

УДК 631.41

ОЦЕНКА ПОЛИЭЛЕМЕНТНОЙ ТОКСИКАЦИИ ПОЧВ**¹Околелова А.А., ²Кожевникова В.П., ²Куницына И.А., ¹Тарасов А.П.**¹ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»,
Волгоград, e-mail: allaokol@mail.ru;²ООО «Технопроект НВТИСИЗ», Волгоград, e-mail: val.kozhevnikova@mail.ru

Формулы определения суммарного загрязнения почв в нормативных документах имеют существенные различия, не позволяющие объективно оценить полиэлементную токсикацию почв. При этом не оговорено, какую концентрацию каждого элемента принимать в качестве фоновой. При разном количестве определяемых элементов и тем более при определении разных элементов, сравнение и оценку загрязнения почв по приводимым в документах формулам проводить невозможно. Суммарное определение накопления поллютантов в почве предлагаем заменить на более объективную оценку концентрации каждого химического элемента по отношению к его содержанию в фоновой почве или породе данного локального месторасположения. При отсутствии фоновых значений соответствующего типа почв целесообразно оценивать накопление тяжелых металлов по фактическим значениям. За фоновое значение предлагаем принимать величину данного показателя конкретного типа почв этого же региона (района).

Ключевые слова: суммарное загрязнение почв, полиэлементная токсикация, фон, тяжелые металлы, концентрация, формулы определения, оценка накопления

ASSESSMENT OF POLYELEMENT TOXICATION OF SOILS**¹Okolelova A.A., ²Kozhevnikova V.P., ²Kunicina I.A., ¹Tarasov A.P.**¹Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: allaokol@mail.ru;²Volgograd Tehnoproject NVTISIZ, Volgograd, e-mail: val.kozhevnikova@mail.ru

Formulas to estimate total soil contamination given in normative documents reveal considerable differences in different readings that presents an obstacle to an objective estimation of polyelement soil toxication. At the same time there is no indication to what concentration of every element must be taken as background one. It's impossible to compare and estimate soil contamination on the basis of the formulas given in normative documents in case of different quantity of elements to be estimated or, moreover, while estimating different elements. Total estimation of pollutant accumulation is provided to be changed to more objective estimation of concentration of every chemical element in respect to its content in background soil or rock characteristic of the given locality. If background values of an appropriate soil type are absent, it's reasonable to estimate heavy metals accumulation on the basis of real values. A background values are provided to be taken as the given index value of the definite type of soil in the same region (district).

Keywords: total soil pollution, polyelement intoxication, background, heavy metals, concentration, determining formulas, accumulation estimate

Наличие в почвах таких поллютантов, как тяжелые металлы, требует разработки объективной оценки их накопления, контроля за их поведением в почвенном покрове. Для оценки полиэлементной токсикации почв в настоящее время применяют суммарный показатель загрязнения (Z_c). При определении Z_c нами выявлены существенные различия в действующих документах [5, 6, 11, 12]. В каждом из них приведены разные формулы определения данного показателя.

$$Z_{c1} = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1), \quad (1)$$

где $K_c = C_i/C_{\phi i}$ – коэффициент концентрации i -го химического элемента; C_i – фактическое содержание i -го химического элемента в почвах и грунтах, мг/кг; $C_{\phi i}$ – фоновое содержание i -го химического элемента в почвах, мг/кг; n – число учитываемых элементов с $K_c > 1$ [6];

$$Z_{c2} = \sum (K_a + \dots + K_{an}) - (n-1), \quad (2)$$

где $K_c = C_i/C_{\phi i}$ – коэффициент концентрации химического вещества; C_i – фактическое содержание определяемого вещества в почве, мг/кг; $C_{\phi i}$ – региональное фоновое содержание определяемого вещества в почве, мг/кг; n – число определяемых суммируемых веществ [5];

$$Z_{c3} = C_{(i) \text{ факт}} / C_{(i) \text{ фон}}, \quad (3)$$

где $C_{(i) \text{ факт}}$ – фактическое содержание i -го токсиканта в почве; $C_{(i) \text{ фон}}$ – значение регионально-фоновое содержания в почве i -го токсиканта.

Фоновое содержание химических элементов в почвах характеризуют разными способами [7]:

1. Как содержание химических элементов в датированных погребенных почвах, проанализированных в настоящее время (в данном случае трудно учесть изменения условий, происшедшие за указанный период.

2. Как содержание химических элементов в музейных почвенных образцах с известными датами их отбора и анализа. В данном случае различия

накладываются не только из-за изменения условий, но и различных методов анализа в прошлом и в настоящее время.

3. На основе обобщенных данных в литературе о прежнем состоянии почв (учитывая методы анализа).

4. По составу глубоких почвенных горизонтов (учитывая, что аккумуляция в верхних горизонтах может быть связана с их биогенным и атомогенным видом накопления).

5. Оптимальным на сегодняшний день фоновым значением могут быть данные по почвам данного типа, являющимся объектом фонового мониторинга, расположенных вне зоны влияния антропогенных источников (заповедники, природные парки).

Фоновое содержание химического вещества в почвах – уровень содержания, сравнение с которым позволяет обнаружить превышение его в исходно аналогичных почвах под влиянием антропогенных факторов [10].

Под регионально-фоновым содержанием химического вещества понимают их концентрацию в почвах территории, не испытывающих техногенной нагрузки [11]. Согласно Постановлению Правительства от 19 июля 2012 г. № 736 [12], суммарный показатель содержания в почве загрязняющих веществ Z_c определяют как сумму отношений фактического содержания каждого загрязняющего вещества, концентрация которого превышает установленное для химических веществ нормативы ПДК, к величине его норматива ПДК:

$$Z_{c4} = \sum C_{(i) \text{ факт}} / C_{\text{пдк}} \quad (4)$$

где $C_{(i) \text{ факт}}$ – фактическое содержание загрязняющего вещества в почве, превышающее норматив ПДК; $C_{\text{пдк}}$ – предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в почве.

Основные нестыковки мы видим в следующем.

1. Разноточения в самих формулах.

2. Концентрация исследуемого элемента (C) в рассмотренных документах трактуется по-разному: «химический элемент» [6], «определяемое вещество» [5], загрязняющее вещество [12], «токсикант» [11].

Формулировки «определяемое вещество» и «загрязняющее вещество» очень расплывчаты и не конкретны. Термин «токсикант» фактически сужает область определения показателя только по токсикантам. Считаю самым рациональным определением «химический элемент».

3. Фоновую концентрацию исследуемого элемента ($C_{(i) \text{ фон}}$) в представленных документах трактуют по-разному: фоновое [6], региональное фоновое [5], регионально-фоновое [11].

«Определять местные фоновые содержания химических элементов в почвах следует в геохимических ландшафтах, аналогичных изучаемым, но не подвергшихся техногенному воздействию. Это должно исключить влияние техногенеза на изменение величины природных фоновых концентраций» [1, с. 527].

Правительство РФ установило критерии значительного ухудшения экологической обстановки в результате использования земельных участков из земель с/х назначения с нарушением установленных законодательством требований рационального их использования. Таких критериев два. Один из них – о размещении отходов. Второй – о загрязнении почвы химическими веществами, при котором суммарный показатель содержания в почве загрязняющих веществ, концентрация которых превышает установленные для химических веществ нормативы предельно допустимых концентраций, равен или превышает значение 30. Указанный показатель определяют как сумму отношений фактического содержания каждого загрязняющего вещества, концентрация которого превышает установленные для химических веществ нормативы предельно допустимой концентрации, к величине его норматива предельно допустимой концентрации [12]. Фактически в новом постановлении Z_c рассчитывают как отношение $C_{\text{факт}} / C_{\text{пдк}}$, только для тех элементов, концентрация которых выше ПДК. Это четвертая формула. Предыдущие не отменены!

Мы провели расчет Z_c , используя несколько вариантов фонового значения на примере одного почвенного образца: данные по почвам Нижнего Поволжья; по Волгоградской области; по Еланскому району; по черноземам южным Еланского района.

Для обоснования и объективного расчета накопления химических элементов в почве необходимо и обязательно наличие двух основных факторов:

1) одинаковый набор исследуемых элементов;

2) одинаковые методы их определения.

И то, и другое практически невозможно реализовать.

Объектом наших исследований послужил чернозем южный Еланского района. Территория исследования – трасса газопровода-отвода и газораспределительная станция «Елань». Отбор проб производили методом конверта с глубины 0–20 см и подготовку почв к анализу проводили в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84. В почвенном образце определяли валовые формы тяжелых металлов (Pb, Zn, Hg) и металлоида (As) в двукратной повторности на

вольтамперометрическом анализаторе ТА-4 по методике ПНД Ф 16.1:2.2.2:3.48-06. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1
Содержание химических элементов в черноземе южном, мг/кг

Объект	Pb	Cd	Zn	As
ПДК	32,0	0,5	55,0	2,0
Проба	7,5	0,10	48	6,1

Из анализа данных очевидно превышение ПДК в исследованной почве мышьяка в три раза. Доля цинка близка к порогу ПДК, а свинца и кадмия – в 4,3 и 5 соответственно раз меньше.

Расчет суммарного показателя Z_c провели по всем выше перечисленным формулам. За фон принимали:

1 – содержание тяжелых металлов в почвах Волгоградской области [4];

2 – фоновое содержание тяжелых металлов в почвах Еланского района [4];

3 – фоновое содержание тяжелых металлов согласно СП 11-102-97 [13];

4 – фоновое содержание тяжелых металлов в соответствии с типом почв (черноземы южные Еланского района [4, 8, 9].

Фоновые данные исследуемых элементов приведены в табл. 2, результаты расчетов представлены в табл. 3, 4.

Из анализа полученных данных (табл. 3) видно, что цифровое значение Z_{c1} изменяется в очень узком диапазоне – от 1,1 до 1,3, а Z_{c2} – с отрицательного значения, равного -0,41 до 0,78 (на 138 единиц) и последний в 1,5–2 раза меньше, чем первый.

Таблица 2

Фоновое содержание химических элементов, мг/кг

Элемент	фон 1	фон 2	фон 3	фон 4
Pb	9,55	10,3	20	10,8
Zn	41,26	37,8	68	37,4
Cd	0,27	0,16	0,24	0,13
As	5,87	5,9	5,6	5,87

Таблица 3

Суммарные показатели загрязнения Z_{c1} и Z_{c2} (формулы (1), (2), (3))

Виды фона	Z_{c1}	Z_{c2}
1	1,2	0,35
2	1,3	0,65
3	1,1	-0,41
4	1,3	0,78

Данные, представленные в табл. 4, отчетливо показывают разночтения в результатах определения Z_{c3} , которые изменяются в диапазоне от 0,06 (для мышьяка) до 0,40 для свинца и кадмия и 0,57 – для цинка. При расчете Z_{c3} по фону 1 и 2 минимальные значения для кадмия, максимальные – для цинка, по фону 3 и 4 – наименьшие для свинца, большие – для мышьяка (фон 3). В зависимости от фона величина $Z_{c\text{ сум}}$ изменяется в диапазоне от 2,60 до 3,78 (в 1,45 раза). При определении Z_{c4} наименьшие величины у кадмия и свинца, максимальные – у мышьяка.

Таблица 4

Суммарные показатели загрязнения Z_{c3} и Z_{c4} (формулы (3), (4))

Z_{c3}	Фон 1	Фон 2	Фон 3	фон 4	Z_{c4}
Z_{c3} (Pb)	0,78	0,73	0,38	0,69	0,23
Z_{c3} (Zn)	1,16	1,27	0,71	1,28	0,87
Z_{c3} (Cd)	0,37	0,63	0,42	0,77	0,20
Z_{c3} (As)	1,04	1,03	1,09	1,04	3,05
$Z_{c3\text{ сум}}$	3,35	3,66	2,60	3,78	4,35

По полученным результатам можно составить селективный ряд величины суммарного показателя:

$$Z_{c2} (-0,45 - 0,78) \leq Z_{c1} (1,1 - 1,3) \leq Z_{c3} (2,60 - 3,78) \leq Z_{c4}. \quad (5)$$

По формуле (1) мы не можем объективно оценить содержание тяжелых металлов в почве, так как расчет по ней ограничен учетом только тех элементов, для которых K_c меньше 1.

Использование формулы (2) дает отрицательное значение, тем самым программируя ошибку. При расчете Z_c по формуле (3) в определении регионально-фоновое содержание химического

вещества не оговорено, что за фон нужно принимать, не сказано ничего о типе исследуемой почвы. Формулы (1) и (2) учитывают количество определяемых элементов посредством безразмерного коэффициента, в то время как в формуле (3) расчет производят для каждого элемента независимо от того, превышает ли его концентрация фон.

Ранее авторами было показано, что величина ПДК мышьяка в почве ниже фонового содержания [2]. Следовательно, при расчете суммарного показателя содержания в почве поллютантов по формуле (4), расчет не объективен в тех случаях, когда выявлено превышение величины ПДК мышьяка в почве [8].

С целью повышения объективности оценки содержания в почвах тяжелых металлов предлагаем учитывать их накопление относительно данного типа ненарушенных, не подверженных деградации почв.

Из текста Постановления Правительства следует, что одним из критериев значительного ухудшения экологической обстановки является загрязнение почв химическими веществами, при котором суммарный показатель содержания в почве загрязняющих веществ равен или превышает значение 30 [12]. При этом величина суммарного показателя 30 и больше ничем не обоснована.

Согласно МУ 2.1.7.730-99, по суммарному показателю Z_c категории загрязнения почв по возможности влияния на здоровье населения оценивают как допустимую при его величине меньше 16, умеренно-опасную – 16–32, опасную – 32–128 и чрезвычайно опасную – больше 128. В исследуемом нами черноземе южном суммарный показатель значительно ниже 16 [5]. По предложенной градации содержание ТМ в исследуемом черноземе южном оцениваем как допустимое.

Физический смысл этих формул явно не объективен. Если мы будем рассчитывать Z_c семнадцати элементов по формулам (4) и (7), то при условии, что их концентрация соответствует ПДК, суммарное значение получится больше 16, а, значит, категория загрязнения будет оценена как умеренно-опасная. В случае расчета показателя для двух элементов, у которых у одного содержание соответствует ПДК, у второго – в 15 раз выше, категория загрязнения будет ДОПУСТИМАЯ!

В ГОСТе 17.4.3.06-86 приведен еще один параметр степени загрязнения почв – им является коэффициент концентрации загрязнения почвы H_c , который, оказывается,

предлагают вычислять по любой из двух предложенных формул:

$$H_c = C/C_{\phi} \quad (6)$$

или

$$H_c = C/C_{\text{пдк}} \quad (7)$$

где C – общее содержание загрязняющих веществ; C_{ϕ} – среднее фоновое содержание загрязняющих веществ; $C_{\text{пдк}}$ – содержание предельно допустимых количеств загрязняющих веществ.

В данном случае возникает ряд вопросов. Во-первых, какие соединения относятся к термину «загрязняющие вещества» – органические, неорганические или же и те, и другие.

Во-вторых, как уже было сказано выше, не ясно, что имеют в виду, говоря о «среднем фоновом содержании», и, в-третьих, во втором варианте расчета фактическое содержание токсиканта сравнивают с ПДК, значит, учет можно вести по элементам и соединениям, превышающим ПДК. Но тогда результаты в обоих случаях будут разные.

Согласно Ю.Н. Водяницкому, принятое выражение «суммарное загрязнение почв» надо воспринимать с оговоркой, так как при этом не учитывают другие виды загрязнения, например, органическими поллютантами или радионуклидами. Но даже с этой оговоркой суммарное загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами может быть учтено не полностью в силу несовершенства инструментальной техники [3].

Для обоснования и объективного расчета накопления химических элементов в почве предлагаемыми методами необходимо и обязательно наличие двух основных факторов: одинаковый набор исследуемых элементов и одинаковые методы их определения. И то, и другое практически невозможно реализовать.

Выводы

1. При отсутствии фоновых значений соответствующего типа почв целесообразно оценивать накопление тяжелых металлов по фактическим значениям.

2. За фоновое значение принимать величину данного показателя конкретного типа почв этого же региона (района).

3. Суммарную оценку накопления поллютантов в почве заменить на более объективное определение концентрации каждого химического элемента по отношению к его содержанию в фоновой почве или породе данного локального места расположения.

Список литературы

1. Алексеенко, В.А. Экологическая геохимия. – М.: Логос. 2000. – 627 с.
2. Безуглова О.С., Околелова А.А. О нормировании содержания мышьяка в почвах. Живые и биокосные системы. – 2012. – № 1. – С. 1–11.
3. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. – 2010. – № 10. – С. 1276–1280.
4. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2011 году / Ком. природ. ресурсов и охраны окружающей среды администрации Волгогр. обл. – Волгоград, 2011.
5. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест: методические указания. – М., 2003. Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 7.02.1999 № 2.1.7.730-99.
6. Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации. – М., 2003. – 33 с.
7. Мотузова Г.В., Безуглова Г.В. Экологический мониторинг почв. – М.: МГУ, 2007. – 237 с.
8. Околелова А.А., Желтобрюхов В.Ф., Куницына И.А., Кожевникова В.П. Особенности содержания мышьяка в почвах различных регионов европейской части Российской Федерации. // Экология урбанизированных территорий. – 2013. – № 4. – С. 87–89.
9. Околелова А.А., Кожевникова В.П. Особенности оценки уровня химического загрязнения почв поллютантами // Современное состояние черноземов: матер. Международной научной конференции. – Ростов-на-Дону, 2013. – С. 141–144.
10. Орлов Д.С., Малинина М.С., Мотузова Г.В., Садовникова Л.К., Соколова Т.А. Химическое загрязнение почв и их охрана: словарь-справочник. – М.: МГУ, 1991. – 303.
11. Письмо Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ 27 декабря 1993 г. № 04-25/61-5678.
12. О критериях значительного ухудшения экологической обстановки в результате использования земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения с нарушением установленных земельным законодательством требований рационального использования земли: постановление от 19 июля 2012 г. № 736.
13. Инженерно-экологические изыскания для строительства: СП 11-102-97. – М., 1997.
2. Bezuglova O.S., Okolelova A.A. The normalization of arsenic in soils. Living and bio-inert system. 2012. no. 1. pp. 1–11.
3. Vodyanistki Y.N. Formula estimates of total contamination of soil with heavy metals and metalloid // Pedology. 2010. no. 10. pp. 1276–1280.
4. Report on the state of the environment of the Volgograd region in 2011. Committee for Natural Resources and Environmental Protection Administration of the Volgograd region. Volgograd 2011.
5. Guidelines «Hygienic evaluation of quality soil residential areas». М., 2003 Approval. Chief State Sanitary Doctor RF 7.02.1999 no. 2.1.7.730-99.
6. Guidance on urban soils in the development of urban planning, architectural and construction documents. М., 2003, 33 p.
7. Motuzova G.V., Bezuglova G.V. Environmental monitoring of soil. М. MSU. 2007. 237 p.
8. Okolelova A.A., Jeltobruhov V.F., Kunitsina I.A., Kozhevnikova V.P. Features of arsenic of different in soils regions of the European part of the Russian Federation. // Ecology of urban areas. 2013. no. 4. pp. 87–89.
9. Okolelova A.A., Kozhevnikova V.P. Features assess the level of chemical contamination pollutants of soil. / Current status of black soil. Material is international scientific conference. Rostov-na-donu. 2013. pp. 141–144.
10. Orlov D.S., Malinina M.S., Motuzova G.V., Sadovnikova L.K., Sokolova T.A. Chemical contamination of soils and their protection. Reference dictionary. М. MSU. 1991. pp. 303.
11. Letter of the Ministry of Environment and Natural Resources of RF 27 December 1993 г. no. 04-25/61-5678.
12. Judgment of 19 July 2012 no. 736 «On the criteria of significant environmental degradation as a result of use of land from agricultural lands in violation of the laws of the land management requirements of land use».
13. SP 11-102-97 «Engineering and environmental studies for the construction» М., 1997.

Рецензенты:

Брылев В.А., д.г.н., профессор, зав. кафедрой географии и геоэкологии Волгоградского социально-педагогического университета, г. Волгоград;

Литвинов Е.А., д.с.-х.н., профессор, зав. кафедрой агроэкологии агротехнологического факультета Волгоградского государственного аграрного университета, г. Волгоград.

Работа поступила в редакцию 07.02.2014.