

7. Boskresenskiy K.P. (1967). *Norma i izmenchivost godovogo stoka rek SSSR* [The rate and variability of annual runoff of rivers in the USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 546 p. (in Russian).
8. Report. *Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Mykolaivskii oblasti u 2010 rotsi* [A regional report on the state of the environment in the Mykolaiv region in 2010]. Derzhavne upravlinnia okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Mykolaivskii oblasti [State Department of Environmental Protection in the Mykolaiv region]. Mykolaiv, 2011, 188 p. (in Ukrainian).
9. Chumachenko H.K., Trokhymenko H.H. (2013). *Otsinka yakosti vody ricky Mertvovod yak odniiei z prytok Pivdennoho Buhu* [Evaluation of water quality of the River Mertvovod as one of the tributaries of the Southern Bug]. V Mizhnarodna naukoivo-tekhnichna konferentsiia «Problemy ekolohii ta enerhozberezhennia v sudnobuduvanni» [Proceedings of international scientific conference: «Problems of Environment and Energy in shipbuilding»]. Mykolaiv, p. 76 (in Ukrainian).

УДК 616+631.95:631.445.2/4+633

ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ Cd, Zn, Cu, Pb, Co, Ni ПО ПОЛЯРНОСТИ ИХ ДИТИЗОНАТОВ И ПОКАЗАТЕЛЮ LD₅₀

Н.О. Рыженко, В.Н. Кавецкий

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

Фітотоксичність важких металів (Cd, Cu, Pb, Zn, Co, Ni) запропоновано характеризувати за показником LD₅₀, а фізико-хімічні властивості — відповідно за величиною полярності їх дитизонатів. Виявлено тісний зв'язок між фітотоксичністю Cd, Cu, Pb, Zn, Co, Ni та полярністю їх дитизонатів. Визначення зв'язку між дипольним моментом та іншими екоотоксикологічними критеріями безпеки важких металів, такими як мобільність, біодоступність, може бути перспективним для оцінювання їх токсичності.

Ключові слова: важкі метали, екоотоксичне оцінювання, фітотоксичність, пробіт-аналіз, LD₅₀, забруднення, дипольний момент, ячмінь ярий.

Спектр проявления токсического процесса определяется строением токсиканта [1, 2]. В работах В.Н. Кавецкого, Л.И. Бублик показана зависимость между основными физико-химическими свойствами (растворимость, персистентность, летучесть и др.) и поведением пестицидов в окружающей среде от их полярности; разработан алгоритм экстракционно-хроматографического систематического анализа разнополярных пестицидов в объектах окружающей среды [3, 4]. В цикле работ данного направления была продемонстрирована устойчивость пестицидов в почве, воде, образцах растений, тесно связанная с полярностью препаратов [3–5]. Похожей научно обоснованной модели оценки поведения других токсикантов, в т.ч. и тяжелых металлов (ТМ), в окружающей среде по их полярности не существует. Посколь-

ку определить все соединения, в которых содержатся ионы металлов в почве, а тем более их полярность, не представляется возможным, мы предположили, что металлы одинаково влияют на полярность их соединений. Поэтому по изменению полярности, которое вызвано добавлением различных металлов к модельным соединениям, можно судить об их токсичности в экосистеме. В качестве модельного соединения выбран дифенилтиокарбазон (дитизон), так как он образует с основными металлами соединения, дипольные моменты которых определены с помощью установления зависимости величины Rf вещества от диэлектрической проницаемости подвижной фазы методом хроматографии в тонком слое сорбента [4, 5]. В нашей работе показана попытка установить связь между фитотоксичностью ТМ (которую оценивали с помощью показателя LD₅₀) и полярностью их дитизонатов (μ).

Зависимость «доза — эффект» показывает свойства токсиканта, поскольку каждый металл имеет свой диапазон токсических концентраций по отношению к определенному биообъекту [1, 2]. Количественную оценку фитотоксичности, основанную на изучении зависимости «доза — эффект», как правило, проводят в эксперименте с последующим расчетом показателя LD₅₀ — чем выше LD₅₀, тем меньше фитотоксичность поллютанта [1, 2, 6, 7]. К сожалению, современная экотоксикологическая оценка опасности поллютантов проводится по ряду показателей для биологических объектов, не учитывая LD₅₀ и LD₉₅ для растительных объектов экосистемы [1, 7]. Необходимость таких исследований также приобретает особую актуальность в условиях загрязнения поллютантами агроэкосистем, количество и качество биопродукции в которых являются жизненно важными для человека как потребителя растениеводческой продукции. Кроме того, показатель LD₅₀ позволит провести объективную сравнительную оценку токсичности поллютантов по отношению к биообъекту. Цель работы — обосновать целесообразность внедрения качественно нового интегрального подхода к оценке фитотоксичности ТМ и их LD₅₀ на основании их физико-химических свойств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Модельный опыт предполагал внесение солей ТМ в 0–20 см слой почвы по схеме.

В качестве тест-культуры использовался ячмень яровой. Закладка и проведение полевого и вегетационного опытов проводились исходя из общепринятых методик [6]. Экстракцию подвижных и потенциально подвижных форм Cd, Pb, Cu, Zn, Co, Ni в 0–20 см слое почвы проводили 1Н НСl с последующим определением хроматографическим методом в тонком слое адсорбента (№ 50-97 от 19.06.1997 г.) [8]. Учет надземной фитомассы проводили в вегетационном опыте в фазе полной спелости культуры (табл. 1). Для оценки некоторых существенных различий в опытах

Схема внесения солей

Контроль	
1 ПДК Cu ²⁺ (100 мг/кг), 1,5 ПДК Cu ²⁺ (150), 2 ПДК Cu ²⁺ (200), 3 ПДК Cu ²⁺ (300 мг/кг)	2 ПДК Zn ²⁺ (600 мг/кг), 3 ПДК Zn ²⁺ (900), 4 ПДК Zn ²⁺ (1200), 5 ПДК Zn ²⁺ (1500 мг/кг)
1 ПДК Co ²⁺ (60 мг/кг), 5 ПДК Co ²⁺ (300), 8 ПДК Co ²⁺ (480), 9 ПДК Co ²⁺ (540), 10 ПДК Co ²⁺ (600 мг/кг)	1 ПДК Ni ²⁺ (70 мг/кг), 3 ПДК Ni ²⁺ (210), 5 ПДК Ni ²⁺ (350), 7 ПДК Ni ²⁺ (420), 10 ПДК Ni ²⁺ (700 мг/кг)
5 ПДК Cd ²⁺ (15 мг/кг), 10 ПДК Cd ²⁺ (30), 20 ПДК Cd ²⁺ (60), 30 ПДК Cd ²⁺ (90), 50 ПДК Cd ²⁺ (150), 100 ПДК Cd ²⁺ (300 мг/кг)	5 ПДК Pb ²⁺ (150 мг/кг), 10 ПДК Pb ²⁺ (300), 15 ПДК Pb ²⁺ (450), 30 ПДК Pb ²⁺ (900), 40 ПДК Pb ²⁺ (1200), 50 ПДК Pb ²⁺ (1500 мг/кг)

использовали однофакторный дисперсионный анализ, рассчитывая значения наименьшей существенной разницы (НСР₀₅). При проведении пробит-анализа применяли методику В.А. Доспехова [6, 9]. Суть методики определения полярности дитизонатов ТМ была в определении зависимости величины *Rf* вещества от диэлектрической проницаемости подвижной фазы методом хроматографии в тонком слое сорбента [4, 5]. Значения дипольного момента дитизоната металла рассчитывали по формуле:

$$\mu = \frac{Rf_2^2 x \epsilon_1 - Rf_1^2 x \epsilon_2}{Rf_2^2 - Rf_1^2}, \quad (1)$$

где *Rf* — расстояние, которое прошло пятно дитизоната металла к фронту подвижной фазы при определенной диэлектрической проницаемости подвижной фазы (ϵ).

Исследуемые почвы: дерново-среднеподзолистая супесчаная ($pH_{\text{кол.}} - 5,5$, гидролитическая кислотность — 2,7 мг-экв/100 г, содержание гумуса по Тюрину — 0,87%, степень насыщенности основаниями — 58%) и чернозем типичный малогумусный ($pH_{\text{кол.}} - 6,2$, степень насыщенности основаниями — 82,3%, содержание гумуса — 2,89%) под посевом ячменя ярового. Исследования проводились на базе Института сельскохозяйственной микробиологии и

агропромышленного производства НААН (г. Чернигов), в т.ч. их экспериментальная часть — на протяжении 1999–2006 гг.

В таблице 1 представлены результаты эксперимента относительно зависимости фитомассы ячменя ярового (*Hordeum vulgare*) от дозы ТМ, а также указан десятичный логарифм дозы содержания металла и значения пробита в зависимости от преобразования процента гибели в пробиты [6, 9].

Таблица 1

Зависимость фитомассы ячменя ярового от концентрации тяжелых металлов в почве в условиях монометаллического загрязнения

Металл	<i>D</i> Концентрация в почве, мг/кг (подвижная форма)	Общая фитомасса, г	Фитомасса, % по отношению к контролю	Уменьшение (угнетение) фитомассы, %	lg <i>D</i> (ось «0 – x»)	Значение пробита (ось «0 – y»)
	Контроль					
<i>Дерново-среднеподзолистая почва</i>						
Cd	22,9	25,3	80,70	19,3	1,36	4,12
	46,4	18,2	57,80	42,2	1,67	4,80
	77,1	12,3	39,30	60,7	1,89	5,28
	101,2	7,3	23,55	76,5	2,00	5,74
	153,1	1,4	4,40	95,6	2,18	6,75
	НСП ₀₅ 1,32					
Pb	231,9	27,2	86,50	13,5	2,37	3,92
	347,7	24,6	78,30	21,7	2,54	4,23
	695,1	15,2	48,30	51,7	2,84	5,05
	930,0	7,5	24,19	75,8	2,97	5,71
	1158,3	1,7	5,50	94,5	3,06	6,64
	НСП ₀₅ 2,85					
Cu	67,2	28,2	89,70	10,3	1,83	3,72
	102,9	25,1	80,00	20,0	2,01	4,16
	135,5	15,0	48,40	51,6	2,13	5,05
	173,8	5,5	17,60	82,4	2,24	5,92
	НСП ₀₅ 3,03					
Zn	427,4	26,8	85,40	14,6	2,63	3,96
	550,3	24,8	79,10	20,9	2,74	4,19
	685,7	11,5	37,1	62,9	2,84	5,33
	743,0	3,5	11,20	88,8	2,87	6,23
	НСП ₀₅ 3,94					
Co	36,5	30,8	98,0	2,0	1,56	2,95
	125,0	29,2	93,0	7,0	2,10	3,52
	159,6	16,64	53,0	47,0	2,20	4,92
	191,0	8,80	28,0	72,0	2,28	5,58
	219,6	3,2	10,2	89,8	2,34	6,28
	НСП ₀₅ 3,2					

Продолжение таблицы 1

Металл	<i>D</i> Концентрация в почве, мг/кг (подвижная форма)	Общая фитомасса, г	Фитомасса, % по отношению к контролю	Уменьшение (угнетение) фитомассы, %	lg <i>D</i> (ось «0 – x»)	Значение пробита (ось «0 – y»)
	Контроль					
Ni	39,0	30,9	98,5	1,5	1,59	2,95
	91,4	29,3	93,2	6,8	1,96	3,52
	148,9	17,0	54,0	46,0	2,17	4,90
	178,9	8,0	25,5	74,5	2,25	5,67
	210,0	2,8	9,0	91,0	2,32	6,34
	НСП ₀₅ 3,1					
<i>Чернозём типичный малогумусный</i>						
Cd	20,8	30,2	94,30	6,0	1,32	3,45
	41,7	23,4	73,10	26,9	1,62	4,39
	68,2	15,8	49,30	50,7	1,83	5,03
	92,5	10,5	33,9	66,1	1,97	5,41
	138,9	5,6	17,50	82,5	2,14	5,95
	НСП ₀₅ 3,45					
Pb	212,6	29,4	91,73	8,3	2,33	3,59
	319,7	31,5	98,41	1,6	2,50	2,95
	653,8	18,7	58,50	41,5	2,82	4,8
	902,5	10,0	32,3	67,7	2,95	5,47
	1062,0	3,3	10,20	89,8	3,03	6,23
	НСП ₀₅ 3,45					
Cu	59,5	30,8	96,10	3,9	1,77	3,25
	87,6	28,9	90,30	9,7	1,94	3,72
	111,0	20,0	64,52	35,5	2,05	4,64
	144,3	15,4	48,10	51,9	2,16	5,05
	НСП ₀₅ 3,45					
Zn	382,3	29,5	92,20	7,8	2,58	3,59
	483,5	27,7	86,70	13,3	2,68	3,87
	640,5	16,3	52,58	47,4	2,81	4,92
	656,5	9,8	30,50	69,5	2,82	5,52
	НСП ₀₅ 3,45					
Co	41,5	31,1	99,0	1,0	1,62	2,67
	132,7	30,0	95,6	4,4	2,12	3,25
	164,0	18,5	58,9	41,1	2,21	4,73
	215,8	9,8	31,2	68,8	2,33	5,5
	245,5	0,6	1,8	98,2	2,39	7,05
	НСП ₀₅ 3,4					

Металл	<i>D</i> Концентрация в почве, мг/кг (подвижная форма)	Общая фитомасса, г	Фитомасса, % по отношению к контролю	Уменьшение (угнетение) фитомассы, %	lg <i>D</i> (ось «0 – x»)	Значение пробита (ось «0 – y»)
	Контроль					
Ni	43,0	31,1	99,0	1,0	1,63	2,67
	97,0	29,6	94,3	5,7	1,99	3,45
	154,8	18,2	58,1	41,9	2,19	4,80
	186,5	8,6	27,4	72,6	2,27	5,61
	222,5	3,5	11,1	88,9	2,35	6,23
НСР ₀₅ 3,5						

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Графическая формализация зависимости «доза – эффект» представлена на рисунке 1. Зависимость между LgD и пробитом для Cd (дерново-среднеподзолистая почва) имеет вид:

$$y = 3,0274x - 0,1749. \quad (2)$$

Отсюда, если пробит равен 5 (расчёт LD₅₀), то

$$5 = 3,0274x - 0,1749, \quad \text{следовательно } x = 1,7. \quad (3)$$

Если пробит равен 6,64 (расчёт LD₉₅), то

$$6,64 = 3,0274x - 0,1749, \quad \text{отсюда } x = 2,3. \quad (4)$$

Антилогарифм (1,7) = 50 – LD₅₀. Антилогарифм (2,3) = 199,5 – LD₉₅.

Аналогические зависимости были получены и для остальных ТМ на обеих исследуемых почвах (табл. 2).

Для дерново-среднеподзолистой почвы LD₅₀ и LD₉₅ соответственно составляли (мг/кг): 50 и 200 (Cd), 537 и 1514 (Pb), 129 и 263 (Cu), 603 и 913 (Zn), 155 и 398 (Co), 135 и 311 (Ni); для чернозёма – 68 и 234 (Cd), 661 и 1660 (Pb), 141 и 302 (Cu), 616 и 1000 (Zn), 162 и 363 (Co), 150 и 324 (Ni).

Поскольку использованный нами метод позволяет лишь приблизительно оценить LD₉₅ и LD₉₉ (по ним нельзя рассчитать доверительные интервалы этих значений)

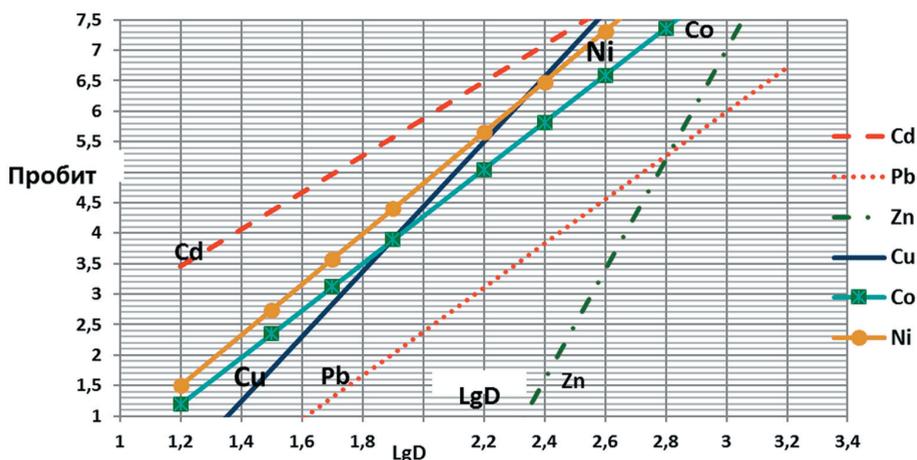


Рис. 1. Зависимость пробита от дозы тяжелых металлов в дерново-среднеподзолистой почве

Таблица 2

Зависимости между LgD и пробитом

Металл	Уравнения
<i>Дерново-среднеподзолистая почва</i>	
Cd	$y = 3,0274 x - 0,1749 (R^2 = 0,94)$
Pb	$y = 3,6038 x - 4,8227 (R^2 = 0,92)$
Zn	$y = 9,036 x - 20,099 (R^2 = 0,85)$
Cu	$y = 5,3198 x - 6,2087 (R^2 = 0,93)$
Co	$y = 3,8571 x - 3,4384 (R^2 = 0,80)$
Ni	$y = 4,1516 x - 3,4822 (R^2 = 0,88)$
<i>Чернозём типичный малогумусный</i>	
Cd	$y = 3,0225 x - 0,5224 (R^2 = 0,99)$
Pb	$y = 4,113 x - 6,6035 (R^2 = 0,84)$
Zn	$y = 7,6369 x - 16,317 (R^2 = 0,89)$
Cu	$y = 4,9278 x - 5,594 (R^2 = 0,95)$
Co	$y = 4,8313 x - 5,6795 (R^2 = 0,71)$
Ni	$y = 4,944 x - 5,7593 (R^2 = 0,92)$

[6], для оценки фитотоксичности ТМ использовали показатель LD₅₀ на исследуемых почвах. На чернозёме токсичность свинца для ячменя ярового меньше, чем на дерново-среднеподзолистой почве. Это может быть связано с большей буферной емкостью чернозёма, значения LD₅₀ ТМ на котором, в целом, меньше, чем значения LD₅₀ на дерново-среднеподзолистой почве. Кроме того, небольшие дозы свинца часто не только не угнетают продуцирование фитомассы культур, а и вызывают стимулирующий эффект, который наблюдается при подкормке микроудобрениями

[10–12]. Установлено, что в небольших количествах свинец необходим для растительных организмов. Несмотря на то, что свинец присутствует во всех живых организмах и доказана, с одной стороны, его жизненная необходимость, а с другой — токсичность, биологическая роль и механизмы действия элемента исследованы очень слабо [11, 12]. Поэтому при постановках эксперимента по изучению зависимости «доза — эффект» следует учитывать не только эффект угнетения, но и гормезисное (стимулирующее) действие ТМ, которые в небольших количествах в отдельных случаях являются ультра- и микроэлементами [10–12].

Нами была проведена сравнительная оценка дитизонатов металлов по их полярности. По увеличению дипольного момента (μ) ряд ТМ имел вид: Cu > Cd > Ni > Co > Pb > Zn (табл. 3).

Между показателем LD₅₀ и дипольным моментом μ дитизонатов Zn²⁺, Pb²⁺, Co²⁺, Ni²⁺, Cd²⁺, Cu²⁺ была произведена попытка установить зависимость, графическая формализация которой представлена на рисунке 2. Для описания зависимости использовали линейную формализацию: $y = -0,0012 x + 9,0376$ (чернозём), $y = -0,0014 x + 9,0483$ (дерново-среднеподзолистая почва). Значение достоверности данного вида аппроксимации связи (коэффициент детерминации R^2) было высоким — 0,77 для дерново-среднеподзолистой

Таблица 3

Дипольный момент (μ) дитизонатов Zn²⁺, Pb²⁺, Co²⁺, Ni²⁺, Cd²⁺, Cu²⁺ и значения LD₅₀ тяжелых металлов

Соединение	μ	LD ₅₀ ТМ, мг/кг подвижных форм	
		Дерново-среднеподзолистая почва	Чернозём типичный малогумусный
Zn(H Dz)2	8,24	603	616
Pb(H Dz)2	8,33	537	661
Co(H Dz)2	8,54	155	162
Ni(H Dz)2	8,91	135	150
Cd(H Dz)2	8,95	50	68
Cu(H Dz)2	9,13	129	141

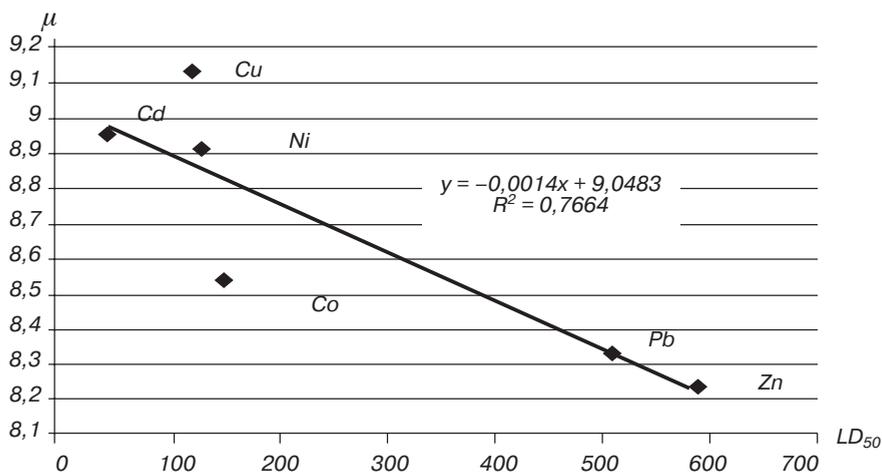


Рис. 2. Зависимость между показателями LD₅₀ и дипольным моментом (μ) тяжелых металлов в условиях дерново-среднеподзолистой почвы

почвы и 0,74 для чернозёма. Значения коэффициента детерминации дают основание сделать вывод о присутствии существенной связи между исследуемыми показателями LD₅₀ и μ дитизонатов Zn²⁺, Pb²⁺, Co²⁺, Ni²⁺, Cd²⁺, Cu²⁺, а также о целесообразности использования данного вида линейной аппроксимации. Свойства почв в большей степени не повлияли на степень связи между полярностью и показателем LD₅₀.

ВЫВОДЫ

При проведении экотоксической оценки опасности поллютантов, которая учитывает ряд показателей, в т.ч. и фитотоксичность, целесообразно использовать LD₅₀. По показателю LD₅₀ исследуемые ТМ разместились в такой нисходящий ряд фитотоксичности: Cd > Cu > Ni > Co > Pb > Zn (дерново-среднеподзолистая почва) и Cd > Cu > Ni > Co > Zn > Pb (чернозём типичный малогумусный). Величина LD₅₀ составляла на чернозёме и на дерново-среднеподзолистой почве соответствен-

но (мг/кг): Cd – 68 и 50, Cu – 141 и 129, Pb – 661 и 537, Zn – 616 и 603, Ni – 135 и 150, Co – 155 и 162 подвижных форм. На чернозёме токсичность свинца для ячменя ярового меньше, чем на дерново-среднеподзолистой почве, что, очевидно, связано с большей буферной ёмкостью чернозёма, значения LD₅₀ ТМ которого, в целом, меньше значений LD₅₀ на дерново-среднеподзолистой почве.

Установлена тесная связь между фитотоксичностью Cd, Cu, Pb, Zn, Co, Ni и полярностью их дитизонатов. Предложено зависимость между дипольным моментом (μ) дитизонатов металлов и их фитотоксичностью (LD₅₀) оценивать линейной аппроксимацией. Значение достоверности данного вида аппроксимации (коэффициент детерминации R^2) составлял 0,77 для дерново-среднеподзолистой почвы и 0,74 для чернозёма типичного малогумусного, что дает основание сделать вывод о существенной связи между фитотоксичным эффектом ТМ и их физико-химическими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куценко С.А. Основы токсикологии: научно-методическое издание /С.А. Куценко. – СПб.: ООО «Издательство фолиант», 2004. – 720 с.
2. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н.Ф. Реймерс. – М.: Россия молодая, 1994. – 367 с.
3. Kavetsky V.M. Physical and Chemical Criteria for Pesticides Determination and Risk Assessment in Ecosystem / V.M. Kavetsky, N.O. Ryzhenko // Polish J. Chem. – 2008. – Vol. 82. – P. 361–369.

4. А.с. № 1296930 СССР А1G01N30/9615.11.ВНИИГПЭ. Способ определения дипольного момента органических соединений / В.Н. Кавецкий, Л.И. Бублик (СССР). — № 3753317/23-25; заявл. 19.06.1984; опубл. 15.03.1987, Бюл. № 10.
5. Екоотоксикологічна оцінка важких металів (Cd, Cu, Ni, Co, Pd, Zn) у системі ґрунт — рослина за полярністю їхніх дитизонатів / В.М. Кавецький, Н.О. Риженко, Т.В. Юрченко, С.В. Кавецький // Наукові записки НаУКМА. — 2012. — Т. 132. — С. 63–68.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. — М.: Агропромиздат, 1985. — 351 с.
7. Valavanidis A. Metal Pollution in ecosystems. Ecotoxicology Studies and Risk Assessment [Электронный ресурс] / A. Valavanidis, Th. Vlachogiani // Science advances on Environment, Toxicology and Ecotoxicology issues. — 2010. — Режим доступа: www.chem.-tox-ecotox.org/wp/wp-content/uploads/2010/01/02-Metals-17_01_2010.pdf
8. Методичні вказівки по визначенню Hg, Zn, Co, Cd, Cu, Ni в ґрунті, рослинах, у воді методом тонкошарової хроматографії (№ 50–97 від 19.06.97) / В.М. Кавецький, Н.А. Макаренко, А.М. Ліщук, Г.О. та ін. // Методические указания по определению микроколичеств пестицидов в пищевых продуктах в кормах и внешней среде. — К.: Минэкологии Украины, 2001. — Вып. 29. — С. 18–24.
9. Bliss C.I. The method of probits / C.I. Bliss // Science. — 1934. — Vol. 79. — P. 38–39.
10. Ильин В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А.И. Сысо. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. — 229 с.
11. Риженко Н.О. Екоотоксикологічна оцінка фітотоксичності Cd, Cu, Zn, Pb за умов моно- та мультиметалічного забруднення ґрунту / Н.О. Риженко, В.М. Кавецький // Наукові записки НаУКМА. — 2009. — Т. 69. — С. 77–81.
12. Егошина Т.Л. Свинец в почвах и растениях северо-востока Европейской части России / Т.Л. Егошина, Л.Н. Шихова // Вестник ОГУ. — 2008. — № 10 (92). — С. 135–141.

REFERENCES

1. Kutsenko S.A. (2004). *Osnovy toksikologii: nauchno-metodicheskoe izdanie* [Basics of toxicology: scientific and methodological edition]. SPb.: OOO Izdatelstvo foliant Publ., 720 p. (in Russian).
2. Reymers N.F. (1994). *Ekologiya (teorii, zakony, pravila, printsipy i gipotezy)* [Ecology (theories, laws, rules, principles and hypotheses)]. Moskva: Rossiya molodaya Publ., 367 p. (in Russian).
3. Kavetsky V.M., Ryzhenko N.O. (2008). Physical and Chemical Criteria for Pesticides Determination and Risk Assessment in Ecosystem. Polish J. Chem Publ., vol. 82, pp. 361–369 (in Polish).
4. Kavetskiy V.N., Bublik L.I. A.s. No. 1296930 SSSR A1G01N30/9615.11.VNIIGPE. *Sposob opredeleniya dipolnogo momenta organicheskikh soedineniy* [A method of determining the dipole moment of organic compounds]. No. 3753317/23-25, Ed. 10 (in Russian).
5. Kavets'kyy V.M., Ryzhenko N.O., Yurchenko T.V., Kavets'kyy S.V. (2012). *Ekotoksikologichna otsinka vazhkykh metaliv (Cd, Cu, Ni, Co, Pd, Zn) u systemi grunt — roslina za polyarnistuyu yikhnikh dytyzonativ* [Ecotoxicological assessment of heavy metals (Cd, Cu, Ni, Co, Pd, Zn) in the soil — plant system by the polarity of their dithizonates]. *Naukovi zapysky NaUKMA*, vol. 132, pp. 63–68 (in Ukrainian).
6. Dospikhov B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta* [Methods of field experience]. Moscow: Agropromizdat Publ., 351 p. (in Russian).
7. Valavanidis A., Vlachogiani Th. (2010). Metal Pollution in ecosystems. Ecotoxicology Studies and Risk Assessment. Science advances on Environment, Toxicology and Ecotoxicology issues. [Electronic resource], available at: www.chem.-tox-ecotox.org/wp/wp-content/uploads/2010/01/02-Metals-17_01_2010.pdf (in USA).
8. Kavets'kyy V.M., Makarenko N.A., Lishchuk A.M. (2001). *Metodychni vkazivky po vyznachenniyu Hg, Zn, Co, Cd, Cu, Ni v grunty, roslinakh, u vodi metodom tonkosharovoyi khromatohrafiyi (no. 50–97 vid 19.06.97)* [Guidelines for determination of Hg, Zn, Co, Cd, Cu, Ni in soil, plants, water by thin layer chromatography (no. 50–97 from 19.06.97)]. *Metodicheskije ukazaniya po opredeleniyu mikrokolichestv pestitsidov v pishchevykh produktakh v kormakh i vneshney srede* [Guidelines for determination of trace amounts of pesticides in food and feed in the external environment]. Kiev: Minekologii Ukrainy Publ., Vol. 29, pp. 18–24 (in Ukrainian).
9. Bliss C.I. (1934). The method of probits. Science Publ., Vol. 79, p. 38–39.
10. Ilin V.B., Syso A.I. (2001). *Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Novosibirskoy oblasti* [Trace elements and heavy metals in soils and plants of Novosibirsk Region]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN Publ., 229 p. (in Russian).
11. Ryzhenko N.O., Kavets'kyy V.M. (2009). *Ekotoksikologichna otsinka fitotoksichnosti Cd, Cu, Zn, Pb za umov mono- ta multymetalichnoho zabrudnennya gruntu* [Ecotoxicological assessment of phytotoxicity of Cd, Cu, Zn, Pb in conditions for mono- and soil pollution multi metal soil contamination]. *Naukovi zapysky NAUKMA*, Vol. 69, pp. 77–81 (in Ukrainian).
12. Yegoshina T.L., Shikhova L.N. (2008). *Svinets v pochvakh i rasteniyakh severo-vostoka Yevropeyskoy chasti Rossii* [Lead in soil and plants northeast of the European part of Russia]. Vestnik OGU, No.10 (92), pp. 135–141 (in Russian).