

УДК 631.81:636:16

**К ВОПРОСУ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
ОЦЕНКИ ПОЧВ НА СОДЕРЖАНИЕ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**Лебедевский Иван Анатольевич
ассистент*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

В статье приводятся основные нормативные требования, принятые Госстандартом для оценки загрязнения почвы тяжелыми металлами. В публикации автором рассчитана степень подвижности изучаемых им тяжелых металлов для чернозема выщелоченного Краснодарского края. Автор рекомендует пользоваться информационными технологиями при почвенно-экологической оценке и приводит пример расчета зависимости содержания подвижных форм марганца от динамики изменения гумуса и железа в программной среде statistica 6.0.

Ключевые слова: АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
ОЦЕНКА ПОЧВЫ, СОДЕРЖАНИЕ, ТЯЖЕЛЫЕ
МЕТАЛЛЫ.

UDC 631.81:636:16

**TO THE QUESTION OF AGROECOLOGICAL
ASSESSMENT OF SOILS ON THE PRESENCE
OF HEAVY METALS**Lebedovsky Ivan Anatolievich
lecturer*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

Main normative demands, accepted by Gosstandard to assess soil contamination with heavy metals are casted in the article. Degree of mobility of studied heavy metals for leached chernozem of Krasnodar region was computed by the author. The author recommends to use information technologies under soil-ecological assessment and makes an example of calculation of dependence of manganese mobile forms content on humus and iron dynamics change in software environment statistica 6.0.

Key words: AGROECOLOGICAL ASSESSMENT
OF SOIL, CONTENT, HEAVY METALS.

Жизнь на земле – самый выдающийся процесс, поглощающий все химические элементы периодической системы. Между живой и неживой природой существует материальная общность: химическая основа живых существ сформирована химическими элементами, встречающимися в окружающей среде [6]. Таким образом, сопровождая эволюцию жизни от коацерватных капель и простейших организмов до высших растений, животных и человека атомы стали незаменимым составляющим в метаболизме живых существ. Вовлекаясь в биологический пул одного организма, атомы заряжаются энергией, а после отмирания этого организма они могут передаваться по пищевой цепочке или уходить в мортмассу, попадая таким путём в земную кору и при этом теряя свою энергию. В связи с этим утверждение о существовании ядовитых элементов для живых организмов является некорректным, даже для таких элементов как ртуть, мышьяк, свинец, кадмий. Так как в их присутствии

<http://ej.kubagro.ru/2007/08/pdf/10.pdf>

проходила эволюция жизни на Земле, то, видимо, природа отвела какую-то биохимическую роль этим веществам в живом организме, о химизме которой на сегодняшний день мы можем и ничего не знать. Поэтому правильно будет говорить, что определённо высокая доза этих веществ может быть токсичной для живого организма, но никак ни сами вещества.

Таким образом, в процессе эволюции в биосфере сложилось равновесие между живыми организмами и количеством химических элементов, вовлекаемых в биогеохимический круговорот. Однако в условиях техногенеза человек научился концентрировать атомы в производственно-технологических циклах, обеспечивая коммуникативные условия своего существования, что в ряде регионов неизбежно привело к загрязнению выбросами биосферы, появились селитебные зоны. Почва, являясь неоднородной многокомпонентной частью биосферы, стала мощным барьером, способным накапливать химические элементы, временно выводя их из биогеохимического круговорота веществ. Поэтому, на сегодняшний день одной из главных задач является нормирование содержания химических веществ в почве.

В основу нормирования техногенных веществ положен критерий, который гласит, что не всякое поступление химических веществ в почву рассматривается как загрязнение, опасное для здоровья человека. Необходимо отметить, что нормирование содержания химических элементов в почве началось с 70-х годов XX века.

В почве допускается такое количество химических веществ, при котором прямой контакт с ней кожи человека или поступление в организм по цепочке почва-растение-человек (почва-растение-животное-человек и др.) гарантирует отсутствие отрицательного воздействия на здоровье, не нарушая процессы самоочищения почвы и не влияя на санитарные условия жизни.

В среднем на территории Российской Федерации около 12 % отобранных проб не соответствуют гигиеническим нормативам: из них 2 % – по содержанию пестицидов; 15 % – по содержанию тяжёлых металлов (ТМ); 18 % – по микробиологическим показателям [9].

Согласно ГОСТ 17.4.1.02, химические вещества по опасности подразделяют на III класса:

1 класс – высокоопасные вещества (мышьяк, ртуть, кадмий, селен, свинец, цинк, фтор, бензо(а)пирен);

2 класс – умеренно опасные вещества (бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром);

3 класс – малоопасные вещества (барий, вольфрам, ванадий, марганец, стронций, ацетофенон).

Все вышеперечисленные химические элементы относятся к тяжёлым металлам – это металлы, плотность которых больше 5000 кг/м^3 . Они относятся в основном к элементам побочных групп таблицы Д. И. Менделеева (их более 40) [1]. Однако следует помнить, что эти элементы играют в жизни растений двоякую роль: с одной стороны, они являются, как упомянуто выше, необходимым компонентом в метаболизме растений, относясь к микроэлементам (с содержанием от 0,01 до 0,0001 % в сухой массе растений) и ультрамикроэлементам (с содержанием менее 0,0001 % в сухой массе растений) [6]; с другой стороны, в повышенных концентрациях в почвенном растворе они способны накапливаться в растениях и оказывать на них токсическое действие [10].

С учётом этой особенности и особенностей содержания тяжёлых элементов в почве – их постоянной трансформацией из твёрдой фазы почвы в почвенный раствор и наоборот, необходимо подходить к изучению проблемы накопления тяжёлых металлов в почве комплексно, рассматривая не только содержание самого металла, но и форм его нахождения в почве.

Необходимо помнить, что почву в отличие от других компонентов биосферы (воздух, вода) невозможно полностью очистить от ТМ, даже самыми современными методиками, однако с помощью агротехнических – можно способствовать их переходу из одной формы в другую. Например, из почвенного раствора в почвенно-поглощающий комплекс или в необменное состояние, как происходит при известковании [4].

ТМ накапливаются, как правило, в верхнем гумусовом горизонте [10]. Период их полуудаления из почвы (выщелачивание, эрозия, хозяйственный вынос, дефляция) в зависимости от типа почвы составляет для:

- цинка 70–510 лет;
- кадмия – 13–110 лет;
- меди 310–1500 лет;
- свинца 740–5900 лет [1].

В почве тяжёлые металлы находятся в разных формах и в зависимости от типа почвы и конкретной почвенно-экологической обстановки соотношение их форм различно [5]. Большая часть ТМ сосредоточена в твёрдой фазе почвы, а меньшая в водорастворимой (подвижной) фракции, которая является доступной растениям. Существуют также обменные формы – находящиеся в почвенно-поглощающем комплексе, обуславливающие физико-химический тип обмена, а также формы сосредоточенные в составе солей и обуславливающие химический тип обмена [8]. Сумма всех этих форм составляет валовое содержание ТМ в почве. Групповой состав тяжёлых металлов в почве определяется действием различных химических экстрагентов. В таблице 1 приведён групповой состав кобальта в почвах рисовых полей [7].

В настоящее время разработан ряд агроэкологических нормативов ОДК и ПДК (табл. 2 и 3), служащих для нормирования содержания ТМ в

почве. ОДК (табл. 2) разработано с учётом поглощательной способности почвы по отношению к тяжёлым металлам [9].

Наиболее опасной для растений является подвижная форма. В результате высокой подвижности катионов тяжёлых металлов в корни растений поступают такие их количества, которые мембраны клеток уже не выдерживают. В результате чего поступление катионов тяжёлых металлов не регулируется клеточными механизмами, что приводит к накоплению ТМ в растениях и их угнетению, а значит потери урожая и его качества. В связи с этим, важнейшим показателем агроэкологической оценки загрязнения почв тяжёлыми металлами является подвижность тяжёлых металлов в почве, то есть степень их подвижности – отношение подвижных форм ТМ к валовому содержанию, выражаемая в процентах.

Таблица 1 – Валовое содержание и групповой состав кобальта в почвах рисовых агроценозов

Кобальт	Экстрагент	Тип почвы			
		Луговая	Лугово-чернозёмная	Аллювиальная лугово-болотная	Аллювиальная луговая
Валовой	$\text{HF} + \text{H}_2\text{SO}_4$	17,20	17,58	16,76	16,22
Водорастворимые соли	Вода	0,03	0,04	0,02	0,02
Обменный и легкорастворимый	Ацетатно-аммонийный буферный раствор	0,14	0,15	0,12	0,09
В составе карбонатов, непрочных соединений с окислами Fe и Al, глинистыми минералами и фульватами; свежесажённой гидроокиси $\text{Co}(\text{OH})_2$	1 н. HCl	1,16	1,24	1,07	1,05
Связанный необменно органическим веществом	1 н. HCl после окисления органического вещества H_2O_2	2,80	2,92	2,64	2,62
В составе полоторных окислов Fe, Al Mn.	Вытяжка по Меру-Джексону	8,95	8,86	9,04	8,26
В составе изоморфной примеси в глинистых минералах, цеолитов, легкорастворимых алюмосиликатов и силикатов	20% HCl	3,20	3,44	3,08	3,36
Входящий в состав первичных минералов	Нерастворимый в 20% HCl остаток	0,92	0,93	0,79	0,82

Таблица 2 – Основные экологические нормативы содержания тяжёлых металлов в чернозёме выщелоченном (мг/кг)

Металлы	ПДК		ОДК
	Подвижные формы	Валовое содержание	
Марганец	140	1000	Не разработано
Медь	3,0	50	132
Цинк	23	50	220
Свинец	6,0	20	130
Кобальт	5,0	50	Не разработано
Кадмий	0,2	3,0	2,0

Таблица 3 – Содержание тяжелых металлов в почве по нормативам, разработанным в Нидерландах

Металлы	Степень загрязнения почвы ТМ, мг/кг воздушно-сухой массы		
	А	В	С
Медь	36	100	500
Цинк	140	500	3000
Свинец	85	150	600
Кобальт	20	50	300
Кадмий	0,8	5,0	20

Примечание:

1. А – норматив, соответствующий естественному фону.
2. В – норматив, превышение которого не рекомендуется.
3. С – норматив, за превышение которого следует штраф, обычно разоряющий фирму.

На подвижность ТМ в почве влияет множество факторов, главными среди которых являются почвенные факторы (кислотность, ёмкость катионного обмена, степень насыщенности основаниями, содержание органического вещества и его фракционный состав и др.)

В таблице 4 представлены данные степени подвижности для некоторых тяжёлых металлов в чернозёме выщелоченном Северо-Западного Предкавказья [3].

Таблица 4 – Степени подвижности тяжёлых металлов для чернозёма выщелоченного Северо-Западного Предкавказья

Тяжёлые металлы	Степень подвижности, %
<i>Марганец</i>	2,9
<i>Медь</i>	3,4
<i>Цинк</i>	3,2
<i>Свинец</i>	5,8
<i>Кобальт</i>	0,8
<i>Кадмий</i>	32,9

Низкая подвижность соединений микроэлементов (марганец, цинк, свинец, кобальт) в чернозёме выщелоченном обусловлена влиянием содержания гумуса, кислоторастворимых форм железа, фосфатов, физико-химическими свойствами почвы. Сравнительно высокая подвижность кадмия обусловлена его нахождением в виде легкорастворимых солей [4]. В связи с этим, нами приводятся результаты исследования почвы на содержание гумуса, кислоторастворимых форм железа, активной и обменной кислотности почвы. Влияние этих факторов на содержание тяжёлых металлов исследовалось нелинейным корреляционно-регрессионным методом [2]. В результате были выявлены значимые зависимости содержания подвижного марганца, валового содержания

кобальта и свинца от содержания гумуса и кислоторастворимых форм железа.

В моделях регрессии (рис. 1–3): Пф Мп – подвижные формы марганца (мг/кг), Вс Рь и Вс Со – валовое содержание свинца и кобальта (мг/кг), гумус – содержание гумуса (%), Fe – содержание кислоторастворимых форм железа (г/кг).

На рисунке 1 представлена регрессионная зависимость между содержанием подвижных форм марганца и содержанием железа и гумуса.

Коэффициент множественной корреляции для данной зависимости указывает на тесную взаимосвязь изучаемых факторов и в данном случае он равен 0,62, а коэффициент детерминации равен 0,38, что указывает на то, что подвижность марганца на 38 % зависит от содержания гумуса и кислоторастворимых форм железа при доверительной вероятности 0,95.

Из данных рисунка 1 видно, что при увеличении содержания железа до 55 г/кг подвижность марганца увеличивается, а при дальнейшем увеличении содержания железа происходит снижение подвижности марганца, что вероятнее всего обусловлено сорбированием соединений марганца гидроксидами железа при содержании железа свыше 55г/кг.

При увеличении содержания гумуса подвижность марганца снижается, что обусловлено образованием прочных органоминеральных комплексов наряду с сорбцией гидроморфными соединениями железа [5].

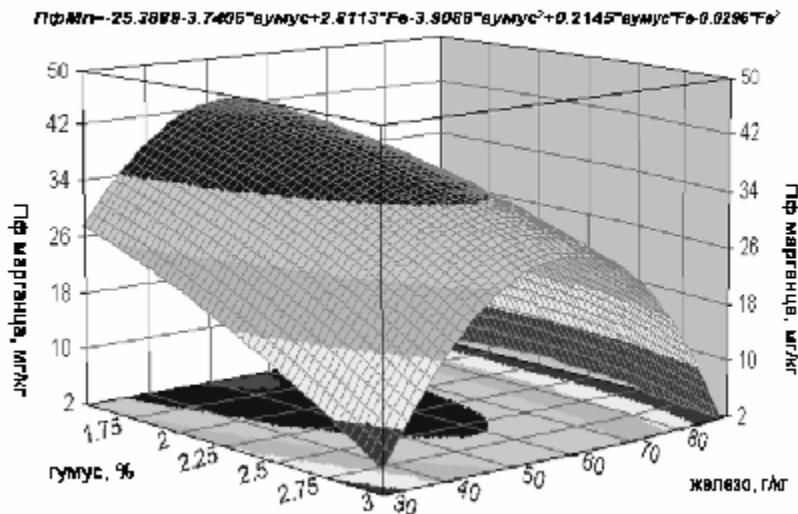


Рисунок 1. Регрессионная зависимость подвижных форм марганца от содержания гумуса и железа, n=48 (КубГАУ, 2003–2004)

На рисунке 2 представлена регрессионная зависимость валового содержания кобальта от содержания гумуса и железа.

Коэффициент множественной корреляции для данной зависимости указывает на тесную взаимосвязь изучаемых факторов ($r=0,73$), а коэффициент детерминации равен 0,53, что указывает на то, что содержание гумуса и железа влияет на валовое содержание кобальта на 53 % при доверительной вероятности 0,95.

Из рисунка 2 видно, что при увеличении содержания гумуса валовое содержание кобальта возрастает, наблюдается прямая зависимость. Между содержанием соединений железа и валовым содержанием кобальта наблюдается обратная зависимость.

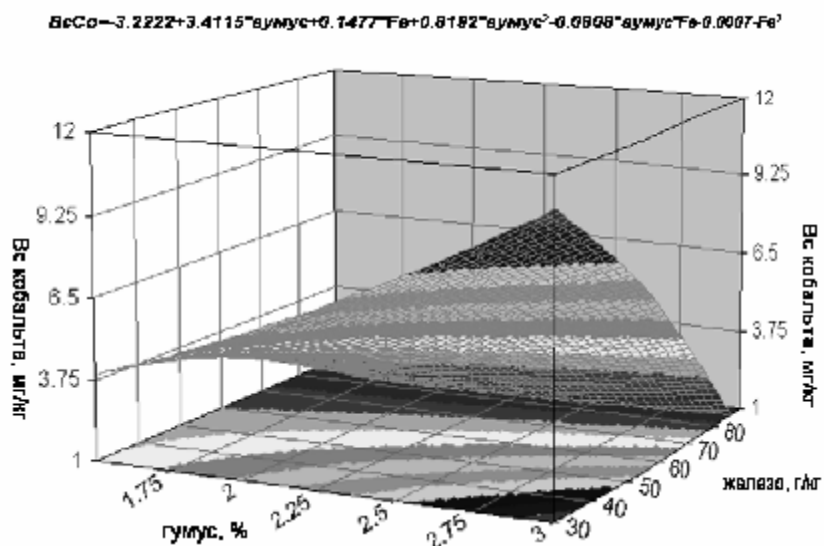


Рисунок 2. Регрессионная зависимость валового содержания кобальта от содержания гумуса и железа, n=48 (КубГАУ, 2003–2004)

На рисунке 3 представлена регрессионная зависимость валового содержания свинца от содержания гумуса и железа.

Коэффициент множественной корреляции зависимости валового содержание свинца от содержания гумуса и железа равен 0,81, коэффициент детерминации – 0,65. Содержание гумуса и железа влияет на валовое содержание свинца на уровне 65 % при доверительной вероятности 0,95. Коэффициенты уравнения указывают на преобладание линейных зависимостей в рассматриваемой модели.

Из рисунка 3 видно, что при увеличении содержания железа наблюдается сорбция соединений свинца до 13мг/кг, а при увеличении содержания гумуса наблюдается уменьшение валового содержания свинца, что связано с его мобилизацией в составе гидроморфных соединений железа.

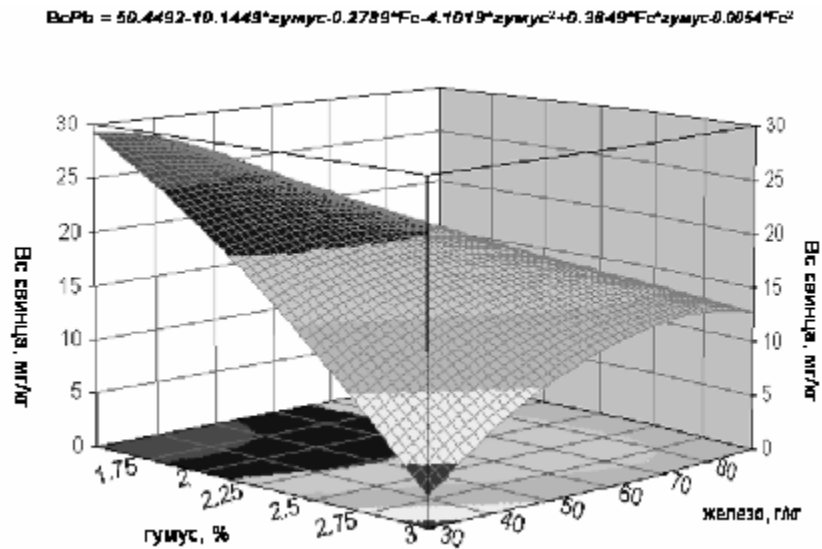


Рисунок 3. Регрессионная зависимость валового содержания свинца от содержания гумуса и железа, n=48

В заключение необходимо отметить, что проведение объективной агроэкологической оценки содержания тяжёлых металлов в почве не должно ограничиваться только определением непосредственно катионов тяжёлых металлов, но и определением степени их подвижности, а также оценки почвенных показателей, влияющих на подвижность ТМ с последующей оценкой полученных данных в современных статистических компьютерных программах.

Литература

1. Александрова Э. А., Гайдукова Н. Г., Кошеленко Н. А., Ткаченко З. Н. Тяжёлые металлы в почвах и растениях и их аналитический контроль. – Краснодар: КГАУ, 2001. - С. 6-11.
2. Боровиков В. С. STATISTICA – искусство анализа данных на компьютере. – СПб.: Питер, 2003. – С 530-535.
3. Гайдукова Н.Г., Лебедовский И.А. О влиянии гумуса и железа на состояние тяжёлых металлов в чернозёме выщелоченном Западного Предкавказья. // Наука Кубани – 2005. - №3. С 34-37.
4. Гайдукова Н.Г., Лебедовский И.А. Влияние агротехнических приёмов на содержание тяжёлых металлов в чернозёме выщелоченном. // НТБ ВНИИМК вып. 1 (132) - 2005. С. 102-109.
5. Добровольский В. В. Биосферные циклы тяжёлых металлов и регуляторная роль почвы. // Почвоведение – 1997. - №3. - С. 431-441.

6. Шеуджен А. Х. Биогеохимия. – Майкоп.: ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 С.
7. Шеуджен А.Х. Содержание микроэлементов и формы их соединений в почвах рисовых полей Кубани // Энтузиасты аграрной науки: Тр./ КубГАУ. – Краснодар, 2004, - вып. 3.
8. Шеуджен А.Х., Куркаев В.Т., Котляров Н.С.. Агрохимия – Майкоп, «Афиша», 2006. 1075 - 1075с.
9. Черных Н.А., Милащенко Н.З., Ладонин В.Ф. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжёлыми металлами. М.: 1999, 158 с.
10. [Http:// borishpolec. temator.ru/cont/1765](http://borishpolec.temator.ru/cont/1765)