

5. Добровольский Г.В. Педосфера как оболочка высокой концентрации разнообразия жизни на планете Земля // Почвы в биосфере и жизни человека: монография. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. – С. 20–35.
6. Ермохин Ю.И. Отечественный и зарубежный опыт диагностики азотного питания растений и применения азотных удобрений: учеб. пособие. – Омск: ОмГАУ, 1999. – 80 с.
7. Заболоцкая Т.Г. Биологический круговорот элементов в агроценозах и их продуктивность. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. – 179 с.
8. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение / отв. ред. А.И. Сысо; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 220 с.
9. Назарюк В.М. Эколого-агрохимические и генетические проблемы регулируемых агроэкосистем. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 240 с.
10. Пат. №2480439. Российская Федерация, МПК C05F11/00. Состав для производства вермикомпоста на основе сосновой коры и куриного помета / О.А. Ульянова, Ю.П. Ковалева, В.В. Чупрова; ФГОУ ВПО КрасГАУ; заяв. 19.09.2011; опубл. 27.04.2013.
11. Романова И.П. Структура надземной и подземной фитомассы и ее связь с почвенным органическим веществом в Туве (на примере Убсунурской котловины): автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Томск, 2002. – 23 с.
12. Савич В.И. Варьирование свойств почв во времени и пространстве // Докл. ТСХА. – 1971. – Вып. 162. – С. 111–115.
13. Соколов М.С. Актуальные задачи оздоровления почв России // Почвы в биосфере и жизни человека: монография. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. – С. 356–385.
14. Тейт Р. Органическое вещество почвы: биологические и экологические аспекты: пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 400 с.
15. Титов И.Н. Дождевые черви. Руководство по вермиккультуре. Ч. 1. Компостные черви. – М., 2012. – 284 с.
16. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.
17. Чупрова В.В., Ерохина Н.Л., Александрова С.В. Запасы и потоки азота в агроценозах Средней Сибири / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2006. – 171 с.



УДК 631.41

С.В. Овсянникова, В.П. Середина

РЕГИОНАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВ КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА ПО НАКОПЛЕНИЮ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

В статье представлен статистический анализ содержания и динамики накопления подвижных форм тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Fe, Cr) на опорных пунктах мониторинга в пределах Кузнецкой котловины. Установлены тренды их изменения.

Ключевые слова: мониторинг, тяжелые металлы, почва, загрязнение, Кузнецкий угольный бассейн.

S.V. Ovsyannikova, V.P. Seredina

REGIONAL MONITORING OF THE KUZNETSK COAL FIELD SOILS ON THE ACCUMULATION OF THE HEAVY METAL MOBILE FORMS

The statistical analysis of the contents and dynamics of the mobile forms accumulation of heavy metal (Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Fe, Cr) on the monitoring base stations within Kuznetsk Hollow is presented in the article. The trends of their change are established.

Key words: monitoring, heavy metals, soil, pollution, Kuznetsk coal field.

Введение. Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами является в настоящее время одним из самых серьезных экологических факторов, влияющих на состояние биосферы [1, 2, 3, 4]. Тяжелые металлы (ТМ), попадая в почву в результате антропогенного воздействия, накапливаются там, многократно превышая фоновый уровень, и не только снижают продуктивность почв, но и включаются в биологические цепи в количествах, превышающих необходимые потребности в них живых организмов [5, 6].

При добыче полезных ископаемых основными источниками загрязнения почв тяжелыми металлами могут быть карьеры и шахты, «пустая порода» в отвалах и хвостохранилищах, запыление атмосферы и окружающих территорий, сточные воды (включая шахтные) [7]. Эта проблема особенно остро стоит для территории Кемеровской области, входящей в состав Кузнецкого угольного бассейна, что связано с интенсивным развитием горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, и, как следствие, проявлением процессов деградации и загрязнения почв ТМ, а в некоторых случаях и полного уничтожения почвенного покрова с образованием техногенных ландшафтов.

Детального обследования почв по загрязнению тяжелыми металлами на территории Кузбасса не проводилось. В конце прошлого века был исследован почвенный покров в районах крупных промышленных городов, в результате которого установлены очаги загрязнения почв некоторыми тяжелыми металлами. Наибольшее загрязнение почв тяжелыми металлами в области характерно для зон влияния таких городов, как Новокузнецк, Киселевск, Осинники, где показатели суммарного загрязнения почв соответствуют третьему (опасному) и четвертому (чрезвычайно опасному) уровням [8]. В настоящее время особую актуальность приобретает изучение масштабов поступления ТМ на поверхность почвы и загрязнение ее токсикантами в пределах всего региона. Вместе с тем предупреждение негативных последствий техногенного воздействия на почвы и почвенный покров возможно лишь на основе периодических наблюдений и контроле – мониторинге почв.

Объекты и методы исследований. Объектами регионального мониторинга земель (РМЗ) явились наиболее распространенные типы и подтипы почв в пределах Кузбасса: серые и темно-серые лесные почвы, черноземы выщелоченные и оподзоленные, лугово-черноземные, черноземно-луговые почвы. Базовые площадки мониторинга закладывались во всех природно-климатических зонах исследуемой территории с учетом рельефа, почвенного покрова, производственно-технологических условий с тем, чтобы максимально учесть многообразие антропогенных факторов, влияющих на накопление тяжелых металлов в почвах. Исследования проводились на мониторинговых площадках пяти опорных пунктов: «Кемеровский» и «Топкинский», характеризующие подзону лесостепи Кузнецкой котловины; «Ленинск-Кузнецкий» и «Беловский», характеризующие островную лесостепь, степное ядро Кузнецкой котловины; «Новокузнецкий», характеризующий зону лесостепи предгорий.

Мониторинговые исследования были проведены согласно положению «О мониторинге земель», утвержденному Постановлением РФ №491 от 15.07.1992 г., а также по программе выполнения регионального мониторинга земель (РМЗ) Кемеровской области в 1995–2005 гг. На каждом опорном пункте было организовано от 1 («Топкинский») до 7 («Беловский») наблюдательных площадок (всего 30). Измерения были проведены в 669 контрольных точках в пять этапов – в 1995, 1999, 2005, 2010, 2013 гг. На базовых площадках в каждой контрольной точке из верхних горизонтов почв (0–30 см) были отобраны почвенные образцы для определения в них содержания подвижных форм следующих тяжелых металлов: Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ni, Co, Fe, Cr. Подвижные формы ТМ вытеснялись ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8, после чего в вытяжке и минерализате определялось содержание ТМ атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре AS-3 с использованием рекомендаций [9, 10].

Математическая обработка результатов исследований, включающая расчет статистических показателей [11, 12, 13], была выполнена с использованием компьютерных программ Microsoft Excel и Statistica. Поскольку проведенная статистическая оценка исходных данных показала, что большинство выборок не имеет нормального распределения, то при оценке уровня содержания химических элементов нами была использована медиана, а не средний показатель.

Результаты исследований и их обсуждение. В соответствии с исследованиями Г.В. Мотузовой [14] под химическим загрязнением почв следует понимать накопление в почве химических веществ антропогенного происхождения в таких количествах, которые представляют опасность для живых организмов. Опасная ситуация создается тогда, когда химические вещества в почве накапливаются в составе подвижных соединений, которые могут непосредственно усваиваться растениями на месте загрязнения, либо переходить в состав атмосферы или гидросферы, а затем поступать в живые организмы. В связи с этим особое значение при изучении элементов-токсикантов в почве приобретают сведения об их подвижных формах.

Анализ содержания подвижных форм ТМ в исследуемом регионе позволил установить, что за 18-летний период исследований (1995–2013 гг.) концентрация металлов в целом увеличивается (табл. 1), а в некоторых случаях превышает предельно допустимые значения, в частности, концентрация меди к 2013 г. составила 5,21 мг/кг, что в 1,74 раза превышает ПДК (3 мг/кг).

**Динамика содержания подвижных форм тяжелых металлов в поверхностном слое почв
Кемеровской области**

Год исследования	Содержание металлов, мг/кг								
	Cu	Cd	Co	Ni	Cr	Zn	Pb	Fe	Mn
1995	0,25	0,15	0,43	0,83	1,67	1,70	1,39	5,74	24,11
1999	0,08	0,15	0,60	1,01	0,77	1,27	1,36	5,51	64,93
2005	0,04	0,25	0,95	1,58	0,58	1,60	2,15	3,17	33,62
2010	0,34	0,21	1,32	2,54	1,38	3,69	2,10	51,90	24,99
2013	5,21	0,18	0,74	2,13	1,42	2,34	1,99	38,73	27,58

Отмеченная тенденция динамики подвижных форм ТМ носит предварительный характер и дает возможность оценить ситуацию в целом. Однако, если все изученные ТМ расположить в порядке увеличения уровня приоритетности, то можно видеть значительные колебания их численных значений: от долей мг/кг для Cu, Cd, Co до десятков мг/кг для Mn и Fe. Такой размах не позволяет адекватно оценить загрязнение почв, поскольку «вклад» отдельно взятого металла в суммарное значение неравнозначен. Кроме того, ТМ в значительной степени различаются по токсическому воздействию на организм человека. В соответствии с исследованиями Г.В. Мотузовой [15] и нормативной документацией [16] по своей гигиенической опасности токсические химические элементы разделены на три класса: I класс (высокоопасные) – мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор; II класс (умеренно опасные) – бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром; III класс (малоопасные) – барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций. С этих позиций была проанализирована динамика содержания тяжелых металлов в почвах за 18-летний период.

В группе высокоопасных тяжелых металлов наблюдались следующие закономерности (рис. 1): в первый период мониторинговых исследований (с 1995 по 1999 г.) количество Pb и Cd оставалось практически на одном и том же уровне, в то время как содержание Zn снизилось на 25,3 %. Однако, если за точку отсчета взять 1999 г., то в последующие 5 лет (к 2005 г.) для всех трех ТМ наблюдается явное повышение их концентрации в почвах: Cd – в 1,7 раза, Zn – в 1,3, Pb – в 1,6 раза.

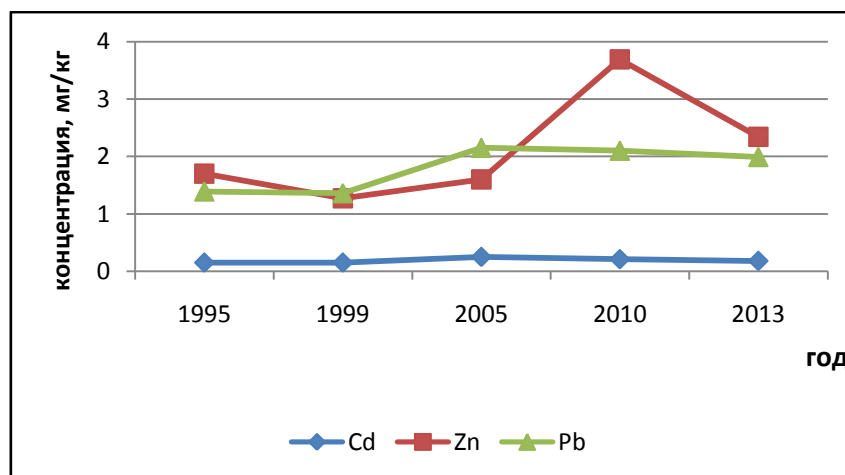


Рис. 1. Динамика накопления в почвах Кузбасса высокоопасных тяжелых металлов

В период с 2005 по 2013 г. в тенденции изменения концентрации Pb и Cd наблюдается снижение их содержания в 1,1 и 1,4 раза соответственно, чего нельзя сказать о Zn, содержание которого в период с 2005 по 2010 г. резко возросло в 2,3 раза и к 2013 г. снизилось на 36,6 %, но все же превышает первоначальный уровень (1995 г.) в 1,4 раза. В целом содержание Cd, Zn и Pb не превышает предельно допустимых значений [17].

В динамике группы умеренно опасных загрязнителей отмечаются следующие тенденции (рис. 2): концентрация Cu к 2005 г. снизилась в 6,3 раза, а концентрация Cr – в 2,9 раза. К 2013 г. наблюдается обратная картина: концентрация Cr увеличилась в 2,4 раза, что на 59,1 % превысило содержание в 2005 г., а концен-

трация Cu – в 130,25 раз (!) (на 99,2 %), составив 5,21 мг/кг при уровне допустимого ПДК в почве 3 мг/кг. Что касается Co и Ni, то для них характерна устойчивая тенденция к накоплению в поверхностном слое почвы. За период наблюдений с 1995 по 2010 г. концентрация Co увеличилась на 67,4 %, Ni – на 67,3 %. За следующий период (2010–2013 гг.) количество Co в почве снизилось на 43,9 %, а Ni – на 16,1 %.

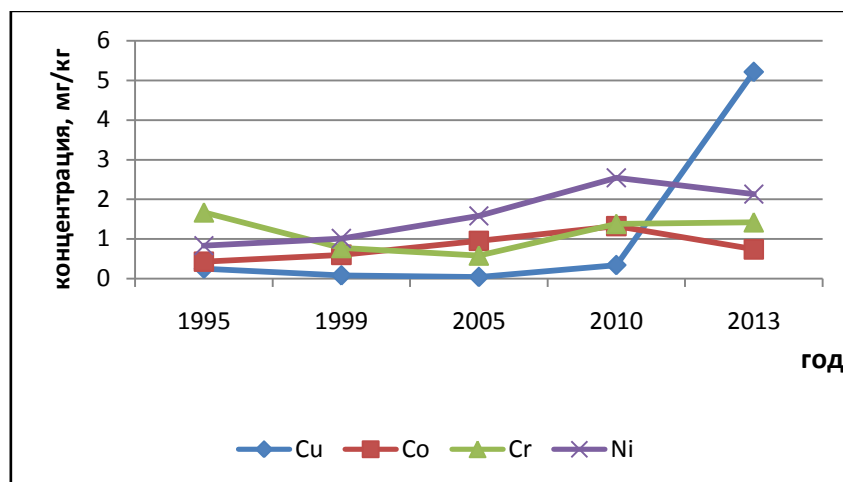


Рис. 2. Динамика накопления в почвах Кузбасса умеренно опасных тяжелых металлов

Таким образом, содержание кобальта и хрома в почвах Кузбасса не превышает ПДК, не вызывая тем самым беспокойства. Однако следует обратить особое внимание на значительное концентрирование в почвах никеля, ПДК которого составляет 4 мг/кг, и принять меры относительно меди, концентрация которой превышает предельно допустимые значения в 1,74 раза.

Анализ металлов, относящихся к группе малоопасных (рис. 3), показал, что содержание Fe в почве за период с 1995 по 2005 г. имеет тенденцию к снижению: за 10 лет концентрация Fe уменьшилась в 1,9 раза. Однако в последующие 5 лет произошло резкое его увеличение на 93,9 %, что в 16,4 раза превысило содержание в 2005 г. К концу исследований концентрация Fe незначительно уменьшилась в 1,3 раза. Кривая распределения Mn в различные сроки наблюдений свидетельствует о его значительном накоплении (более чем в 2,5 раза) к концу первого этапа мониторинговых исследований. В этот период концентрация Mn в почве превысила нижний уровень ПДК, который составляет 60 мг/кг. В последующие сроки вынос Mn из почвы стал преобладать над его поступлением, и к 2013 г. концентрация Mn снизилась в 2,4 раза и приблизилась к уровню 1995 г.

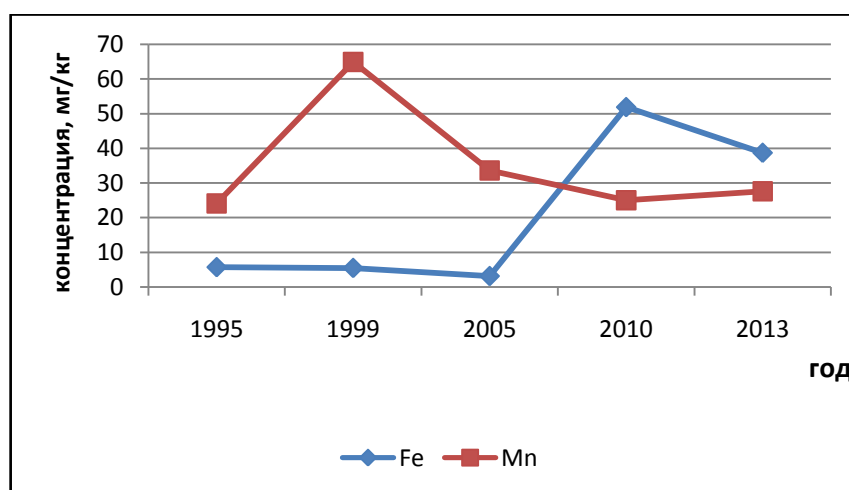


Рис. 3. Динамика накопления в почвах Кузбасса малоопасных тяжелых металлов

В вышеприведенном анализе были использованы средние значения медиан, полученные при исследовании почв по пяти опорным пунктам и показывающие общую направленность изменения ТМ в почвах Кузнецкого угольного бассейна. Однако для того, чтобы выявить степень загрязнения почв отдельных районов, необходимо проанализировать данные по содержанию ТМ на мониторинговых площадках отдельно взятых опорных пунктов (табл. 2).

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в поверхностном слое почв опорных пунктов

Опорный пункт	Концентрация, мг/кг								
	Cu	Cd	Co	Ni	Cr	Zn	Pb	Fe	Mn
Ленинск-Кузнецкий	0,17	0,18	0,73	1,13	1,41	1,98	2,24	11,95	41,65
Кемеровский	0,22	0,18	0,88	1,64	1,05	1,67	1,67	28,22	35,87
Беловский	0,12	0,20	0,88	1,58	0,92	2,77	1,81	30,25	32,9
Топкинский	0,22	0,23	0,81	1,38	1,45	1,79	1,97	11,67	35,56
Новокузнецкий	1,62	0,21	0,89	1,70	1,50	2,55	1,68	28,03	41,45
В среднем	0,47	0,20	0,84	1,49	1,27	2,15	1,87	22,0	37,50

Чтобы корректно проанализировать долю зоны влияния каждого опорного пункта в общем загрязнении тем или иным тяжелым металлом, был рассчитан индивидуальный коэффициент загрязненности токсикантом (K_z) (отношение концентрации металла в почвах опорного пункта к концентрации металла в почвах в среднем по области) (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты загрязненности тяжелыми металлами почв различных опорных пунктов

Опорный пункт	Коэффициент загрязненности							
	Cu	Cd	Co	Ni	Cr	Zn	Pb	Mn
Ленинск-Кузнецкий	1,58	0,54	1,84	1,88	1,86	1,89	0,77	0,84
Кемеровский	1,75	0,42	2,31	2,94	1,22	2,08	0,68	0,86
Беловский	3,73	0,73	1,74	1,91	1,57	1,24	0,66	0,68
Топкинский	5,04	0,67	2,40	2,04	1,44	1,34	0,67	0,79
Новокузнецкий	12,58	0,66	2,35	2,28	1,50	3,15	0,61	0,94

Применение данного коэффициента удобно тем, что он показывает во сколько раз концентрация токсиканта в почвах опорного пункта выше или ниже среднего значения этого показателя по области в целом. Оценивая степень загрязнения почв отдельных опорных пунктов подвижными формами тяжелых металлов с помощью данного коэффициента, можно расположить их в следующий возрастающий ряд: «Ленинск-Кузнецкий», «Кемеровский», «Беловский», «Топкинский», «Новокузнецкий».

Заключение. Полученные результаты на базе сети мониторинговых площадок, расположенных во всех почвенно-климатических зонах Кемеровской области и приуроченных к пяти опорным пунктам, позволили охарактеризовать поведение подвижных форм тяжелых металлов, относящихся к 3 основным группам токсикантов: высокоопасные (Pb, Cd, Zn), умеренно опасные (Cu, Ni, Co, Cr), малопасные (Mn, Fe,). При этом в ходе многолетних (в течение 18 лет) мониторинговых наблюдений в период с 1995 по 2013 г. концентрация металлов в целом увеличивается, а в некоторых случаях превышает предельно допустимые значения, в частности, средняя концентрация меди к 2013 г. в почвах исследованной территории составила 5,21 мг/кг, что в 1,74 раза превышает ПДК (3 мг/кг). В ходе мониторинговых исследований выявлено, что по наиболее вредным для организма человека тяжелым металлам (особо опасным и умеренно опасным токсикантам) неблагополучными являются территории, на которых расположены мониторинговые площадки опорных пунктов «Новокузнецкий» и «Ленинск-Кузнецкий».

Литература

1. Глазовская М.А. Геохимия природных и антропогенных ландшафтов: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 350 с.
2. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв. – М.: Академ. проект, 2007. – 237 с.
3. Садовникова Л.К. Экология окружающей среды при химическом загрязнении: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 2008. – 334 с.
4. Загрязнение почв выбросами предприятий цветной металлургии / Ю.Н. Водяницкий, И.О. Плеханова, Е.В. Прокопович [и др.] // Почвоведение. – 2011. – № 2. – С. 240–249.
5. Сысо А.И., Ильин В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 226 с.
6. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 274 с.
7. Орлов Д.С., Василевская В.Д. Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 272 с.
8. О состоянии окружающей природной среды Кемеровской области в 1999 году: докл. Государственного комитета по охране окружающей среде Кемеровской области [Электронный ресурс] // <http://www.admnkz.ru>.
9. Майстренко В.Н., Химитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг супертоксиантов. – М.: Химия, 1996. – 316 с.
10. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест [Электронный ресурс] // <http://www.consultant.ru>.
11. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 319 с.
12. Холлендер М., Вульф Д. Непараметрические методы статистики. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 512 с.
13. Справочник по прикладной статистике: в 2 т. / под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 1036 с.
14. Мотузова Г.В. Почвенно-химический мониторинг фоновых территорий. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 88 с.
15. Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. – М.: Эдиторал РУСС, 1999. – 168 с.
16. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. – М.: Стандартинформ, 2008. – 4 с.
17. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве [Электронный ресурс] // <http://www.biggest.ru>.

