

## АЛГОРИТМ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОВОС

Статюха Г.А., д.т.н., профессор,

Бойко Т.В., к.т.н., доцент,

Ищишина А.А.

Национальный технический университет Украины «КПИ»

*Проведено аналіз існуючих алгоритмів оцінки забруднення ґрунтів. Запропоновано алгоритм кількісної оцінки забруднення ґрунту на основі сумарного показника забруднення ґрунту, що є однією з найважливіших складових процедури аналізу забруднення ґрунту й прийняття рішень про прийнятність проекту.*

*The analysis of existent algorithms of the estimation of soils contamination is conducted. The algorithm of quantitative estimation of soil contamination on the basis of total index of soil contamination, which is one of the major procedures of the analysis of soil contamination and decision-making concerning the acceptability of the project is offered.*

### Вступление

Перспективным является развитие оценки воздействий на окружающую среду (ОВОС) в направлении разработки процедур количественной оценки загрязнения окружающей среды, а также процедуры принятия решений относительно приемлемости проекта. Процедура по оценке влияния на окружающую среду относительно загрязнения почвы, как правило, предусматривает только формальное сопоставление фактического содержания загрязняющих веществ с фоновым содержанием. По мнению авторов, для реализации концепции управления техногенной безопасностью хозяйственного объекта процедура ОВОС должна заканчиваться не только количественной оценкой, а и обоснованным принятием решений на основе полученных результатов.

### Анализ существующих алгоритмов оценки загрязнения почвы

Авторами проведен сравнительный анализ расчетов по нескольким способам количественной оценки загрязнения почв. При проведении ОВОС для оценки загрязнения почвы вредными веществами используются методические указания [1], где при оценке уровня загрязнения почв учитывается возможное отрицательное влияние на контактирующие среды (воду, воздух), пищевые продукты и прямо или косвенно на человека, а также на биологическую активность почвы и процессы самоочищения. Оценка уровня химического загрязнения почв населенных пунктов, согласно [1], проводится по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды городов с действующими источниками загрязнения. Такими показателями являются коэффициент концентрации химического вещества  $K_c$  и суммарный показатель загрязнения  $Z_c$ . Коэффициент концентрации химического вещества  $K_c$  определяется отношением фактического содержания загрязняющего вещества в почве к фоновому содержанию:

$$K_{c_i} = \frac{C_i}{C_{\phi_i}}, \quad (1)$$

где  $C_i$  – фактическое содержание загрязняющего вещества в почве, мг/кг;

$C_{\phi_i}$  – фоновое содержание загрязняющего вещества в почве, мг/кг.

Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей и определяется по формуле

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{c_i}, \quad (2)$$

где  $n$  – число загрязняющих веществ;

$K_c$  – коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения.

Количественный анализ загрязнения почвы для исследуемого объекта (с перечнем загрязняющих веществ) представлен в табл. 1.

Суммарный показатель загрязнения равен  $Z_c = 21,25$ . Оценка степени опасности загрязнения почв комплексом металлов по показателю  $Z_c$  проводится по оценочной шкале, приведенной в табл. 2 [1].

Так как суммарный показатель загрязнения почвы для исследуемого объекта равен 21,25, тогда категория загрязнения почвы – умеренно опасная.

Рассмотренный способ количественной оценки загрязнения почвы по методике [2], где основными количественными показателями также являются коэффициент концентрации химического вещества  $K_c$  и суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  по уже другой базовой зависимости. Коэффициент концентрации химического вещества рассчитывается по формуле (1), а суммарный показатель загрязнения – по формуле

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{c_i} - (n - 1), \quad (3)$$

где  $n$  – число загрязняющих веществ ( $n = 20$ );

$K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения.

Таблица 1

## Количественный анализ загрязнения почвы

Загрязняющее вещество	Фоновое содержание $C_{\phi}$	Среднее содержание $C_{cp}$	Коэффициент концентрации $K$
Ba	366	507	1,385
Be	1,85	0,38	0,205
P	700	680	0,971
Cr	96,1	66	0,686
Pb	20	19,8	0,99
Sn	3,96	4,7	1,186
Ga	8,6	10	1,162
Ni	44,3	48	1,083
Zn	95	125	1,315
Zr	176	210	1,193
Co	18	19,3	1,072
Cu	30	39,7	1,323
V	99,6	99	0,993
Mo	1,23	1,67	1,357
Li	21,3	27,3	1,281
Mn	700	843	1,2042
Bi	1,8	0,4	0,222
Nb	16,6	19	1,144
Sr	100	84,3	0,843
As	5,9	9,7	1,644
Суммарный показатель загрязнения $СПЗ$			21,25

Оценка степени опасности загрязнения почв комплексом металлов по показателю  $Z_c$  проводится по оценочной шкале, приведенной в табл. 2. Используя данные табл. 1 и зависимость (3) для расчета суммарного показателя загрязнения, определим, что  $Z_c = 2,25$ , а категория загрязнения почвы – допустимая. Анализ алгоритма методики [2] вызывает вопрос о необходимости учета количества загрязняющих веществ  $n$  при нахождении суммарного показателя загрязнения  $Z_c$  в зависимости (3) и уместности использования шкалы оценки загрязнения по табл. 2. Как видим, и в этом алгоритме отсутствует этап обоснованного принятия решений.

Некоторыми авторами [3] для количественной оценки загрязнения почвы предлагается использовать коэффициент концентрации химических элементов и показатель интенсивности загрязнения почвы. Для нахождения коэффициента концентрации химических элементов  $K_{ci}$  используется зависимость (1), а показателя интенсивности загрязнения почвы  $i$ -м загрязнителем  $P_i$  – зависимость

$$P_i = \sum_{i=1}^n K_{ci} \cdot M_s, \quad (4)$$

где  $K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения;

$M_s$  – значение индекса опасности химического элемента относительно класса опасности;

$n$  – количество учитываемых загрязнителей.

Таблица 2

## Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения

Категория загрязнения почв	Величина $Z_c$	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16-32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32-128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин

Для расчета индекса опасности химического элемента используется зависимость

$$M_s = \frac{A \cdot S}{L \cdot M \cdot ПДК}, \quad (5)$$

где  $A$  – атомный вес соответствующего элемента;

$M$  – молекулярный вес химического соединения, в который входит данный элемент;

$S$  – растворимость в воде химического соединения, мг/л;

$ПДК$  – предельно допустимая концентрация элемента в почве;

$L$  – среднее арифметическое из шести  $ПДК$  химических веществ в различных пищевых продуктах.

Используя данные табл. 1 и зависимости (4) и (5), показатель интенсивности загрязнения почвы для исследуемого объекта равен  $P_i = 118,15$ . По показателю интенсивности загрязнения почв  $P_i$  проводится определение категории интенсивности загрязнения почвы согласно табл. 3.

Таблиця 3

**Ориентировочная оценочная шкала  
экологической опасности загрязнения почв  
по показателю интенсивности загрязнения**

Категория интенсивности загрязнения почвы	Показатель интенсивности $P_i$
Допустимая	до 15
Умеренно опасная	16-30
Опасная	32-50
Очень опасная	более 50

Так как показатель интенсивности загрязнения почвы для исследуемого объекта равен  $P_i = 118,15$ , то категория интенсивности загрязнения почвы – очень опасная. Проведя анализ данного алгоритма оценки загрязнения почвы, авторы пришли к выводу, что зависимость (4) не соответствует нормативной документации [1], в которой при расчете индекса опасности химического элемента  $M_s$  находится логарифм выражения (5) и используется для нахождения класса опасности загрязняющего вещества в случае отсутствия такового в нормативных документах [1]. Таким образом, исходя из выше сказанного, применение такого алгоритма не допустимо.

Исходя из проведенного анализа существующих алгоритмов оценки загрязнения почв, можно сделать вывод об их разрозненности и отсутствии этапа принятия решений по полученным результатам, поэтому существует необходимость разработки универсального алгоритма принятия решения и универсальной шкалы оценки категории опасности объекта в системе ОВОС.

**Разработанная методика количественного анализа загрязнения почв**

При принятии решений для поставленной задачи количественного анализа загрязнения почвы авторами предлагалось использовать функцию желательности Харрингтона как критерий оценки загрязнения почвы опасным объектом. Функция желательности на сегодняшний день является весьма перспективной при решении задач с несколькими зависимыми переменными, каким является разработанный авторами суммарный показатель загрязнения почвы для каждого загрязняющего вещества [4], который определяется по формуле

$$СПЗ_i = \sum_{i=1}^n k_i \cdot \frac{(C_{cp_i} - C_{\phi_i})}{ПДК_i}, \quad (6)$$

где  $k_i$  – коэффициент, определяемый по показателю вредности (табл. 4);

$C_{cp_i}$  – среднее фактическое содержание загрязняющего вещества в почве, мг/кг;

$C_{\phi_i}$  – фоновое содержание загрязняющего вещества в почве, мг/кг (в случае отсутствия значения ПДК принимается значение  $C_{\phi_i}$ ).

Так как основой для количественного анализа загрязнения почв является транслокационный показатель вредности, который характеризует способность вещества переходить из пахотного слоя почвы через корневую систему в растения и накапливаться в его зеленой массе и плодах, поэтому предлагается использовать коэффициент  $k_i$ , учитывающий показатели вредности для каждого загрязнителя (табл. 4).

Таблиця 4

**Определение коэффициента  
по показателям вредности**

Характеристика загрязненности	Коэффициент по показателю вредности
Содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не выше ПДК	$k = 1$
Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и миграционном воздушном показателях вредности, но ниже допустимого уровня по транслокационному показателю	$k = 1,1$
Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности	$k = 1,2$
Содержание химических веществ превышает ПДК в почве по всем показателям вредности	$k = 1,3$

Функция желательности использована для расчета желательностей соответствующих показателей загрязнения, то есть приведенных значений суммарного показателя загрязнения почвы по формуле

$$СПЗ_{np} = 1 - d_i = 1 - e^{-(e^{-СПЗ'_i})}, \quad (7)$$

где  $d_i$  – функция желательности;

$СПЗ'_i$  – некоторая безразмерная величина, которая связана с суммарным показателем загрязнения СПК и определяется по формуле

$$СПЗ'_i = \frac{2 \cdot СПЗ_i - (ССП_{max} + СПЗ_{min})}{(ССП_{max} - СПЗ_{min})}. \quad (8)$$

То есть рассчитанным значениям суммарного показателя загрязнения почвы  $СПЗ$  соответствуют его приведенные значения  $СПЗ_{np}$ , найденные по формуле (7).

Количественный анализ с использованием функции желательности проводился для энергоблока ТЭС и полученные значения  $СПЗ$  и соответственных им желательностей  $СПЗ_{np}$  исследуемого объекта представлены в табл. 5.

Таблица 5  
Результаты количественного анализа  
загрязнения почвы

Загрязняющее вещество	$C_f$	$C_{cp}$	$СПЗ$	$СПЗ_{np}$
Ba	366	507	0,385	0,36
Be	1,85	0,38	-0,795	0,30
P	700	680	-0,029	0,34
Cr	96,1	66	-5,518	0,06
Pb	20	19,8	-0,006	0,34
Sn	3,96	4,7	0,187	0,35
Ga	8,6	10	0,163	0,35
Ni	44,3	48	1,203	0,40
Zn	95	125	1,696	0,42
Zr	176	210	0,193	0,35
Co	18	19,3	0,286	0,36
Cu	30	39,7	4,203	0,50
V	99,6	99	-0,004	0,34
Mo	1,23	1,67	0,263	0,35
Li	21,3	27,3	0,282	0,36
Mn	700	843	0,095	0,35
Bi	1,8	0,4	-0,778	0,30
Nb	16,6	19	0,145	0,35
Sr	100	84,3	-0,186	0,33
As	5,9	9,7	2,090	0,43
Суммарный показатель загрязнения $СПЗ$			3,87	0,49

Полученному значению суммарного показателя загрязнения почвы  $СПЗ = 3,87$  соответствует приведенное значение  $СПЗ_{np} = 0,49$ .

При принятии решений относительно проведения мероприятий по уменьшению загрязнения почвы разработана универсальная шкала, учитывающая все факторы, воздействующие на почву, используя шкалу желательности, которая является удобным инструментом при оценке качества, а в нашем случае при оценке загрязнения почвы на основе суммарного показателя загрязнения (табл. 6).

На основании полученного значения  $СПЗ_{np} = 0,49$  категория загрязненности почвы исследуемого объекта – умеренно опасная. Представленная шкала оценки загрязнения почвы позволяет определить не только категорию загрязненности почвы, но и принимать дальнейшие решения относительно опасного объекта.

Таблица 6

Шкала оценки загрязнения почвы  
исследуемым объектом

Приведенное значение $СПЗ_{np}$	Категория загрязненности почвы
$0,00 < СПЗ_{np} \leq 0,20$	Безопасная
$0,20 < СПЗ_{np} \leq 0,37$	Малоопасная
$0,37 < СПЗ_{np} \leq 0,63$	Умеренно опасная
$0,63 < СПЗ_{np} \leq 0,80$	Высоко опасная
$0,80 < СПЗ_{np} \leq 1,00$	Чрезвычайно опасная

### Заключение

Предложенный авторами алгоритм количественной оценки загрязнения почвы на основе суммарного показателя загрязнения почвы, который учитывает не только превышение допустимых нормативных значений содержания загрязнителей, но и их превышение по показателям вредности. Также разработана универсальная шкала принятия решений относительно загрязненности почвы применением функции желательности, поэтому, по мнению авторов, предложенный алгоритм может быть включен в систему ОВОС как важная составляющая процедуры анализа загрязнения почвы и принятия решений о приемлемости проекта.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами № 4266-87, утв. МОЗ СССР от 13.04.87.
2. Методические указания МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 7 февраля 1999 г.
3. Гуцуляк В.М., Присакар В.Б. Геоекологічне картування: Методичні вказівки до практичних занять. – Чернівці: ЧНУ, 2004. – 50 с.
4. Статюха Г.А., Абрамов И.Б., Бойко Т.В., Ищишина А.А. К вопросу количественной оценки загрязнения атмосферного воздуха в системе ОВОС // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 1/3(31). – С. 36 – 38.

**Статюха Г.О.**, д.т.н., профессор, завідувач кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

**Бойко Т.В.**, к.т.н., доцент кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

**Ищишина А.О.**, аспірант кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».