

УДК: [502.175: 631.41] (571.17)

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЕННОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ВБЛИЗИ РАЗРЕЗА «ЧЕРНИГОВЕЦ» ПО СОДЕРЖАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

А. В. Заушинцева, С. В. Свиркова, А. С. Заушинцев

Серые лесные почвы вблизи промышленных предприятий содержат подвижные формы тяжелых металлов (Pb, Cd, Ni) выше ПДК. Это привело к превышению максимально допустимого уровня некоторых из них (Cu, Cd, Ni) по накоплению в растениях.

Grey forestsoil near the industry enterprises contains some forms of the heavy metals (Pb, Cu, Ni) which are above the mark. It leads to the increase of the standard contents some of them (Cu, Cd, Ni) in plants/

Ключевые слова: почва, элементы, тяжелые металлы, растительность, свойства.

Почва – специфический компонент биосферы. Она не только геохимически аккумулирует компоненты загрязнений, но и выступает как природный буфер, контролирующий перенос химических элементов и соединений в атмосферу, гидросферу, литосферу и в живые системы. Продолжительность пребывания загрязняющих элементов в почве гораздо дольше, чем в других частях биосферы. Глобально-экологическая роль почвы заключается в том, что она является природным фильтром для различных техногенных загрязнителей, среди которых особое место занимают тяжелые металлы [4, 5]. В силу природных свойств почвы способны накапливать значительное количество поллютантов, а будучи неотъемлемым компонентом наземных экосистем, они участвуют во многих важных процессах преобразования веществ. Когда происходит количественное изменение долгое время державшихся на одном уровне факторов окружающей среды или вступают в действие совершенно иные экологические факторы, влияющие на почву, могут возникнуть нагрузки, несущие вред почвенной биоте или изменяющие систему ценологических взаимоотношений между ними. Развитие топливно-энергетического комплекса, металлургической и химической отраслей промышленности, строительство автомобильных и железных дорог, линий электропередач и трубопроводов сопровождается отчуждением земельных ресурсов лесного и сельскохозяйственного фонда, потерей миллионов кубометров плодородного слоя почвы, огромными выбросами в биосферу ядовитых токсичных веществ с пылью, жидкими, твердыми трудноутилизируемыми отходами.

Такое колоссальное воздействие является серьезным препятствием к благополучному существованию биологических систем.

Цель исследований – оценить влияние техногенных выбросов промышленных предприятий на состояние почвенного покрова. Для выполнения цели поставлены следующие задачи:

- провести морфологическое описание почвенного профиля;
- провести отбор почвенных и растительных проб для химического анализа.

Для изучения физических и химических свойств почвы выбрали известные, апробированные и используемые в научных центрах страны методики и утвержденные Государственные стандарты:

– ГОСТ 17.4.102- 83 Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения [2].

– Методические указания по проведению локального мониторинга на реперных участках [8].

– Руководство по санитарно- химическому исследованию почв (нормативные документы) [11].

– Методические указания по атомно-сорбционным методам определения тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства [9].

Результаты исследований и обсуждение Морфологическая характеристика почвенного покрова

Почвенный покров сформирован под пологом смешанных хвойных и лиственных лесов из пихты, осины, березы с подлеском из караганы, рябины, черемухи, калины. В северо-западной части исследуемого участка (45 – 50 % от общей площади) в составе древесных пород пихта занимает 11 – 13 %, а в юго-западной части – 21 – 33 %. Травянистый покров под пологом леса сформирован не плотно. На момент взятия образцов почвенных проб биомасса лесной подстилки оставила 47,3 ц/га. Меньшую долю в структуре опада (26 %) занимают остатки травянистой растительности.

Важное значение в развитии почвообразовательного процесса имеет форма рельефа. Она может отражать фактор эволюции либо фактор деградации растительного и почвенного покровов. Рельеф поверхности поля разреза «Черниговец» до эксплуатации месторождения угля представлял собой всхолмленные равнины, изрезанные гидрографической сетью. Максимальные отметки на водоразделах составляли 240 – 250 м (абс.), а минимальные (в долинах рек и логов) – 180 – 210 м (абс.). Во время исследований (2005 г.) изучаемый участок имел нарушенную форму рельефа в виде понижений вблизи границы отвалов углевмещающих пород. Близость разреза «Кедровский», деятельность которого также связана с изменением формы рельефа при проведении угледобычи открытым способом, привела к увеличению оводненности почв за счет выдавливания из берегов вод реки Чесноковка внешними отвалами в сторону разреза «Черниговец». С другой стороны, высокая оводненность может быть связана со сложным геологическим строением поля в виде синклинали структуры залега-

ния угленосных пластов, что вполне может обусловить образование водоносных горизонтов с явно выраженными напорными свойствами. В связи с этим очевидно преобладание подзолообразовательного процесса в почве.

В качестве материнских пород здесь преобладают лессовидные желто-бурые и бурые суглинки, а в речных долинах аллювиальные отложения. Следует ожидать, что сформировавшиеся на них серые лесные почвы будут оподзолены, но в верхних генетических горизонтах могут иметь вполне оптимальные физические и химические свойства.

Вскрышные породы характеризуются преобладанием в их составе песчаников (50 – 70 %), алевролитов (25 %), аргиллитов (15 – 23 %). Они характеризуются монолитным сложением и достаточно высокой прочностью.

Для изучения морфологии почвенного профиля подготовлено и описано 2 почвенных разреза, включая часть глубины залегания материнской породы и 4 почвенных припопки на глубину 70 см каждая.

Разрез 1. Он выполнен под пологом леса. Строение почвенного профиля следующее:

A0 – (0 – 3 см) – лесная подстилка из опада древесных и травянистых растений мощностью 2,5 – 3,0 см.

A1 – (3 – 11 см) – гумусово-аккумулятивный генетический горизонт серой окраски, мощностью 8 – 9 см, со слабовыраженной комковато-пластинчатой структурой плотного сложения с сильным оводнением.

A2 – (12 – 23 см) – гумусовый оподзоленный горизонт мощностью 10 – 12 см светло-серого цвета с белесоватым оттенком, чешуйчато-пластинчатой структуры, высокой плотности и влажности.

B – (24 – 54 см) – иллювиальный генетический горизонт мощностью 27 – 30 см. Структура почвенных агрегатов переходная – от пластинчатой к ореховато-призматической, сложение плотное. Окраска горизонта светло-бурого цвета с коричневыми призмами железистых соединений и белесоватой присыпкой. Постепенно иллювиальный горизонт переходит к материнской породе.

C – (глубже 54 см) – материнская порода с неравным окрасом от светло-бурого до желтого цвета, имеет плотное сложение.

Разрез 2. Он выполнен на открытых участках, не занятых древесной растительностью. Морфологическое строение следующее:

Ad – (0 – 4 см) – дернина мощностью до 4-х см из полуразложившихся и неразложившихся остатков растений и корневой системы.

A1 – (5 – 12 см) – гумусово-аккумулятивный горизонт мощностью 6 – 8 см серого цвета со сложновыраженной комковато-пластинчатой структурой средней плотности. Сильно увлажнен.

A2 – (13 – 24 см) – гумусовый, оподзоленный горизонт мощностью 8 – 12 см светло-серого цвета с белесоватым оттенком, чешуйчато-пластинчатой структуры, влажный.

B – (24 – 106 см) – иллювиальный горизонт мощностью 60 – 82 см, светло-бурой окраски, с пе-

реходной от пластинчатого до ореховато-призматического типа структурой. Отдельными призмами наблюдаются железистые соединения, а также белесоватые потеки. Переход к материнской породе постепенный.

C – (глубже 106 см) – материнская порода с неравным окрасом от светло-бурого до желтого цвета, плотное сложение.

Физические и химические свойства почвы

Практически все свойства почвы, которые влияют на ее плодородие, обуславливают гранулометрический состав. По преобладанию тех или иных фракций почвенных частиц почве присваивается разновидность. По ней определяется производственная ценность и направление использования земельных ресурсов.

Анализ физических и химических свойств серой лесной почвы показал, что верхние горизонты обеднены илистой фракцией. Это обусловлено процессами оподзоливания. Формирование почв на лессовидных суглинках сопровождалось преобладанием частиц физического песка (< 0,01 мм) в агрегатном составе – 58,2 %. Физической глины в среднем по всем точкам обследования содержится 41,9 %. Это, согласно классификации [6], позволяет охарактеризовать почвенный покров как тип серых лесных почв среднесуглинистого гранулометрического состава.

Важным свойством, отражающим уровень почвенного плодородия, водный, воздушный и тепловой режимы, является плотность почвы. Учитывая, что почва состоит из трех фаз (твердой, жидкой и газообразной), принято оценивать плотность твердой фазы почвы (удельную), плотность скелета и плотность в естественном сложении. В первом случае определяют отношение массы твердой фазы почвы без учета системы пор и капилляров к единице объема. В третьем – массу почвы к единице объема в ненарушенном состоянии. Лучшим комплексом, в том числе плотностью, обладают легко- и среднесуглинистые почвы. Плотность верхних генетических горизонтов исследуемой почвы варьирует от 1,33 до 1,30 г/см³, а плотность твердой фазы – 2,41-2,47 г/см³. В связи с высоким оводнением общая пористость составила 36,5 %. Это характеристика среднеуплотненной почвы. Так как илистая фракция занимает незначительную долю, число пластичности составило 13,6 %, что также подтверждает разновидность среднесуглинистой почвы.

Физические свойства в значительной мере зависят от содержания органического вещества (Васильев, 1998). При анализе почвенных проб выявлено, что по содержанию гумуса данный тип почвы отнесен к высокогумусным (8,22 %), для которых характерен уровень от 6 % до 10 % (табл. 1). Учитывая кислую реакцию среды, можно предполагать гуматно-фульватный тип гумуса, когда соотношение содержания гуминовых кислот к содержанию фульвокислот варьирует в пределах 0,5 – 1,0. Косвенным подтверждением этого является светло-серая окраска верхнего генетического горизонта. Кислотность

солевой вытяжки составила в среднем 4,68 единиц рН.

Важное значение имеет содержание необходимых для благоприятного роста и развития растений макро- и микроэлементов: азот, фосфор, калий, кальций, магний и другие. Азот входит в состав простых и сложных белков, многих органических веществ клетки. Его запас в земной коре исчисляется миллиардами тонн, причем основная часть содержится в виде сложных органических соединений. Больше всего азота в богатых гумусом черноземах, меньше – в дерново-подзолистых, подзолистых, тундровых и других почвах (Ягодин и др., 1982). В наших исследованиях содержание нитратного азота составило 7,7 мг/кг, аммонийного – 6,7 мг/кг почвы. Именно в этих формах азот усваивают растения, но такого количества для полного обеспечения режима питания растений явно недостаточно. При нейтральной реакции почвенного раствора лучше усваиваются ионы аммония, рН кислой – нитратные формы. Учитывая показатель почвенного раствора (кислая реакция среды), видно, что нитратные формы азота расходуются наиболее активно.

Фосфор необходим растениям для синтеза нуклеиновых кислот (ДНК, РНК), АТФ, фосфолипидов, сахарофосфатов. В почве он находится в минеральной и органической формах, а его содержание зависит от гранулометрического состава и количества гумуса в почве. Минеральные формы обычно пред-

ставлены труднорастворимыми фосфатами кальция и магния: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$. Растения усваивают только растворимые в воде минеральные формы фосфора. В почве исследуемой территории содержится в среднем 14,9 мг/кг подвижного фосфора, что характерно для обеспеченности в средней степени, так как фосфор обладает малой подвижностью, а его фиксация происходит в результате связывания кальцием, магнием и алюминием. В нашем эксперименте получено 12,0 мг/кг почвы кальция, 1,75 мг/кг магния и 0,24 мг/кг натрия. Это не так много, чтобы реализовать содержание и оптимизировать расход фосфора.

Калий также считают одним из важнейших элементов для растений. Он осуществляет важные физиологические функции в организме: усиливает гидратацию коллоидов в цитоплазме, повышает степень их дисперсности. Это помогает растениям удерживать воду и регулировать водный баланс. В почвах Кемеровской области относительно высокое количество калия, обусловленное литогенным происхождением. Он потребляется растениями в больших количествах в обменных формах [10, 13]. Результаты химического анализа показали высокое содержание подвижных форм калия (110 мг/кг почвы), что характеризует почву, как высокообеспеченную данным элементом.

Таблица 1

Результаты химического анализа почв

<i>Вещество, элемент</i>	<i>Значение показателей по мониторинговым площадкам</i>				<i>Среднее</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	
Гумус	8,26	8,19	8,24	8,19	8,22
Кислотность (рН _{сол.})	4,70	4,56	4,63	4,73	4,72
Азот нитратный, мг/кг	7,7	7,6	7,7	7,7	7,7
Азот аммонийный, мг/кг	6,7	6,7	6,6	6,8	6,7
Фосфор подвижный, мг/кг	15,0	14,9	15,0	15,0	15,0
Калий подвижный, мг/кг почвы	114	108	110	110	110
Кальций, мг×экв/100г	12,0	11,9	12,1	12,0	12,0
Магний, мг×экв/100г	1,74	1,76	1,73	1,77	1,75
Натрий обменный, мг×экв/100г	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

В связи с активным промышленным освоением территории Кузбасса, необходимо контролировать загрязнение почвы токсичными элементами, в том числе тяжелыми металлами. В процессе исследований определено содержание тяжелых металлов 1 – 2 класса опасности: цинка, меди, кадмия, свинца, кобальта, никеля (табл. 2). При высокой концентрации в почве большинство из них, находящихся в доступной форме для поглощения растениями, микроорганизмами, считаются потенциальными токсикантами [5]. Главная опасность заключается в их способности мигрировать и концентрироваться в пищевых цепях. Вследствие этого они оказывают сильное влияние на функционирование отдельных звеньев биосферы и отражаются на здоровье людей. Исключительно важное значение при изучении тяжелых металлов приобретают сведения о количестве элементов, находящихся в подвижном состоянии.

Подвижность элементов – это способность переходить из твердой фазы почвы в жидкую. Становясь мобильными, химические элементы и их соединения способны мигрировать по профилю почвы вплоть до грунтовых вод, переходить в другую форму, доступную для поглощения растениями. Основным резервом являются ионы, которые содержатся в почвенном поглощающем комплексе. Очевидно, что избыточное количество металлов в такой форме и могут вызывать негативные явления, связанные с загрязнением растений и грунтовых вод. Менее подвижные соединения в случае изменения почвенных условий, например, кислотнo-щелочной среды, также могут стать мобильными и более доступными для почвенной биоты. В таком состоянии они рассматриваются как «ближайший резерв» в подпитке ионного потока из почвы в растения.

Цинк выполняет многие функции в живых системах: участвует в составе разных ферментов, в метаболизме углеводов, белков, ферментов. У высших растений он больше накапливается в зародыше семени. Избыток элемента приводит к нарушению в формировании генеративных органов, так как сопряжен с изменениями в углеводном, белковом, фосфорном обмене живых систем [3]. В исследованных ландшафтах превышения предела допустимых концентраций по этому элементу не выявлено.

Медь влияет на протекание процессов фотосинтеза, синтеза гемоглобина, дыхания и другие процессы. Это предопределено способностью металла менять валентность. Природный избыток меди маловероятен, но на территориях, подверженных сильной антропогенной трансформации, может иметь место [5]. Результаты химического анализа почвенных образцов показали, что содержание меди находится в допустимых пределах.

Таблица 2

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве (мг/кг)

Элемент	ПДК	Значение показателей				
		1	2	3	4	среднее
Цинк	23	0,81	0,91	1,27	0,90	0,97
Медь	3,0	0,41	0,36	0,24	0,40	0,35
Кадмий	0,02	0,88	0,63	0,74	0,98	0,81
Свинец	3,2	1,94	2,46	5,35	5,78	3,89
Кобальт	1,0	0,54	0,65	0,91	0,84	0,73
Никель	4,0	4,0	4,33	4,70	3,03	4,00

Кадмий известен в числе наиболее токсичных элементов, но прошло уже более 20 лет, как доказана его необходимость в низких концентрациях для стимуляции роста животных. Этот элемент способен легко поступать из почвы через корневую систему в растения, из атмосферы – через листья, а затем накапливаться в товарной продукции [12]. Токсичность кадмия заключается в нарушении активности ферментов через торможение фотосинтеза, транспирации, фиксации углекислого газа, ингибирования биологического восстановления NO_2 до NO . В животных организмах он ингибирует систему ДНК, влияет на активность ферментов, нарушает усвоение цинка, меди, селена, железа. По содержанию подвижных форм кадмия в почве ПДК составляет всего лишь 0,02 мг/кг, а в почве это значение превышено в 40 – 50 раз, что, несомненно, негативно отражается на жизнеобеспеченности почвенной биоты.

Свинец в небольших количествах необходим растениям и животным, но в медицинской литературе описывается как элемент – токсичный для всего живого. Его избыток ингибирует дыхание, подавляет процесс фотосинтеза, активизирует поступление кадмия, но ограничивает накопление кальция, фосфора, серы [14]. Среднее содержание свинца в почве составило 3,89 мг/кг, но в двух из четырех точек взятия почвенной пробы выявлено существенное превышение ПДК (на 68,4 – 80,6 %). Это свидетельствует о том, что элемент оказывает негативное влияние на живые системы изучаемой территории. В сочетании с повышенным содержанием подвижных форм кадмия отрицательное воздействие на биоту усиливается.

Кобальт участвует в метаболизме азота и в синтезе белков, влияет на углеводный и минеральный обмен у живых организмов. Нормативные документы ограничивают содержание подвижных форм кобальта в почве до 1,0 мг/кг. На всех исследуемых мониторинговых площадках его содержание варьи-

ровало от 0,54 мг/кг до 0,91 мг/кг, но не превысило ПДК.

Никель по механизму биологического действия схож с кобальтом и легко извлекается из почвы [7]. В случае избытка элемента подавляются процессы фотосинтеза и транспирации, проявляются признаки хлороза. В наших исследованиях он выявлен в среднем по точкам отбора проб на уровне ПДК (4,0 мг/кг). В двух случаях было несущественное превышение нормы на 0,33– 0,70 мг/кг.

Определенный интерес представляет процесс накопления и концентрация тяжелых металлов в органах растений (табл. 3). Для токсикологической оценки растительного сырья были отобраны 5 проб травосмеси, 5 проб хвои и веток пихты, листьев березы, осины, калины. По каждой из них составлен средний образец, который сдан на химический анализ.

Результаты показали, что больше всего тяжелых металлов (1,03– 4,88 мг/кг) накоплено в травянистой растительности. В отношении накопления отдельных элементов выявлено наибольшее количество меди: от 2,95 мг/кг у хвойных видов до 4,50-4,80 мг/кг – у лиственных пород деревьев и травянистой растительности. Кроме того, выявлены повышенные концентрации никеля (2,45 – 3,33 мг/кг), превышающие максимально допустимый уровень на 245 – 333 %. Уровень накопления других элементов не превысил норму.

Выводы

1. Серые лесные почвы вблизи разреза «Черниговец» подвержены процессу оподзоливания и загрязнены подвижными формами тяжелых металлов (кадмий, свинец, никель) выше предела допустимых концентраций.

2. В органах растений выявлено значительное превышение максимально допустимого уровня по содержанию меди, кадмия, никеля, что отрицательно влияет на физиологические процессы в растениях.

Таблица 3

Концентрация тяжелых металлов в органах растений (мг/кг)

Элемент	МДУ*	Значение показателей		
		травосмесь	ветки и хвоя пихты	ветки и листья березы, осины, калины
Цинк	5,0	3,85	1,68	1,73
Медь	0,5	4,88	2,95	4,50
Кадмий	0,33	2,60	0,20	0,58
Свинец	3,0	2,25	1,13	1,38
Кобальт	3,0	1,03	0,68	0,95
Никель	1,0	2,45	3,33	3,08

МДУ* – максимально допустимый уровень.

Литература

1. Васильев, В. А. Справочник по органическим удобрениям / В. А. Васильев. 2-е изд., перераб и доп. – М.: Росагропромиздат, 1998. – 260 с.
2. ГОСТ 17.4.102- 83 Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 4 с.
3. Зухурул, И. Влияние применения азота, молибдена и цинка на засухоустойчивость яровой пшеницы / И. Зухурул, И. В., Верниченко, Л. В. Обуховская, Л. В. Осипова // Докл. РАСХН. – 1999. – № 2. – С. 17 – 19.
4. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, СО РАН, 1991. – 151 с.
5. Ильин, В. Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В. Б. Ильин, А. И. Сысо. – Новосибирск, 2001. – 229 с.
6. Качинский, Н. А. Почва, ее свойства и жизнь / Н. А. Качинский. – М.: Наука, 1975. – С. 91 – 120.
7. Кальницкий, Б. Д. Минеральные вещества в кормлении животных / Б. Д. Кальницкий. – Л.: Агропромиздат, 1985. – 207 с.
8. Методические указания по проведению локального мониторинга на реперных участках. Изд-е 2-е, перераб. и доп. – М.: ЦИНАО, 1995.
9. Методические указания по атомно-сорбционным методам определения тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992.
10. Орлов, Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов. – М.: МГУ, 1992. – 400 с.
11. Руководство по санитарно-химическому исследованию почв (нормативные документы). – М.: ЦИНАО, 1993.
12. Ягодин, Б. А. Накопление кадмия и свинца некоторыми сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности / Б. А. Ягодин, В. В. Говорина, С. Б. Виноградова // Изв. ТСХА. – 1995. – Вып. 2. – С. 85 – 90.
13. Якименко, В. Н. Калий в агросистемах Западной Сибири / В. Н. Якименко. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 2002. – 231 с.
14. Adriano, D. C. Trace elements in the terrestrial environment / D. C. Adriano. – New York; Berlin; Heidelberg; Tokyo: Springer. – Verlag, 1986. – 533 p.

Рецензент – Н. Н. Чуманова, Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт.