПДК ЗВ; k – поправочный коэффициент 0,8, данное требование прописано для зон санитарной охраны курортов [17].

$$K_{\text{вода}} = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n}, \quad (3)$$

$C_{1,n}$ – фактические концентрации химических веществ, нормируемых по токсикологическим и органолептическим показателям; $\text{ПДК}_{1,n}$ – ПДК химических веществ, нормируемых по токсикологическим и органолептическим показателям.

$$K_{\text{почвы}} = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n}, \quad (4)$$

где $C_{1,n}$ – фактические концентрации нормируемых химических веществ; ПДК_n – ПДК химических веществ.

Для расчета $K_{\text{рад}}$ предлагается использовать концентрации в почвах долгоживущих радионуклидов, входящих в состав наиболее массивных радиоактивных загрязнений – ^{137}Cs и ^{90}Sr . Вклад почвы в суммарное облучение человека может превышать 60% [21]. Поскольку почвы являются системой менее динамичной и более буферной, чем атмосферный воздух, и при определенных условиях, характерных для курортной территории КМВ, обладают способностью аккумулировать загрязняющие вещества, то степень и характер их загрязнения можно использовать как индикатор состояния приземных слоев воздуха. Показатель радиационного загрязнения почв территории предлагается рассчитывать по формуле:

$$K_{\text{рад}} = \frac{C_1}{C_{1,\text{срРФ}}} + \frac{C_2}{C_{2,\text{срРФ}}} + \dots + \frac{C_n}{C_{n,\text{срРФ}}}, \quad (5)$$

где $C_{1,n}$ – фактические концентрации долгоживущих радионуклидов; $C_{1,\text{срРФ}}$ – средние по РФ концентрации данных радионуклидов в почве.

Согласно предложенной методике, исходя из значения ВАН, экологическое состояние территории можно дифференцировать как:

- удовлетворительное (ВАН ниже или равна числу учетных факторов N);
- напряженное ($N < \text{ВАН} \leq 2N$);
- критическое ($2N < \text{ВАН} \leq 3N$);
- катастрофическое ($\text{ВАН} > 3N$).

По ВАН экологическое состояние территории городов КМВ – напряженное (Кисловодск) и критическое (Ессентуки, Пятигорск, Железноводск). Наибольший вклад в комплексную антропогенную нагрузку курортов Кисловодск, Ессентуки и Пятигорск вносит загрязнение поверхностных вод – 53–64%; на втором месте – загрязнение долгоживущими радионуклидами – 16–33%. В Железноводске долевой вклад радиационного загрязнения максимален – 50%; на втором месте – загрязнение рек 35% (табл. 4).

Помимо курортов КМВ величина комплексной антропогенной нагрузки (ВАН) была рассчитана для 26 крупных и крупнейших промышленных городов РФ. Расчеты выполнялись по изложенной выше методике. Получены следующие результаты.

Среди анализируемых городов отсутствуют те, чья ВАН ≤ 4 .

К городам с напряженным ЭС ($4 < \text{ВАН} \leq 8$) относятся Архангельск, Воронеж, Ижевск, Йошкар-Ола, Казань, Оренбург, Нижний Новгород, Самара, Санкт-Петербург, Томск.

Города с критическим ЭС, где ($8 < \text{ВАН} \leq 12$) – Барнаул, Волгоград, Екатеринбург, Иркутск, Кемерово, Москва, Омск, Новосибирск, Пенза, Пермь, Саратов, Тольятти, Ульяновск, Уфа, Челябинск.

К городам с катастрофическим ЭС, с ВАН > 12 относится Владивосток.

Комплексная оценка величины антропогенной нагрузки, предложенная в данной работе, позволяет не только оценить экологическое состояние территории в целом, выделить наиболее неблагоприятные природные среды, оценить вклад каждой среды в комплексное загрязнение, но и оценивает воздействие данной территории на здоровье населения. 

Литература

1. ВОЗ. Десять самых опасных химических веществ. Доступно на: http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/chemicals_phc/ru/ (обращение 02.10.2018).
2. Рустамбекова С.А., Барабошкина Т.А. Микроэлементозы и факторы экологического риска. М.: Университетская книга, Логос. 2006. 112 с.
3. IARC. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Some metals and Metallic Compounds. Lyon, 1980. Vol. 23. 325 p.
4. Савельева Г.М., Кулаков В.И., Стрижаков А.Н. и др. Акушерство: Учебник / Под ред. Г.М. Савельевой. М.: Медицина. 2000. 816 с.
5. Бандажевский Ю.И. Патологические процессы в организме при инкорпорации радионуклидов. Минск: Белрад. 2002. 142 с.
6. ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. М.: Минздрав РФ. 2018.
7. 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.
8. СанПин 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. М.: Минздрав России. 2003. 9 с.
9. Помеляйко И.С. Экологические проблемы городов-курортов региона Кавказских Минеральных Вод (на примере курорта Кисловодск) // Недропользование XXI век. 2013. № 5. С. 54–61.
10. Помеляйко И.С. Оценка радиационного гамма-фона и величины концентрации долгоживущих техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах городов-курортов Кавказских Минеральных Вод // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2017. № 5. С. 64–72.
11. Помеляйко И.С. Анализ экологического состояния ряда природных сред отдельных городов РФ // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геохронология. 2018. № 2. С. 61–73.
12. Справка о состоянии загрязнения атмосферного воздуха в Кисловодске и Пятигорске за 1994–2016 г. СПб: НПК «Атмосфера». 2017. 30 с.
13. Справка о концентрациях загрязняющих веществ в г. Ессентуки в 2016 г. Ставрополь: Росгидромет. 2016. 1 с.
14. Справка о концентрациях загрязняющих веществ в г. Железноводск в 2016 г. Ставрополь: Росгидромет. 2016. 1 с.
15. Основные показатели охраны окружающей среды: статистический бюллетень. М.: Росстат. 2013. 112 с.
16. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. М.: Стандартинформ. 2005. 3 с.
17. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М.: Минздрав СССР. 1991. 12 с.
18. Помеляйко И.С., Коваленко Н.Н. Статус курорта федерального значения – привилегия или кара? / Техногенные процессы в гидролитосфере: Сб. статей 2 национального научного форума «Нарзан-2013». Пятигорск: РИА-КМВ. 2013. С. 187–214.
19. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2006.
20. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти № 14121 от 23.06.2009.
21. Габлин В.А. Радиационная оценка объектов литомониторинга на урбанизированных территориях. Теория и методы: Автореф. дис. д-ра геол.-мин. наук. М. 2014. 46 с.

The Concentration of a Series of Substances 1-2 Class of Hazards and Long-living Technogenic Radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in Natural Environments of the City-resorts of the Region of the Caucasian Mineral Waters

Abstract. In the article, based on the research of WHO specialists, IARC and regulatory documents in force on the territory of the Russian Federation, extremely hazardous chemical substances that adversely affect human health. These include benzopyrene, Be, Hg, Cd, As, Pb, Ni, Zn, nitrite. Most of them have a miscarriage of action, when already, with insignificant amounts, the cumulative effect of induced mutagenesis may occur. In addition to these substances, ionizing radiation has a negative effect on the human body. In particular, radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr contribute to the development of congenital malformations, fertility decline, immunity deficit, growth of tumor and leukemia frequency, embryo toxic effect, etc. Concentrations of these substances are regularly measured in the natural environments of the resorts of the CMW. Monitoring has been carried out since 2010 and includes systematic sampling of soils, surface and groundwater of the resorts of the CMW for chemical, microbiological and radiological analyzes. In addition, information on the pollution of the resort atmosphere is analyzed. These studies made it possible to establish the spatial structure of pollution in urban areas and the degree of their hygienic danger. As a quantitative characteristic of the main factors of the ecological state of the environment, which determine the real load on the human body, the author suggests the magnitude of the complex anthropotechnogenic load (VAN) on the environment. According to the proposed methodology, based on the VAN value, the ecological status of the territory can be differentiated as satisfactory, tense, critical, and catastrophic. The ecological state of the territory of the CMW cities is strained ($\text{VAN} > 8$). The greatest contribution to the complex anthropotechnogenic load of the resorts is caused by pollution of surface waters and pollution by long-lived radionuclides.

Keywords: extremely dangerous chemical substances; human health; ecological monitoring; CMW resorts; ecological status; magnitude of complex anthropotechnogenic load (VAN).

References

1. VOZ. Desiat' samykh opasnykh khimicheskikh veshchestv [WHO. The ten most dangerous chemicals]. Available at: http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/chemicals_phc/ru/ (accessed 2 October 2018).
2. Rustambekova S.A., Baraboshkina T.A. Mikroelementozy i faktory ekologicheskogo riska [Microelementoses and environmental risk factors]. Moscow, Universitetskaya kniga, Logos Publ., 2006, 112 p.
3. IARC. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Some metals and Metallic Compounds. Lyon, 1980. Vol. 23. 325 p.
4. Savel'eva G.M., Kulakov V.I., Strizhakov A.N. Akusherstvo [Obstetrics]. Edited by G.M. Savel'eva. Moscow, Meditsina Publ., 2000, 816 p.
5. Bandazhevskii Iu.I. Patologicheskie protsessy v organizme pri inkorporatsii radionuklidov [Pathological processes in the body during the incorporation of radionuclides]. Minsk, Belrad Publ., 2002, 142 p.
6. GN 2.1.6.3492-17 Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) zagriazniayushchikh veshchestv v atmosfernom vozdukh gorodskikh i sel'skikh poselenii [GN 2.1.6.3492-17 Maximum Permissible Concentrations (MPCs) of Pollutants in the Atmospheric Air of Urban and Rural Settlements]. Moscow, Minzdrav RF Publ., 2018.
7. GN 2.1.5.1315-03. Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov khoziaistvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniia [Hygienic standards GN 2.1.5.1315-03. The maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in the water of water bodies drinking-water and cultural and domestic water use.]. Moscow, Minzdrav RF Publ., 2003.
8. SanPiN 2.1.7.1287-03. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniia k kachestvu pochvy [SanPiN 2.1.7.1287-03. Sanitary and epidemiological requirements for soil quality]. Moscow, Minzdrav Rossii Publ., 2003, 9 p.
9. Pomel'iaiko I.S. Ekologicheskie problemy gorodov-kurortov regiona Kavkazskikh Mineral'nykh Vod (na primere kurorta Kislovodsk) [Environmental problems of resort cities in the region of the Caucasian Mineral Waters (on the example of the resort of Kislovodsk)]. Nedropa'zovanie XXI vek [Subsoil use of the XXI century], 2013, no. 5, pp. 54–61.
10. Pomel'iaiko I.S. Otsenka radiatsionnogo gamma-fona i velichiny kontsentratsii dolgozhivushchikh tekhnogennykh radionuklidov ^{137}Cs i ^{90}Sr v pochvakh gorodov-kurortov Kavkazskikh Mineral'nykh Vod [Evaluation of the radiation gamma background and the concentration of long-lived anthropogenic radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in the soils of the cities-resorts of the Caucasian Mineral Waters]. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka [Proceedings of higher educational institutions. Geology and exploration], 2017, no. 5, pp. 64–72.
11. Pomel'iaiko I.S. Analiz ekologicheskogo sostoiianiia riada prirodnykh sred ot del'nykh gorodov RF [Analysis of the ecological status of a number of natural environments in selected cities of the Russian Federation]. Geoekologiya, inzhenernaia geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya [Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology], 2018, no. 2, pp. 61–73.
12. Spravka o sostoianii zagriazneniia atmosfernogo vozdukh v Kislovodske i Piatigorske za 1994–2016 gg. [Information on the state of air pollution in Kislovodsk and Pyatigorsk from 1994–2016]. St. Petersburg, Atmosfera Publ., 2017, 30 p.
13. Spravka o kontsentratsiakh zagriazniayushchikh veshchestv v g. Essentuki v 2016 g. [Certificate of pollutant concentrations in Essentuki in 2016]. Stavropol, Rosgidromet Publ., 2016, 1 p.
14. Spravka o kontsentratsiakh zagriazniayushchikh veshchestv v g. Zheleznovodsk v 2016 g. [Certificate of pollutant concentrations in Zheleznovodsk in 2016]. Stavropol Rosgidromet Publ., 2016, 1 p.
15. Osnovnye pokazateli okhrany okruzhaiushchei sredy: statisticheskii biulleten' [Key Environmental Indicators: Statistical Bulletin]. Moscow, Rosstat Publ., 2013, 112 p.
16. GOST 17.2.3.01-86. Okhrana prirody. Atmosfera. Pravila kontrolya kachestva vozdukh naseleennykh punktov [GOST 17.2.3.01-86. Protection of Nature. Atmosphere. Rules of air quality control of settlements.]. Moscow, Standartinform Publ., 2005, 3 p.
17. RD 52.04.186-89. Rukovodstvo po kontroliu zagriazneniia atmosfery [RD 52.04.186-89. Atmospheric Pollution Control Guide]. Moscow, Minzdrav SSSR Publ., 1991, 12 p.
18. Pomel'iaiko I.S., Kovalenko N.N. Status kurorta federal'nogo znacheniiia – privilegii ili kara? [Is the status of a federal resort a privilege or a vindication?]. Tekhnogennye protsessy v gidrosfere [Collection of articles of the 2nd National Scientific Forum "Narzan-2013". Piatigorsk, RIA-KMV Publ., 2013, pp. 187–214.
19. GN 2.1.7.2041-06. Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve [GN 2.1.7.2041-06. The maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in the soil]. Moscow, Federal'nyi tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora Publ., 2006.
20. GN 2.1.7.2511-09. Orientirovachno dopustimye kontsentratsii (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve [GN 2.1.7.2511-09. Estimated permissible concentration (ODC) of chemicals in the soil]. Biulleten' normativnykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noi vlasti [Bulletin of normative acts of federal executive authorities] no. 14121, 23 June 2009.
21. Gablin V.A. Radiatsionnaia otsenka ob'ektov litomonitoringa na urbanizirovannykh territoriiakh. Teoriia i metody [Radiation assessment of litomonitoring facilities in urban areas. Theory and methods]. Thesis diss. of the doctor of geological and mineralogical sciences. Moscow, 2014, 46 p.