

Визуальная оценка представленных графических данных позволяет сделать заключение, что, несмотря на различия в материале и форме протезов цепи слуховых косточек, амплитудно-частотная характеристика исследуемых конструкций отличается незначительно. Статистически значимых различий нет во всех случаях ($p > 0,05$).

Заключение

По данным электроакустического эксперимента, амплитудно-частотная характеристика протеза, выполненного из титана, являющегося одним из стандартных материалов для оссикулопластики, в частотном диапазоне от 400 до 500 Гц составляет 347–390 мВ, протеза из тефлона — 350–392 мВ.

Звукопроводимость протеза цепи слуховых косточек из СВМПЭ в зоне частот от 400 до 5000 Гц составляет 351–394 мВ и не имеет статистически значимых отличий от аналогичных характеристик протезов из титана и тефлона во всем исследуемом диапазоне частот.

Учитывая данные проведенного нами электроакустического эксперимента, конструкция протеза цепи слуховых косточек из СВМПЭ может быть предложена по параметрам звукопроводимости к применению в отоларингологии для оссикулопластики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плужников, М. С. Современное состояние проблемы хирургической реабилитации больных с хроническими воспалительными заболеваниями среднего уха / М. С. Плужников, В. В. Дискаленко, Л. М. Курмашова // Вестник оториноларингологии. — 2006. — № 5. — С. 31–34.

2. Хоров, О. Г. Хирургическое лечение больных деструктивными средними отитами / О. Г. Хоров, В. Д. Меланьин. — Гродно: ГрГМУ, 2001. — 150 с.

3. Weerda, H. History of auricular reconstruction / H. Weerda // Adv Otorhinolaryngol. — 2010. — № 68. — P. 1–24.

4. Новоселецкий, В. А. Анализ результатов эксперимента по применению сверхвысокомолекулярного полиэтилена высокой плотности в качестве материала для оссикулопластики / В. А. Новоселецкий, О. Г. Хоров, В. А. Струк // Ars medica. — 2011. — № 4. — С. 25–32.

5. Новоселецкий, В. А. Результаты морфологических исследований при использовании сверхвысокомолекулярного полиэтилена высокой плотности в качестве материала для оссикулопластики / В. А. Новоселецкий, О. Г. Хоров, М. Г. Зубрицкий // Оториноларингология. Восточная Европа. — 2012. — № 2. — С. 76–83.

6. Хоров, О. Г. Применение сверхвысокомолекулярного полиэтилена высокой плотности в отоларингологии / О. Г. Хоров, В. А. Струк, В. А. Новоселецкий // Оториноларингология. Восточная Европа. — 2011. — № 4. — С. 23–29.

7. Хоров, О. Г. Избранные вопросы отологии: учеб. пособие / О. Г. Хоров, В. Д. Меланьин. — Гродно: ГрГМУ, 2007. — 160 с.

8. New knowledge about the function of the human middle ear: development of an improved analog model / R. L. Goode [et al.] // American Journal of Otolaryngology. — 1994. — № 15. — P. 145–154.

9. Nishihara, S. Experimental study on the acoustic properties of in-cus replacement prostheses in a human temporal bone model / S. Nishihara, R. L. Goode // American Journal of Otolaryngology. — 1994. — № 15. — P. 485–494.

10. Standardized measurements of the sound transmission of middle ear implants using a mechanical middle ear model / H. Meister [et al.] // European Archive of Otorhinolaryngology. — 1999. — № 256. — P. 122–127.

11. Vlaming, M.S.M.G. Studies on the mechanics of the normal human middle ear / M.S.M.G. Vlaming, L. Feenstra // Clinical Otolaryngology — 1986. — № 11. — P. 353–363.

12. Пальчун, В. Т. Оториноларингологии: рук-во для врачей / В. Т. Пальчун, А. И. Крюков. — М.: Медицина, 2001. — 616 с.

13. Семенов, Ф. В. Клинико-аудиологические методы оценки эффективности оссикулопластики с использованием титановых протезов при хирургическом лечении больных хроническим средним отитом / Ф. В. Семенов, А. К. Волик // Российская оториноларингология. — 2004. — № 4. — С. 145–148.

Поступила 31.11.2013

УДК 54.02:528.931.3 (476.2+476.7):574:005

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЕ Г. ГОМЕЛЯ

Н. И. Дроздова, Ю. М. Жученко

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

В работе рассматривается один из подходов к решению задачи исследования возможных взаимосвязей уровня техногенного загрязнения почв и их ферментативной активности. Преимуществом использования этих показателей является возможность не только быстрого определения изменений в экосистемах на очень ранних стадиях, но и прогнозирования степени и направленности изменений, происходящих в них.

Ключевые слова: тяжелые металлы, ферменты, ферментативная активность почв, ферментативная индикация загрязнения почв, статистические характеристики, множественная корреляция и регрессия.

EXPERIMENTAL MODELLING OF BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOILS IN THE INDUSTRIAL ZONE OF GOMEL

N. I. Drozdova, Yu. M. Zhuchenko

Gomel State University named after F. Scorina

The article considers one of the approaches to solution of the study problem of possible interrelations of the level of technogenic pollution of soils with their biological activity. The advantage of the use of these indicators is not only a possibility of fast definition of changes in ecosystems at very early stages, but also a possibility of forecasting the degree and orientation of the occurring changes.

Key words: heavy metals, enzymes, biological activity and indication of soils, statistical characteristics, multiple correlation and regress.

Введение

Прогноз загрязнения объектов биосферы в условиях интенсивного антропогенного воздействия является необходимым этапом решения комплекса проблем, связанных с организацией жизни населения на этой территории. Методы и модели, применяемые для решения этой задачи, базируются на экспериментальных данных о содержании тяжелых металлов в почве и растительности.

В условиях возросшей антропогенной нагрузки на биосферу почва, являясь элементом природной системы и находясь в динамическом равновесии со всеми другими компонентами, подвергается деградационным процессам. Потoki веществ, попадая в почву в результате антропогенной деятельности, включаются в естественные циклы, нарушая нормальное функционирование почвенной биоты, и как следствие, всей почвенной системы. Среди различных биологических критериев оценки антропогенного влияния на почвы наиболее оперативными и перспективными являются биохимические показатели, дающие сведения о динамике важнейших ферментативных процессов в почве. В каждом типе почвы в зависимости от условий накапливается определенная совокупность ферментов. Интенсивность ферментативных процессов зависит от конкретных условий: наличия и концентрации субстрата, температуры, влажности, значений pH и др. Ферментативная активность — один из показателей потенциальной активности

почв, характеризующий потенциальную способность системы сохранять гомеостаз.

Цель работы

Проведение оценки относительного вклада некоторых агрохимических показателей (pH, содержания гумуса и подвижного фосфора) и концентрации тяжелых металлов в формировании активности почвенных ферментов для выявления чувствительного прогностического критерия уровня деградации почвы промышленной зоны.

Материалы и методы

Объектом исследований являлись образцы дерново-подзолистой почвы промышленной зоны г. Гомеля в районе ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит».

Предметом исследования являлись агрохимические показатели почвы, ферментативная активность почвы, содержание тяжелых металлов.

На экспериментальной площади было выделено 12 пробных площадок размером 100 × 100 см, с которых методом конверта на глубину 0–20 см отбирались пробы почвы [1]. Они были высушены, перемешаны, квартованы и просеяны через сито с диаметром пор 1 мм [2, 3].

Определение содержания подвижных и валовых форм тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd) проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной атомизацией на приборе «Solaar-M6».

Для определения агрохимических характеристик почвы были использованы стандартные методы (таблица 1) [3].

Таблица 1 — Методы определения агрохимических характеристик почвы

Агрохимическая характеристика	Метод
pH	Потенциометрический метод
Гидролитическая кислотность	Титриметрический метод
Содержание гумуса	Метод Тюрина
Содержание фосфора	Метод Кирсанова

Успешному использованию ферментативного метода для индикации загрязнения почвы тяжелыми металлами способствует то важное обстоятельство, что определение активности ферментов имеет достаточно высокую точность: ошибка для гидролаз не более 5 %, а для оксидоредуктаз — не более 8 % [4]. Для определения ферментативной активности почвы использовались апробированные методические разработки. Определение активности инвертазы проводили по методу А. И. Чундеровой.

Колориметрически определяли активности уреазы и протеазы [5, 6].

Результаты и обсуждение

Исходная информация была подвергнута статистической обработке [7, 8] по определению корреляционной связи между ферментативной активностью почв и содержанием тяжелых металлов, а также агрохимическими показателями. Результаты определения значений парных коэффициентов корреляции представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Коэффициенты парной корреляции

Переменная	Cu	Zn	Pb	Cd	P2O5	pH	Гумус	Инвертаза	Уреаза	Протеаза
Cu	1,00	0,88	0,79	0,77	-0,56	0,60	-0,71	-0,88	-0,86	-0,89
Zn	0,88	1,00	0,92	0,94	-0,56	0,66	-0,72	-0,91	-0,88	-0,90
Pb	0,79	0,92	1,00	0,94	-0,58	0,74	-0,65	-0,80	-0,86	-0,89
Cd	0,77	0,94	0,94	1,00	-0,51	0,74	-0,64	-0,85	-0,88	-0,83

Окончание таблицы 2

Переменная	Cu	Zn	Pb	Cd	P2O5	pH	Гумус	Инвертаза	Уреаза	Протеаза
P ₂ O ₅	-0,56	-0,56	-0,58	-0,51	1,00	-0,50	0,12	0,34	0,53	0,63
pH	0,60	0,66	0,74	0,74	-0,50	1,00	-0,65	-0,66	-0,89	-0,81
Гумус	-0,71	-0,72	-0,65	-0,64	0,12	-0,65	1,00	0,84	0,75	0,81
Инвертаза	-0,88	-0,91	-0,80	-0,85	0,34	-0,66	0,84	1,00	0,89	0,88
Уреаза	-0,86	-0,88	-0,86	-0,88	0,53	-0,89	0,75	0,89	1,00	0,93
Протеаза	-0,89	-0,90	-0,89	-0,83	0,63	-0,81	0,81	0,88	0,93	1,00

Из данных таблицы 2 следует, что корреляционная связь между содержанием тяжелых металлов и биологической активностью почв сильная ($r = -0,80 - -0,91$), обратная и достоверная при уровне значимости гораздо меньше 0,05. Таким образом, концентрация тяжелых металлов существенным образом влияет на биологическую активность почв, что согласуется с результатами, полученными другими исследователями.

Линии регрессий аппроксимируются линейной функцией Пирсона типа:

$$C_{\text{Инвертаза}} = 8,02 - 0,10 C_{\text{Cu}};$$

$$C_{\text{Инвертаза}} = 8,29 - 0,15 C_{\text{Zn}};$$

$$C_{\text{Инвертаза}} = 8,61 - 1,15 C_{\text{Pb}};$$

$$C_{\text{Инвертаза}} = 10,23 - 67,99 C_{\text{Cd}};$$

$$C_{\text{Уреаза}} = 0,29 - 0,006 C_{\text{Cu}};$$

$$C_{\text{Уреаза}} = 0,30 - 0,009 C_{\text{Zn}};$$

$$C_{\text{Уреаза}} = 0,33 - 0,07 C_{\text{Pb}};$$

$$C_{\text{Уреаза}} = 0,43 - 4,17 C_{\text{Cd}};$$

$$C_i = a + b \times C_j,$$

где: C_i — концентрация показателя биологической активности почв инвертаза (мг глюкозы/1 г почвы за 48 ч), уреазы (мг NH₃/10 г почвы за 24 ч.), протеазы (мг глицина/10 г почвы за 24 ч.);

C_j — концентрация тяжелых металлов в почве (Cu, Zn, Pb, Cd), мг/кг;

a — свободный член уравнения регрессии;

b — коэффициент регрессии.

Представленные уравнения и коэффициенты регрессии также достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$.

$$C_{\text{Протеаза}} = 4,16 - 0,073 C_{\text{Cu}};$$

$$C_{\text{Протеаза}} = 4,32 - 0,11 C_{\text{Zn}};$$

$$C_{\text{Протеаза}} = 4,74 - 0,93 C_{\text{Pb}};$$

$$C_{\text{Протеаза}} = 5,69 - 48,51 C_{\text{Cd}}.$$

Все полученные значения парных коэффициентов корреляции достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$. Это обстоятельство позволяет провести более глубокий статистический анализ: процедуру множественной корреляции и регрессии. В связи с этим были выполнены 15 вариантов обработки данных.

Результативным признаком (зависимая переменная) являются значения одного из показателей ферментативной активности почв (C_i). Независимые переменные: концентрации подвижных форм одного из тяжелых металлов и агрохимические показатели почвы, оказывающие существенное влияние на подвижность элементов (варианты 1–12). И наконец, три варианта, где в качестве независимых переменных помимо агрохимических показателей выбрано суммарное содержание меди, цинка, кадмия и свинца (варианты 13–15):

$$C_{\text{Инвертаза}} = f(C_{\text{Cu}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Инвертаза}} = f(C_{\text{Zn}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Инвертаза}} = f(C_{\text{Pb}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Инвертаза}} = f(C_{\text{Cd}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Уреаза}} = f(C_{\text{Cu}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Уреаза}} = f(C_{\text{Zn}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Уреаза}} = f(C_{\text{Pb}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Уреаза}} = f(C_{\text{Cd}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Протеаза}} = f(C_{\text{Cu}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Протеаза}} = f(C_{\text{Zn}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Протеаза}} = f(C_{\text{Pb}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Протеаза}} = f(C_{\text{Cd}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Инвертаза}} = f(C_{\text{Cu}}, C_{\text{Zn}}, C_{\text{Pb}}, C_{\text{Cd}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Уреаза}} = f(C_{\text{Cu}}, C_{\text{Zn}}, C_{\text{Pb}}, C_{\text{Cd}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

$$C_{\text{Протеаза}} = f(C_{\text{Cu}}, C_{\text{Zn}}, C_{\text{Pb}}, C_{\text{Cd}}, C_{\text{P2O5}}, C_{\text{pH}}, C_{\text{Гумус}})$$

Результаты обработки, включая значения множественной корреляции (R), эмпирический F-критерий, уровень значимости и коэффициенты уравнения регрессии, приведены в таблицах 3 и 4.

Уравнения регрессии представлены линейными уравнениями Пирсона в таблицах 3, 4:

$$C_i = a + b \cdot C_j + c \cdot C_{\text{P2O5}} + d \cdot C_{\text{pH}} + e \cdot C_{\text{Гумус}} \text{ (варианты 1–12),}$$

$$C_i = a + b \cdot C_{\text{Cu}} + c \cdot C_{\text{Zn}} + d \cdot C_{\text{Pb}} + e \cdot C_{\text{Cd}} + f \cdot C_{\text{P2O5}} + g \cdot C_{\text{pH}} + h \cdot C_{\text{Гумус}} \text{ (варианты 13–15),}$$

где:

C_i — показатель ферментативной активности почв;

C_j — концентрация тяжелых металлов в почве (Cu, Zn, Pb, Cd);

$a-h$ — коэффициенты уравнения регрессии.

Таблица 3 — Параметры множественной корреляции и регрессии (инвертаза)

№	Инвертаза			Своб. член	TM	P ₂ O ₅	pH	Гумус
	R	F	p	a	b	c	d	e
1	0,94	54,5	≤ 0,05	6,198	-0,074	-0,0011	-0,232	1,460
2	0,95	76,9	≤ 0,05	6,013	-0,123	-0,0012	-0,081	1,346

Окончание таблицы 3

№	Инвертаза			Своб. член	ТМ	P ₂ O ₅	pH	Гумус
	R	F	p	a	b	c	d	e
3	0,91	36,5	≤ 0,05	0,438	-0,639	0,0004	0,134	2,831
4	0,94	55,6	≤ 0,05	1,022	-45,49	0,0006	0,291	2,729
5	0,98	160,8	≤ 0,05	0,661	-0,004	-0,000043	-0,064	-0,010
6	0,97	118,3	≤ 0,05	0,561	-0,005	-0,00002	-0,056	0,0098
7	0,95	73,2	≤ 0,05	0,345	-0,028	0,000045	-0,047	0,067
8	0,96	79,1	≤ 0,05	0,354	-1,749	0,00006	-0,041	0,067
9	0,99	254,3	≤ 0,05	0,478	-0,022	0,0020	-0,258	1,552
10	0,98	218,0	≤ 0,05	-0,191	-0,028	0,0022	-0,211	1,693
11	0,98	247,9	≤ 0,05	-0,980	-0,260	0,0023	-0,126	1,873
12	0,98	186,3	≤ 0,05	-1,435	-9,183	0,0026	-0,136	2,040

Таблица 4 — Параметры множественной корреляции и регрессии

№	Активность	R	F	p	Св. член	Cu	Zn	Pb	Cd	P2O5	pH	Гумус
					a	b	c	d	e	f	g	h
13	Инвертаза	0,97	62,12	≤ 0,05	8,20	-0,04	-0,10	0,42	-17,63	-0,0017	-0,16	0,87
14	Уреаза	0,98	128,0	≤ 0,05	0,74	-0,0027	-0,0032	0,0059	-0,12	-0,00007	-0,063	-0,03
15	Протеаза	0,99	239,8	≤ 0,05	1,38	-0,017	-0,020	-0,35	17,71	0,0014	-0,28	1,24

Из представленных в таблицах 3–4 данных следует, что для всех вариантов множественные коэффициенты корреляции имеют высокое значение 0,95–0,99, нулевая гипотеза об отсутствии корреляции отвергается: $H_0 : R = 0$ и принимается альтернативная гипотеза, свидетельствующая о достоверности корреляции и регрессии, так как $F \geq F_{ст}$ при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Взаимосвязи между переменными можно получить путем анализа результатов парной и частной корреляции, представленных в таблицах 4, 5. Частный коэффициент корреляции — это показатель, измеряющий степень сопряженности двух признаков при постоянном значении остальных.

Чтобы уяснить смысл частного коэффициента корреляции, рассмотрим результаты обработки, представленные в таблице 5.

Частный коэффициент корреляции между ферментативной активностью почв и концентрацией тяжелых металлов показывает, что

лишь часть взаимосвязи этих признаков в общей корреляции обусловлена влиянием остальных признаков для всех 12 вариантов. При этом частные коэффициенты корреляции по значению меньше парных и не изменяют направления корреляционной связи (например: для 1 варианта Cu: $r_{п} = -0,88$, $r_{ч} = -0,68$; для 6 варианта Zn: $r_{п} = -0,88$, $r_{ч} = -0,72$; для 7 варианта Pb: $r_{п} = -0,80$, $r_{ч} = -0,50$; для 12 варианта Cd: $r_{п} = -0,83$, $r_{ч} = -0,42$).

Аналогичное заключение необходимо сделать и в отношении частного коэффициента корреляции между ферментативной активностью почв и агрохимическими показателями: гумус (варианты 1–4, 9–12), pH (варианты 5–8, 9–12) и P₂O₅ (варианты 3, 4, 7, 8). Здесь следует отметить, что частные коэффициенты корреляции в ряде случаев существенно отличаются от парных, что может свидетельствовать о более сильном влиянии остальных признаков на анализируемый признак.

Таблица 5 — Параметры парной и частной корреляции и регрессии

№	Переменные	Парная корреляция			Своб. член	Коэф. при X	Частная корреляция		
		r _п	t	p			r _ч	t	p
1	Cu	-0,88	-10,71	≤ 0,05	8,02	-0,10	-0,68	-5,21	≤ 0,05
	P ₂ O ₅	0,34	2,11	≤ 0,05	5,13	0,003	-0,22	-1,25	0,22
	pH	-0,66	-5,13	≤ 0,05	13,02	-1,16	-0,23	-1,31	0,20
	Гумус	0,84	9,06	≤ 0,05	-2,38	3,99	0,40	2,42	≤ 0,05
2	Zn	-0,91	-12,81	≤ 0,05	8,29	-0,15	-0,78	-6,93	≤ 0,05
	P ₂ O ₅	0,34	2,11	≤ 0,05	5,13	0,003	-0,29	-1,68	0,10
	pH	-0,66	-5,13	≤ 0,05	13,02	-1,16	-0,10	-0,54	0,59
	Гумус	0,84	9,06	≤ 0,05	-2,38	3,99	0,44	2,71	≤ 0,05
3	Pb	-0,80	-7,84	≤ 0,05	8,61	-1,15	-0,50	-3,21	≤ 0,05
	P ₂ O ₅	0,34	2,11	≤ 0,05	5,13	0,003	0,08	0,44	0,66
	pH	-0,66	-5,13	≤ 0,05	13,02	-1,16	0,11	0,62	0,54
	Гумус	0,84	9,06	≤ 0,05	-2,38	3,99	0,67	4,99	≤ 0,05

Окончание таблицы 5

№	Переменные	Парная корреляция			Своб. член А	Коэф. при X b	Частная корреляция		
		r _n	t	p			r _ч	t	p
4	Cd	-0,85	-9,32	≤0,05	10,23	-67,99	-0,69	-5,31	≤0,05
	P ₂ O ₅	0,34	2,11	≤0,05	5,13	0,003	0,15	0,83	0,42
	pH	-0,66	-5,13	≤0,05	13,02	-1,16	0,27	1,57	0,13
	Гумус	0,84	9,06	≤0,05	-2,38	3,99	0,73	6,03	≤0,05
5	Cu	-0,86	-9,74	≤0,05	0,29	-0,01	-0,80	-7,39	≤0,05
	P ₂ O ₅	0,53	3,65	≤0,05	0,08	0,003	-0,24	-1,37	0,18
	pH	-0,89	-11,18	≤0,05	0,72	-0,09	-0,87	-9,98	≤0,05
	Гумус	0,75	6,58	≤0,05	-0,27	0,21	-0,08	-0,47	0,64
6	Zn	-0,88	-10,74	≤0,05	0,30	-0,01	-0,72	-5,74	≤0,05
	P ₂ O ₅	0,53	3,65	≤0,05	0,08	0,003	-0,08	-0,44	0,67
	pH	-0,89	-11,18	≤0,05	0,72	-0,09	-0,81	-7,69	≤0,05
	Гумус	0,75	6,58	≤0,05	-0,27	0,21	0,07	0,41	0,69
7	Pb	-0,86	-9,94	≤0,05	0,33	-0,07	-0,50	-3,18	≤0,05
	P ₂ O ₅	0,53	3,65	≤0,05	0,08	0,003	0,20	1,13	0,27
	pH	-0,89	-11,18	≤0,05	0,72	-0,09	-0,66	-4,92	≤0,05
	Гумус	0,75	6,58	≤0,05	-0,27	0,21	0,43	2,69	≤0,05
8	Cd	-0,88	-10,78	≤0,05	0,43	-4,17	-0,61	-4,27	≤0,05
	P ₂ O ₅	0,53	3,65	≤0,05	0,08	0,003	0,30	1,77	0,09
	pH	-0,89	-11,18	≤0,05	0,72	-0,09	-0,64	-4,67	≤0,05
	Гумус	0,75	6,58	≤0,05	-0,27	0,21	0,49	3,10	≤0,05
9	Cu	-0,89	-11,48	≤0,05	4,16	-0,07	-0,62	-4,45	≤0,05
	P ₂ O ₅	0,63	4,67	≤0,05	1,23	0,004	0,75	6,38	≤0,05
	pH	-0,81	-8,18	≤0,05	8,89	-1,04	-0,59	-4,10	≤0,05
	Гумус	0,81	8,04	≤0,05	-3,20	2,80	0,79	7,25	≤0,05
10	Zn	-0,90	-12,00	≤0,05	4,32	-0,11	-0,54	-3,58	≤0,05
	P ₂ O ₅	0,63	4,67	≤0,05	1,23	0,003	0,77	6,76	≤0,05
	pH	-0,81	-8,18	≤0,05	8,89	-1,04	-0,49	-3,16	≤0,05
	Гумус	0,81	8,04	≤0,05	-3,20	2,80	0,81	7,66	≤0,05
11	Pb	-0,89	-11,17	≤0,05	4,74	-0,93	-0,61	-4,31	≤0,05
	P ₂ O ₅	0,63	4,67	≤0,05	1,23	0,003	0,83	8,25	≤0,05
	pH	-0,81	-8,18	≤0,05	8,89	-1,04	-0,33	-1,93	>0,05
	Гумус	0,81	8,04	≤0,05	-3,20	2,80	0,89	10,90	≤0,05
12	Cd	-0,83	-8,70	≤0,05	5,69	-48,51	-0,42	-2,58	≤0,05
	P ₂ O ₅	0,63	4,67	≤0,05	1,23	0,003	0,85	9,07	≤0,05
	pH	-0,81	-8,18	≤0,05	8,89	-1,04	-0,30	-1,75	>0,05
	Гумус	0,81	8,04	≤0,05	-3,20	2,80	0,89	10,83	≤0,05

В вариантах 9–12 частные коэффициенты корреляции между активностью протеазы и P₂O₅ несколько выше по сравнению с парными.

И наконец, в ряде случаев частные коэффициенты корреляции между ферментативной активностью почв и агрохимическими показателями значительно отличаются от парного коэффициента корреляции не только по значению, но и по направлению: P₂O₅ (варианты 1, 2, 5, 6); pH (вариант 4).

В этих случаях влияние может быть настолько сильным, что частная корреляция оказывается недостоверной (в таблицах 5–6 в столбце r_n такие случаи помечены серым фоном).

Таким образом, анализ множественной корреляции, представленный в таблице 5, свидетельствует о сложном взаимодействии независимых переменных как между собой, так и об их совместном влиянии на величину результативного признака.

Еще более сложная ситуация в интерпретации полученных результатов обработки склады-

вается при проведении процедуры множественной корреляции и регрессии между ферментативной активностью почв (инвертазы, уреазы, протеазы) и независимыми переменными (Cu, Zn, Pb, Cd, P₂O₅, pH, гумус).

В таблице 6 представлены результаты обработки парной и частной корреляций.

Из результатов обработки представленных в таблице данных (результативный признак инвертаза, вариант 13), Cu и Zn в особых случаях являются ведущими тяжелыми металлами, определяющими (снижающими) величину активности инвертазы в почве. Их влияние настолько сильное, что концентрации Pb и Cd в установленных пределах не дают существенного вклада: у коэффициента частной корреляции для Pb меняется знак и частные корреляции для этих тяжелых металлов недостоверны. Снижается также влияние pH и гумуса на результативный признак, а для P₂O₅ частная корреляция меняет направление.

Таблица 6 — Параметры парной и частной корреляции и регрессии

№	Переменные	Парная корреляция			Своб. член	Коэф. при X	Частная корреляция		
		r_{ij}	t	p			r_{ij}	t	p
13	Cu	-0,88	-10,71	$\leq 0,05$	8,02	-0,10	-0,52	-3,20	$\leq 0,05$
	Zn	-0,91	-12,81	$\leq 0,05$	8,29	-0,15	-0,40	-2,34	$\leq 0,05$
	Pb	-0,80	-7,84	$\leq 0,05$	8,61	-1,15	0,33	1,86	$> 0,05$
	Cd	-0,85	-9,32	$\leq 0,05$	10,23	-67,99	-0,19	-1,00	$> 0,05$
	P2O5	0,34	2,11	$\leq 0,05$	5,13	0,003	-0,37	-2,11	$\leq 0,05$
	pH	-0,66	-5,13	$\leq 0,05$	13,02	-1,16	-0,17	-0,91	$> 0,05$
	Гумус	0,84	9,06	$\leq 0,05$	-2,38	3,99	0,29	1,59	$> 0,05$
14	Cu	-0,86	-9,74	$\leq 0,05$	0,29	-0,01	-0,70	-5,17	$\leq 0,05$
	Zn	-0,88	-10,74	$\leq 0,05$	0,30	-0,01	-0,33	-1,85	$> 0,05$
	Pb	-0,86	-9,94	$\leq 0,05$	0,33	-0,07	0,12	0,62	$> 0,05$
	Cd	-0,88	-10,78	$\leq 0,05$	0,43	-4,17	-0,03	-0,16	$> 0,05$
	P2O5	0,53	3,65	$\leq 0,05$	0,08	0,0003	-0,38	-2,14	$\leq 0,05$
	pH	-0,89	-11,18	$\leq 0,05$	0,72	-0,09	-0,85	-8,36	$\leq 0,05$
	Гумус	0,75	6,58	$\leq 0,05$	-0,27	0,21	-0,27	-1,46	$> 0,05$
15	Cu	-0,89	-11,48	$\leq 0,05$	4,16	-0,07	-0,55	-3,52	$\leq 0,05$
	Zn	-0,90	-12,00	$\leq 0,05$	4,32	-0,11	-0,23	-1,27	$> 0,05$
	Pb	-0,89	-11,17	$\leq 0,05$	4,74	-0,93	-0,61	-4,08	$\leq 0,05$
	Cd	-0,83	-8,70	$\leq 0,05$	5,69	-48,51	0,45	2,66	$\leq 0,05$
	P2O5	0,63	4,67	$\leq 0,05$	1,23	0,004	0,67	4,71	$\leq 0,05$
	pH	-0,81	-8,18	$\leq 0,05$	8,89	-1,04	-0,61	-4,08	$\leq 0,05$
	Гумус	0,81	8,04	$\leq 0,05$	-3,20	2,80	0,75	5,99	$\leq 0,05$

Аналогичная ситуация реализуется при анализе парной и частной корреляции, когда результативным признаком является активность уреазы. В этом случае концентрации Cu и pH полностью определяют активность (снижение) уреазы (вариант 14), а частные корреляции P₂O₅ и гумуса изменяют знак на противоположный.

В таблице 6 (вариант 15) также показано, что Cu и Pb составляют конкуренцию Zn и Cd. При этом частная корреляция между активностью

протеазы и концентрацией Cd становится положительной и достоверной. Величину активности протеазы также, наряду с Cu и Pb определяют значение pH среды и содержание гумуса.

Адекватности моделей прогноза изменения активности ферментов в зависимости от концентраций тяжелых металлов и агрохимических показателей почвы, определенных в условиях эксперимента, представлены на рисунках 1–4.

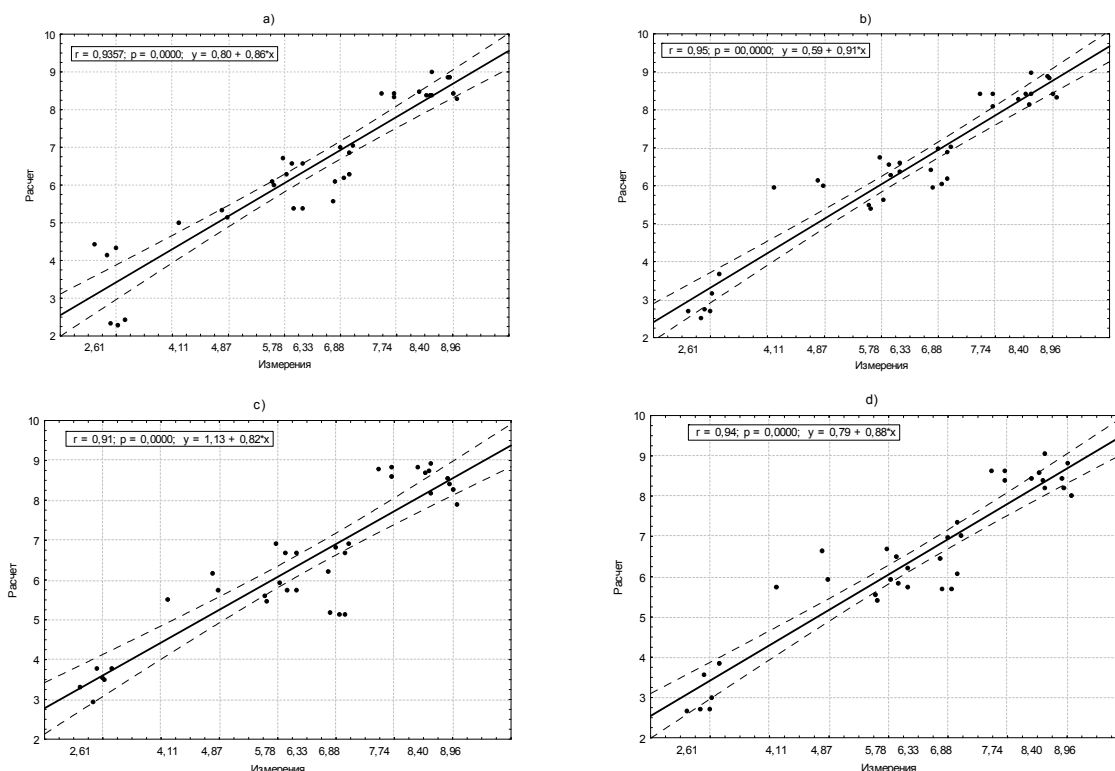


Рисунок 1 — Адекватности моделей: инвертаза — TM, P₂O₅, pH, гумус а) Cu; б) Zn; в) Pb; д) Cd

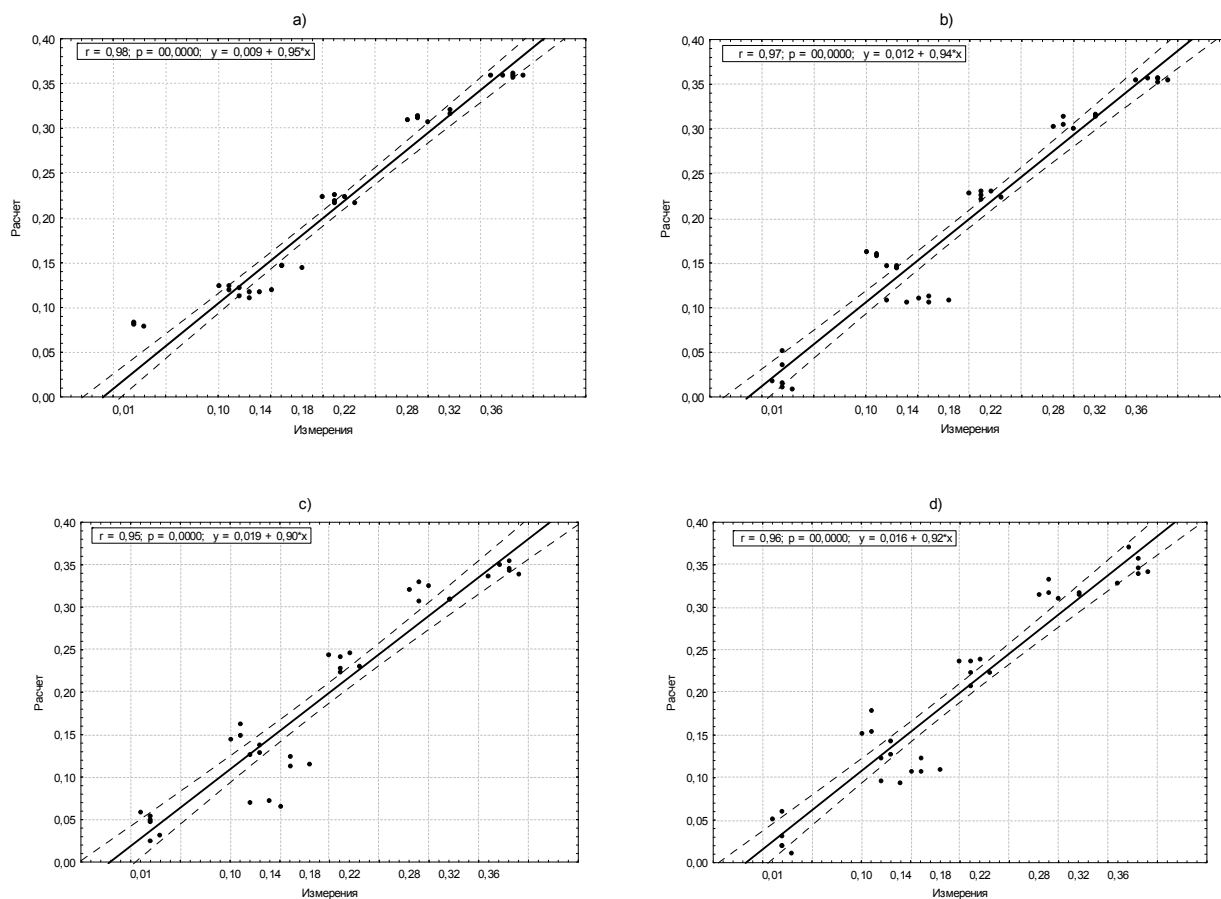


Рисунок 2 — Адекватности моделей: уреазы — ТМ, P₂O₅, pH, гумус; а) Cu; б) Zn; в) Pb; д) Cd

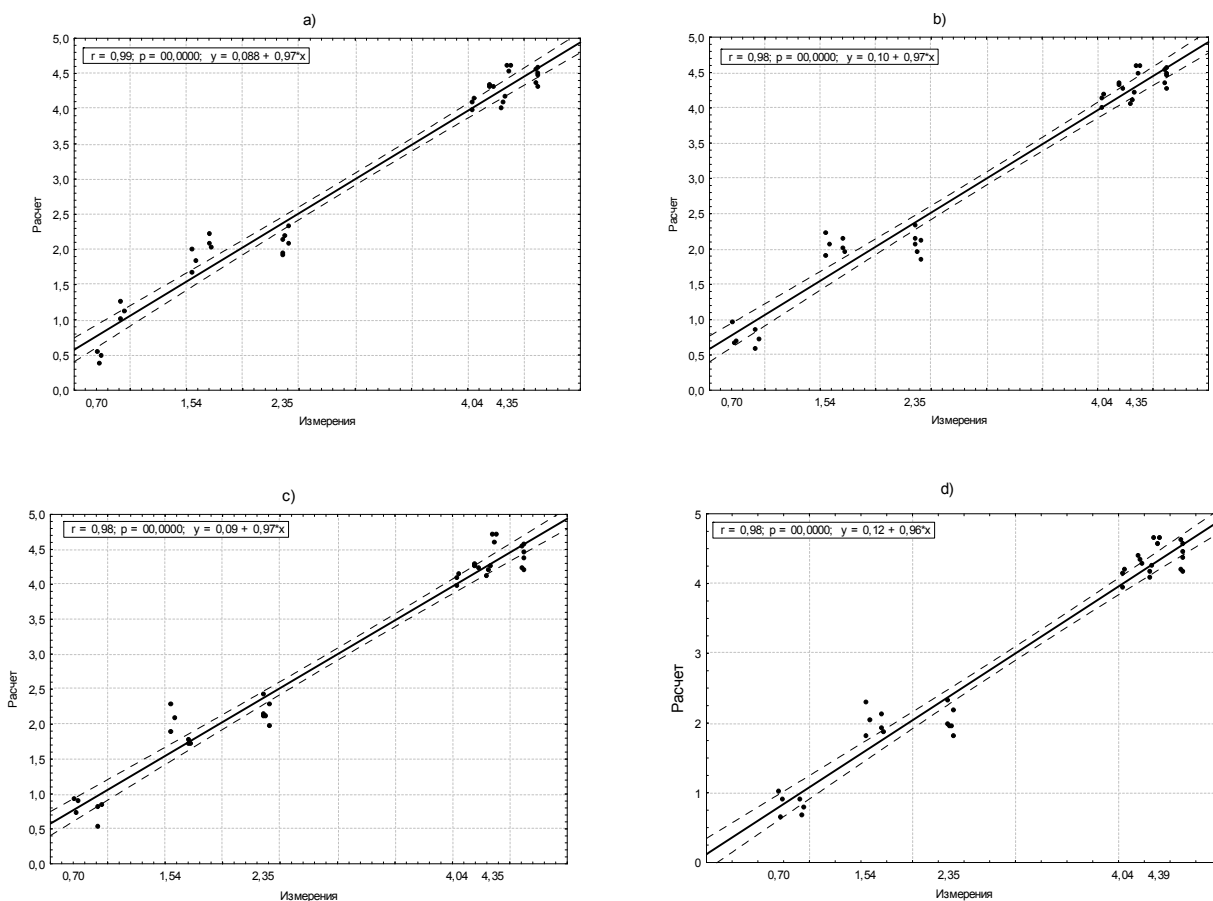


Рисунок 3 — Адекватности моделей: протеаза — ТМ, P₂O₅, pH, гумус; а) Cu; б) Zn; в) Pb; д) Cd

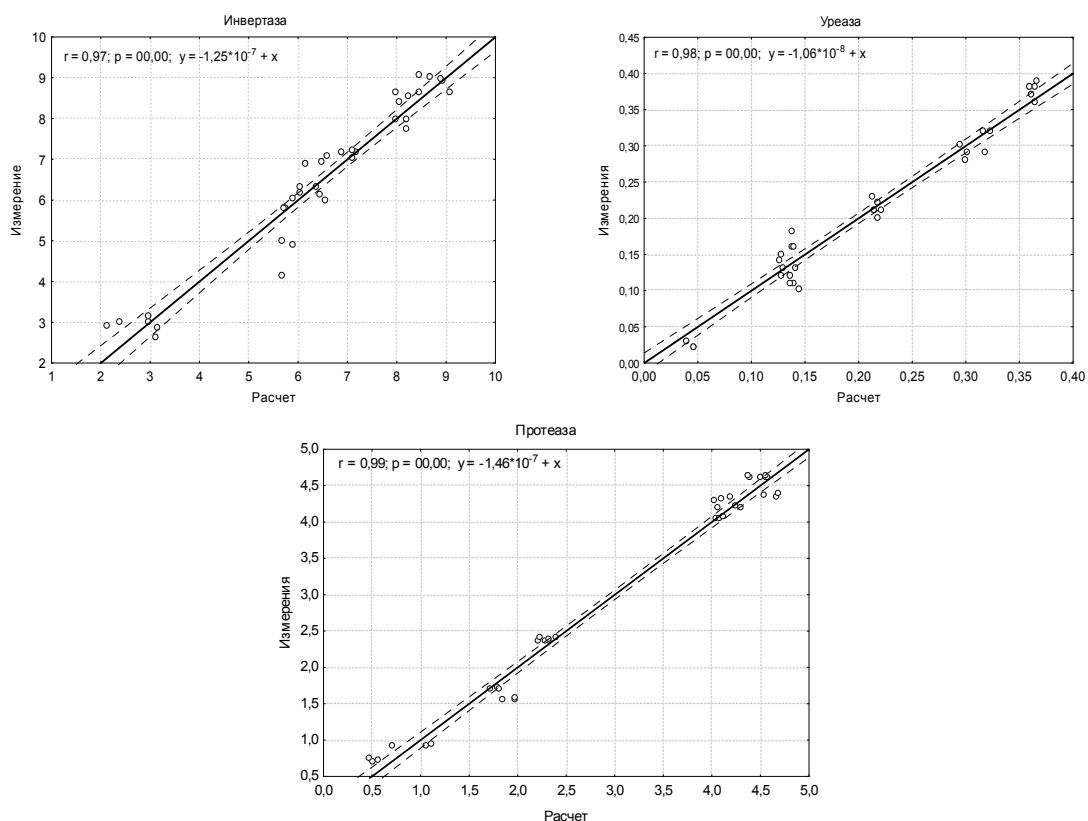


Рисунок 4 — Адекватности моделей: ферментативная активность — Cu; Zn; Pb; Cd ТМ, P₂O₅, pH, гумус

Выполненная процедура множественной корреляции и регрессии между активностью ферментов (инвертазы, уреазы и протеазы) и концентрацией тяжелых металлов, а также агрохимическими показателями позволила

провести оценку относительного вклада независимых признаков в результативный признак. Оценка проведена для средних значений всех признаков. Ее результаты приведены в таблице 7.

Таблица 7 — Долевой относительный вклад в ферментативную активность почв, %

№	Активность	Cu		Zn		Pb		Cd		P ₂ O ₅		pH		Гумус	
		доля	p	доля	p	доля	p	доля	p	доля	p	доля	p	доля	p
13	Инертаза	-17,3	≤0,05	-28,5	≤0,05	14,4	>0,05	-10,8	>0,05	-9,5	≤0,05	-4,5	>0,05	8,9	>0,05
14	Уреаза	-23,3	≤0,05	-18,8	≤0,05	4,0	>0,05	-1,5	>0,05	-8,0	≤0,05	-34,7	≤0,05	-6,8	>0,05
15	Протеаза	-11,0	≤0,05	-9,0	>0,05	-18,4	≤0,05	16,5	≤0,05	12,3	≤0,05	-11,8	≤0,05	19,5	≤0,05

Из данных таблицы 7 следует, что особый вклад в снижение активности ферментов вносят тяжелые металлы (в основном медь и цинк) и pH (в случае инвертазы вклад pH не достоверен). В случае протеазы установлено, что в условиях опыта активность фермента возрастает при увеличении в почве содержания подвижного фосфора и гумуса (вариант 15). Из представленных результатов исследования следует, что более чувствительными к действию тяжелых металлов на ферментативную активность

почв являются инвертаза и уреазы. Активность данных почвенных ферментов можно использовать в качестве диагностического экспресс-метода оценки загрязнения почв промышленной зоны тяжелыми металлами, в частности, медью и цинком, протеазную активность — как индикатор загрязнения почвы свинцом.

В таблице 8 представлен диапазон изменения значений независимых признаков, в пределах которых можно использовать представленные модели.

Таблица 8 — Диапазон изменения значений независимых признаков

Показатель	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Pb, мг/кг	Cd, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	pH	Гумус, %
Минимум	0,86	0,69	0,41	0,016	237	3,89	1,6
Максимум	61,4	40,07	5,3	0,118	956	7	2,94

Таким образом, полученные модели следует использовать, во-первых, только в указанных диапазонах изменения значений независимых признаков, во-вторых, в приложении к промышленным зонам. Для того, чтобы распространить действие этих моделей на земли иного назначения, необходимы дополнительные исследования.

Выводы

1. Концентрация тяжелых металлов существенным образом влияет на ферментативную активность почв. Корреляционная связь между содержанием тяжелых металлов и активностью ферментов почв сильная, обратная и достоверная при уровне значимости гораздо меньше 0,05.

2. Множественные коэффициенты корреляции имеют высокое значение 0,95–0,99. Нулевая гипотеза об отсутствии корреляции отвергается: $H_0 : R = 0$ и принимается альтернативная гипотеза, свидетельствующая о достоверности корреляции и регрессии, так как $F \geq F_{st}$ при уровне значимости $p \leq 0,05$.

3. Анализ множественной корреляции свидетельствует о сложном взаимодействии независимых переменных как между собой, так и об их влиянии на величину результативного признака.

4. Адекватность моделей активности ферментов (инвертазы, уреазы и протеазы), построенных по измеренным значениям концентраций тяжелых металлов агрохимических показателей (рН, P_2O_5 и гумус), характеризуется высокой степенью достоверности.

5. Из представленных результатов исследования следует, что наиболее чувствительными к действию тяжелых металлов являются инвертаза и уреазы, изменение активности которых можно использовать как чувствительный прогностический критерий уровня деградации почвы промышленной зоны.

6. Полученные модели следует использовать: во-первых, только в указанных диапазонах изменения значений независимых признаков, во-вторых, в приложении к промышленным зонам. Для того, чтобы распространить действие этих моделей на земли иного назначения, необходимы дополнительные исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гельцер, Ю. Г. Биологическая диагностика почв / Ю. Г. Гельцер. — М.: МГУ, 1986. — 79 с.
2. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. Издание официальное. — М.: Изд-во стандартов, 1989.
3. ГОСТ 17.43.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. Издание официальное. — М.: Изд-во стандартов, 1989.
4. Галиулин, Р. В. Ферментативная индикация загрязнения почв тяжелыми металлами / Р. В. Галиулин, Р. А. Галиулина // Агрохимия. — 2006. — № 11. — С. 84–95.
5. Минеев, В. Г. Практикум по агрохимии: учеб. пособие для вузов по спец. «Агрохимия и почвоведение» / В. Г. Минеев. — М.: МГУ, 1989. — 303 с.
6. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев. — М.: Наука, 1990. — 189 с.
7. Айвазян, С. А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. — М.: Наука, 1983. — 245 с.
8. Жученко, Ю. М. Информационные технологии в биологии и химии / Ю. М. Жученко. — Гомель: УО ГГУ им Ф. Скорины, 2010. — 148 с.

Поступила 28.03.2013

УДК 614.876.06.:621.039.58

ОЦЕНКА СРЕДНЕЙ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ЗА СЧЕТ ЛЕСНОЙ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

М. А. Шабалева, Н. И. Булко, А. К. Козлов

Гомельский государственный медицинский университет
Институт леса Национальной Академии наук Беларуси, г. Гомель

Исследовано накопление ^{137}Cs лесной пищевой продукцией на территории Гомельского ГПЛХО. Установлены различные уровни потребления радиоцезия грибами и ягодами в зависимости от типа леса и лесорастительных условий, следов радиоактивного загрязнения. Предложено для оценки внутренней дозы облучения населения за счет лесной пищевой продукции учитывать отличия в накоплении радионуклидов грибами и ягодами в различных условиях произрастания. Рассчитаны примерные ежегодные дозы внутреннего облучения за счет употребления грибов населением на территории различных лесхозов Гомельской области.

Ключевые слова: доза внутреннего облучения, лесная пищевая продукция, грибы, ягоды, коэффициент перехода, ^{137}Cs .

ESTIMATION OF INTERNAL DOSE ACCUMULATED IN HUMAN BODY FROM FOREST FOOD PRODUCTION

M. A. Shabaleva, N. I. Bulko, A. K. Kozlov

Gomel Medical University
Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel

The accumulation of ^{137}Cs in forest food products in Gomel region was studied. The study determined different levels of radiocaesium uptake with mushrooms and berries, depending on the type of wood, site types, traces of radioactive contamination. It was proposed to take into account the differences in accumulation of radionuclides in