

УДК 502.7:631.46

Биохимические особенности почв индустриального города в условиях Восточной Сибири

Е. В. НАПРАСНИКОВА

*Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения РАН,
ул. Улан-Баторская, 1, Иркутск 664033 (Россия)**E-mail: napev@irigs.irk.ru*

(Поступила 09.01.14; после доработки 16.06.14)

Аннотация

Показаны особенности современного состояния почв г. Черемхово (Иркутская обл.) и сопредельных территорий. Выявлен высокий уровень загрязнения почв тяжелыми металлами. Результаты санитарно-микробиологического анализа свидетельствуют об их загрязнении хозяйственно-бытовыми органическими веществами и позволяют оценить состояние почв как близкое к эпидемически опасному.

Ключевые слова: город, почва, тяжелые металлы, загрязнение, биохимическая активность, санитарное состояние

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время темпы урбанизации неуклонно растут, и к концу XXI века ожидается вовлечение в этот процесс до 20 % всей пригодной для жизни человека территории суши. Внимание исследователей к урбанизованным территориям не ослабевает [1–4].

Хорошо известно, что интеграция химии с экологией происходит по многим направлениям, в том числе и по биоиндикационному. Контроль качества окружающей среды по химическим и биологическим показателям признан экологически ориентированным научным подходом, особенно если речь идет о сохранности компонентов биосферы как среды обитания человека.

Состояние городских почв служит не только индикатором условий жизни и здоровья населения, но и гарантом этих условий.

В условиях Сибири, где самоочищающая способность почв снижена, эта проблема особенно актуальна. Настоящая статья продолжает цикл работ [5, 6], посвященных влиянию процессов ур-

банизации и техногенеза на незаменимый и неотъемлемый компонент биосферы – почву.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объекта исследований выбран почвенный покров г. Черемхово (Иркутская обл.) и сопредельных территорий. Современные города – особые экосистемы, которые отличаются от природных зональных биогеоценозов физико-химическими свойствами почв и атмосферы, а также высоким уровнем загрязнения внешней среды. В этом отношении Черемхово не исключение.

Предмет исследований – современное эколого-биохимическое состояние почв (открытые незапечатанные территории) в разных функциональных зонах города. В промышленной зоне преобладают техноземы, в жилой зоне, в силу глубокой преобразованности, – урбаноземы с выраженным горизонтом урбик (U), согласно систематике и диагностике городских почв по данным [7].

Черемхово расположен в 131 км северо-западнее Иркутска, вдоль Транссибирской железнодорожной магистрали. Климат здесь резко континентальный, характеризуется большой амплитудой температур, малым количеством осадков, высоким коэффициентом солнечной радиации.

Местность относится к подзоне островных лесостепей. Согласно почвенному районированию В. А. Кузьмина [8], в окрестностях Черемхово почвы представлены серыми лесными, в большей степени темно-серыми лесными на суглинистых отложениях пологих склонов с бугристо-западинным микрорельефом, под светлохвойными мелколиственными кустарничково-травянистыми лесами.

Образцы почвы отобраны в вегетационный период в разных функциональных зонах города. Из 10–15 отдельных проб с глубины не ниже 10 см готовился смешанный образец для снятия гетерогенности субстрата. Отбор и про-

боподготовка почвы проводились согласно методическим указаниям [9].

Химические элементы определены с помощью оптического эмиссионного спектрометра Optima 2000DV с индукционной плазмой и компьютерным управлением (Perkin Elmer LLC, США) в аккредитованном химико-аналитическом центре Института географии им. В. Б. Соичавы СО РАН (Иркутск). Содержание мышьяка в почвах определено в аккредитованной аналитической лаборатории Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (Иркутск).

Санитарно-микробиологическую оценку проводили по общепринятым методикам [10]. Уровень биохимической активности изучаемых почв выполнен экспресс-методом согласно [11]. Суть его состоит в определении скорости изменения рН в зависимости от выделяемого аммиака при разложении карбамида (мочевины).

Характеристика мест отбора почв представлена в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1

Местоположение отбора проб

Номер образца	Местоположение	Почва
Промышленная территория		
1	Цех цинковых белил (бывший)	Технозем
2	ТЭЦ (западная сторона)	»
3	ТЭЦ (восточная сторона)	»
4	Цех по производству зеркал	»
5	Картонный завод	»
6	Завод ЖБИ (бывший)	»
7	Террикон (окраина города)	Эмбриозем
8	Там же	»
9	Мясокомбинат	Технозем
Территория города		
10	АЗС	Почвогрунт
11	Частный сектор	Урбанозем
12	Жилой массив (5-этажные дома)	»
13	Жилой массив (ближе к центру города)	»
14	Центр города (торговые ряды)	»
15	Там же, сквер	Культурозем
16	Жилой массив (рядом с парковой зоной)	Урбанозем
17	Ж/д вокзал (под растительностью)	Культурозем
18	Там же (без растительности)	Почвогрунт
Контроль	Окраина города (природные рубежи)	Темно-серая лесная

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследовано содержание химических элементов в почвах с учетом санитарно-эпидемиологических требований к качеству почвы в отношении тяжелых металлов и иных химически опасных элементов (СанПиН 2.1.7.1287–03 [12]). Результаты анализа приведены в табл. 2. Значения ОДК химических элементов в почве взяты из нормативных документов ГН 2.1.7.2511–09. Видно, что содержание макроэлементов Р и Мп не превышает ОДК, тогда как для Zn, Cu, Ni отмечается незначительное превышение. Цинк обнаружен во всех пробах за исключением почв АЗС, и его концентрация в 1.9–4.3 раза превышает ОДК. Высокое содержание мышьяка выявлено в почвах на территории цеха по производству зеркал (10 ОДК) и, по-видимому, обусловлено многолетним производством здесь мышьяка (в настоящее время прекращено). Кроме того, мышьяк в повышенных количествах присутствует практически во всех пробах. Так, в почвах частного сектора оно превышает ОДК в 4.3 раза. Повышенное относительно ОДК содержание свинца зафиксировано в пробах почв с ТЭЦ, мясокомбината и АЗС (1.8, 1.7 и 1.2 ОДК соответственно). Относительно кадмия почвы можно счи-

тать сравнительно чистыми: его содержание не превышает либо равно ОДК (АЗС). Концентрация никеля почти для всех образцов превышает нормативы в несколько раз, а в пробах почв с территории картонного завода достигает 7 ОДК. Сравнительный анализ данных по Черемхово (особенно по тяжелым металлам) и другим городам [2, 4] выявляет определенное сходство в накоплении почвами токсичных элементов. Этому способствуют климатические условия, изменение рН городских почв в область щелочных значений, увеличение количества автотранспорта, а также специфика и интенсивность воздействия промышленных предприятий на окружающую среду.

Результаты санитарно-микробиологического анализа почв (табл. 3) свидетельствуют об их различной степени загрязнения хозяйственно-бытовыми органическими веществами. Максимальная численность аммонифицирующих бактерий отмечена в образцах почв, отобранных вблизи мясокомбината (10.3 млн КОЕ/г) и в три раза превышает контроль. В пробах почв, отобранных в жилом массиве и частном секторе, численность этой группы составила 6.1 и 3.5 млн КОЕ/г соответственно. Это почти в два раза превышает контрольные показатели. Наименьшее число аммонификато-

ТАБЛИЦА 2

Содержание химических элементов в почвах г. Черемхово и сопредельных территорий, мг/кг

Номер образца	P	Mn	Ba	Sr	Zn	Cr	Cu	Ni	Co	Pb	Cd	As
1	1590	810	622	208	166	108	32	49	22	32	0.45	4.4
2	1914	787	620	265	172	104	31	47	22	60	0.40	3.0
4	1790	716	606	278	236	95	35	48	26	36	0.40	>>20.0
5	1124	771	579	245	137	84	51	141	397	27	0.30	3.0
6	1177	717	453	254	119	102	30	53	26	25	0.45	4.3
7	1418	847	431	193	152	84	37	43	227	31	0.45	3.1
8	2049	658	472	192	135	69	39	37	18	49	0.40	4.3
9	3172	742	577	271	175	109	32	47	21	55	0.45	4.1
10	728	729	443	264	16	96	40	55	23	40	0.50	–
11	1034	730	473	227	104	115	38	66	22	19	0.45	8.7
13	1267	716	529	219	113	90	33	59	23	19	0.35	–
16	1013	820	464	172	109	96	33	50	28	32	0.40	–
ОДК	–	1500	–	Н/д	55	–	33	20	–	32	0.5	2

Примечания. 1. Прочерк – не нормируется. 2. н/д – нет данных. 3. Местоположение отбора проб см. табл. 1.

ТАБЛИЦА 3

Результаты санитарно-микробиологического анализа почв г. Черемхово

Номер образца	Территория, место отбора проб	МПА, КОЕ/г	Колиформные бактерии (титр)	Оценка санитарного состояния почвы
1	Цех цинковых белил (бывший)	$54.1 \cdot 10^3$	0.001	Умеренно загрязненная
2	ТЭЦ	$16.4 \cdot 10^6$	0.001	» »
4	Цех по производству зеркал	$52.0 \cdot 10^5$	0.001	» »
5	Картонный завод	$50.0 \cdot 10^5$	0.0001	Сильно загрязненная
6	Завод ЖБИ (бывший)	$55.0 \cdot 10^5$	0.0001	» »
9	Мясокомбинат	$10.3 \cdot 10^6$	0.001	» »
11	Частный сектор	$34.9 \cdot 10^5$	0.0001	Сильно загрязненная
12	Жилой массив, 5-тиэтажные дома	$61.0 \cdot 10^5$	0.0001	» »
14	Центр города, торговые ряды	$50.2 \cdot 10^4$	0.00001	» »
15	Центр города, сквер	$23.5 \cdot 10^4$	0.001	Умеренно загрязненная
17	Ж/д вокзал	$51.3 \cdot 10^4$	0.001	» »

Примечание. МПА – мясопептонный агар; КОЕ – колониеобразующие единицы.

ров обнаружено в почвах промышленной зоны. Особенно выделяется почвенный покров территории бывшего цеха по производству цинковых белил (0.054 млн КОЕ /г). Данный факт можно связать с ингибирующим воздействием тяжелых металлов на микробиоту. Среди бактерий, изолированных из почвы, преобладали более устойчивые споровые формы рода *Bacillus*, реже псевдомонады и микрококки. Это свидетельствует о значительной толерантности бациллярных форм относительно тяжелых металлов. Качественный состав представлен доминантами видов *Bacillus (B.) mycoides*, *B. cereus*, *B. mesentericus*, *B. subtilis*, *B. megaterium*, *B. agglomeratus*.

Титр и индекс колиформных бактерий служат индикаторами не только бытового загрязнения органикой, но и возможного присутствия в почве возбудителей желудочно-кишечных инфекций. Наиболее высокий показатель выявлен для образцов почв с территории торговых рядов в центре города, а также жилого массива пятиэтажных домов (0.00001) и частного сектора (0.0001). Почвенный покров этих районов можно оценить как сильно загрязненный, а по степени эпидемической опасности (согласно нормативам) – как чрезвычайно опасный. Следует отметить, что по содержанию колиформной группы почвы городов Иркутска и Шелехова [12] несколько уступают почвам Черемхово. Особенно это

касается почв Шелехова, где приоритетным загрязнителем служит фтор, который ингибирует развитие колиформных бактерий [6]. Полученные по этому показателю результаты сопоставимы с данными анализа почв Западной Сибири (Новосибирск [3]) и европейской части России (Тульская обл. [13]).

В промышленной зоне почва меньше загрязнена хозяйственно-бытовой органикой и колиформными бактериями группы кишечной палочки, титр которых не превышает 0.001 . Из представителей данной группы преобладали *Citrobacter* и *Enterobacter* и в отдельных случаях (частный сектор) *Escherichia*, что свидетельствует о свежем фекальном загрязнении.

Среди почвенных микроскопических грибов обнаружены толерантные к слабощелочным значениям pH, однако разнообразие этой группы невелико. По качественному составу они относятся к родам *Cladosporium*, *Scopulariopsis*, *Penicillium*, *Aspergillus*. Эти данные частично совпадают с результатами работы [14].

Результаты определения биохимической активности почв (БАП) как интегрального показателя и индикатора ее самоочищающей способности представлены на рис. 1. Уровень активности почв колеблется от 8.2 до 16.5 ч, на основании чего их можно отнести к среднеактивным почвам, а некоторые – к малоактивным (№ 4, 6, 18). По биохимической ак-

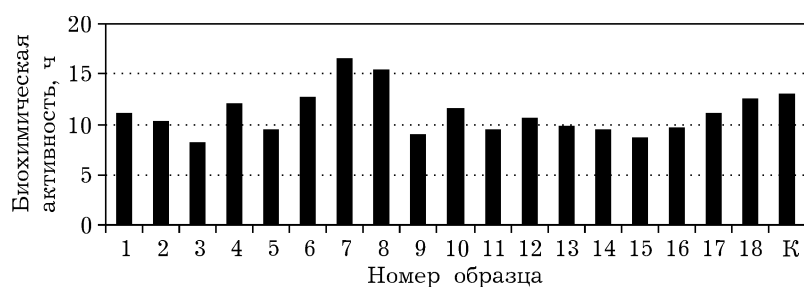


Рис. 1. Биохимическая активность почв (БАП) г. Черемхово и сопредельных территорий. К – контрольный вариант.

тивности почвы города несколько превышают контрольный вариант, что, на наш взгляд, связано с их засорением хозяйственно-бытовой органикой и с более высокими показателями щелочно-кислотных условий. Биохимическая активность различных образцов городских почв примерно одинаковая, а для образцов промышленной зоны ее значения существенно различаются. Особенно малоактивными оказались почвы терриконов, (см. рис. 1, образцы № 7, 8), так как находятся в стадии развития.

Кислотность среды почвенного покрова варьирует в диапазоне pH 5.6–8.1. Согласно экспериментальным данным, для системы БАП – pH выявлена тесная связь между биохимической активностью и реакцией почвенной среды. Коэффициент аппроксимации значительный: $R^2 = 0.59$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные экспериментальные исследования почв г. Черемхово и сопредельных территорий показали, что почвенный покров характеризуется относительно высоким содержанием загрязняющих веществ в виде тяжелых металлов и хозяйственно-бытовой органики.

По содержанию Zn, Cu, Ni, Pb, As обнаружено превышение ОДК. За исключением образцов с АЗС содержание цинка в почвах превышает ОДК в 1.9–4.3 раза. Концентрация меди меньше ОДК, равна или выше ОДК в 1.5 раза. Содержание никеля почти во всех образцах сравнительно высокое (1.8–7 ОДК). Высокое содержание мышьяка обнаружено в почвах на территории цеха по производству зеркал (10 ОДК) и частного сектора (4.3 ОДК). Превышение концентрации свинца выявлено для образ-

цов почв с территорий ТЭЦ, мясокомбината и АЗС (1.8, 1.7 и 1.2 ОДК соответственно).

На данном геохимическом фоне выявлен уровень сапрофитной микрофлоры, который колеблется в широких пределах. Микроскопические грибы демонстрируют относительную толерантность к слабощелочным условиям обитания и тяжелым металлам. Санитарное состояние почвенного покрова оценивается как близкое к эпидемически опасному, особенно в границах частного сектора и многоэтажных районов города, где обнаружены колиформные бактерии группы кишечной палочки. Не исключено, что выживанию условно патогенных микроорганизмов способствует коммунально-бытовая замусоренность городской территории.

По степени биохимической активности почвы относятся к среднеактивным, обеспечивающим трансформацию азотсодержащих органических веществ для жизнедеятельности растительного покрова, что можно расценивать как положительный момент.

Результаты исследований будут полезны при обустройстве города Черемхово (в том числе озеленении) или его отдельных районов в целях улучшения качества среды обитания человека согласно концепции [15].

Работа выполнена в рамках проекта гранта РФФИ № 14-05-00183.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сковрцова И. Н. Микробиологические и некоторые санитарно-гигиенические свойства городских почв // Почва, город, экология / Под ред. Г. В. Добровольского. М.: Фонд "За экономическую грамотность", 1997. С. 125–146.

- 2 Коломыйц Э. Г., Розенберг Г. С., Глебова О. В., Сурова Н. А., Сидоренко М. В., Юнина В. П. Природный комплекс большого города: ландшафтно-экологический анализ. М.: МАИК "Наука", 2000. 286 с.
- 3 Артамонова В. С. Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 225 с.
- 4 Абросимов К. И. Почвенно-экологическая оценка загрязнения города Королева тяжелыми металлами: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2011. 23 с.
- 5 Напрасникова Е. В. // Почвоведение. 2005. № 11. С. 1345–1352.
- 6 Напрасникова Е. В. // Химия уст. разв. 2013. Т. 21, № 3. С. 339–344.
- 7 Герасимова М. И., Строганова М. Н., Можарова Н. В., Прокофьева Т. В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
- 8 Коновалова Т. И., Михеев В. С. // Ландшафты верхнего Приангарья. Иркутск: Изд-во Роскартография, 2004. 90 с.
- 9 Методические указания / ГОСТ 17.4.02.–84. "Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб". М.: Изд-во стандартов, 1984. С. 4.
- 10 Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1991. 303 с.
- 11 Аристовская Т. В., Чугунова М. В. // Почвоведение. 1989. № 11. С. 142–147.
- 12 Гигиенические нормативы / Под ред. Г. Г. Онищенко. СПб.: Профessional, 2011. С. 118.
- 13 Евстратова Т. Я., Акатова Е. В. // Экология родного края: проблемы и пути решения / Под ред. Л. И. Ашихминой. Киров: ВЕСИ, 2014. С. 64–66.
- 14 Марфенина О. Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Медицина для всех, 2005. 195 с.
- 15 Фоков Р. И. Экологическая реконструкция и оздоровление урбанизированной среды. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2012. 304 с.