© В.Н. Уманец, Г.Г. Бугаева, А.В. Когут, 2014

УДК 622.271:577.4

В.Н. Уманец, Г.Г. Бугаева, А.В. Когут

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Проведены исследования показавшие возможность использования для определения риска загрязнения компонентов окружающей среды критерия на основе функции распределения Вейбулла, так как плотности вероятностей распределения содержаний загрязняющих веществ в почвах и поверхностных водах характеризуются в основном правой асимметрией при значительной их изменчивости. В полученных зависимостях для оценки экологического риска могут быть использованы в качестве показателей характеризующих экологическое состояние компонентов окружающей среды различные нормативные и лимитирующие параметры. Наиболее предпочтительным при определении риска загрязнения почв является использование предельно допустимых концентраций (ПДК), а при оценке риска загрязнения поверхностных вод – индекса загрязнения вод (ИЗВ). Установленные аналитико-статистические зависимости позволяют осуществлять оценку экологического риска загрязнения окружающей среды, как в целом по предприятию, так и по отдельным источникам загрязнения, т.е. производить их ранжирование, что позволяет рационально планировать комплекс первоочередных природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: экологический риск, открытые горные работы, распределения Вейбулла, загрязнение вод, загрязнение почвенного покрова.

В качестве критерия, обеспечивающего усредненную вероятностную оценку вредности влияния горнодобывающего предприятия на окружающую среду (ОС), предложено использовать интеграл из функции распределения концентраций загрязняющих веществ на основе функции распределения Вейбулла, взятый в пределах от ПДК каждого вещества до максимального значения концентраций, который имеет вид:

$$R_j = \exp\left[-\left(\frac{b_j \cdot ПДК_j}{C_j}\right)^{m_j}\right], \text{ доли ед.} \qquad (1)$$

где b_j и m_j – параметры распределения Вейбулла для j-го вредного вещества; – среднее значение концентрации j-го вредного вещества в окружающей среде в заданном (оцениваемом) временном интервале.

Формула (1) показывает вероятность превышения ПДК j-го загрязняющего вещества при изменчивости во времени его концентрации по закону Вейбулла с параметрами b и m, т.е. риск превышения предельных норм.

Конкретные выражения, получаемые из зависимости (1) являются вероятностными величинами, т.е. характеризуют вероятность экологического риска в зависимости от интенсивности различных источников загрязнения ГДП и аб-

Таблица 1

Значения** ИЗВ **в зоне влияния ГДГ

№ п/п	Годы	*ИЗВ*	*М (ИЗВ)*	σ	*V*
1	1997	2,20	8,25	12,01	1,46
2	1998	2,60			
3	1999	2,14			
4	2000	1,78			
5	2001	13,8			
6	2002	2,97			
7	2003	5,84			
8	2004	4,25			
9	2005	38,67			

солютной величины показателя загрязнения компонента ОС. Для вычисления риска необходимо знать только среднее значение показателя загрязнения по различным источникам или в конкретном промежутке времени и его коэффициент вариации по этим источникам или в этом же отрезке времени.

На основе анализа данных опробования поверхностных вод в зоне влияния одного из горнодобывающих предприятий Северного региона РК установлены основные загрязнители водной среды (сульфаты, хлориды, азот аммония, железо, магний, медь, свинец и цинк). Определены индексы загрязнения вод (*ИЗВ*) для периода с 1997 по 2005 гг., величина которых неравномерна и изменяется от 1,78 до 38,67 (табл. 1).

Функция распределения *ИЗВ* имеет правую ассимметрию и вполне может быть описана законом Вейбулла.

Вычислены также статистические характеристики: среднее значение *М (ИЗВ)*, стандарт (σ) и коэффициент вариации (*V*).

Зависимость для определения риска загрязнения поверхностных вод имеет вид:

$$R_B = \exp\left[-\left(\frac{k \cdot b}{M(ИЗВ)}\right)^m\right] = e^{-\left(\frac{k \cdot b}{M(ИЗВ)}\right)^m}, \text{ доли ед.} \qquad (2)$$

где значение $k = 1$ соответствует риску умеренного загрязнения, $k = 3$ высокого и $k = 10$ – чрезвычайно высокого загрязнения; m и b – параметры распределения Вейбулла, зависящие от коэффициента вариации *ИЗВ* и определяемые по специальным таблицам.

Тогда для нашего случая ($V = 146\%$) параметры закона Вейбулла будут равны: $b = 1{,}26$ и $m = 0{,}702$, а значение риска составят:

а) умеренного загрязнения

$$R_{BУ} = \exp\left[-\left(\frac{1 \cdot 1{,}26}{8{,}25}\right)^{0{,}702}\right] = 0{,}765\ (76{,}5\%), \qquad (3)$$

Таблица 2

Вычисление уровней риска загрязнения поверхностных вод

№ п/п	Уровень риска	V, %	b	m	$M(ИЗВ)$	$\left(\frac{k \cdot b}{M(ИЗВ)}\right)^m$	$R_В$, %
1	Умеренного	146	1,26	0,702	8,25	-0,267	76,5
2	Высокого	146	1,26	0,702	8,25	-0,578	56,1
3	Чрезвычайно высокого	146	1,26	0,702	8,25	-1,346	26,0
4	Умеренного	146	1,26	0,702	4,0	-0,444	64,1
5	Высокого	146	1,26	0,702	4,0	-0,961	38,2
6	Чрезвычайно высокого	146	1,26	0,702	4,0	-2,238	10,6
7	Умеренного	146	1,26	0,702	2,0	-0,723	48,5
8	Высокого	146	1,26	0,702	2,0	-1,563	20,9
9	Чрезвычайно высокого	146	1,26	0,702	2,0	-3,640	2,6
10	Умеренного	73	0,913	1,38	4,0	-0,130	87,8
11	Высокого	73	0,913	1,38	4,0	-0,593	55,3
12	Чрезвычайно высокого	73	0,913	1,38	4,0	-3,123	4,4

б) высокого загрязнения

$$R_{вв} = \exp\left[-\left(\frac{3 \cdot 1,26}{8,25}\right)^{0,702}\right] = 0,561\ (56,1\%), \tag{4}$$

в) чрезвычайно высокого загрязнения

$$R_{вчв} = \exp\left[-\left(\frac{10 \cdot 1,26}{8,25}\right)^{0,702}\right] = 0,260\ (26,0\%). \tag{5}$$

В табл. 2 приведены значения гидроэкологического риска различного уровня, а также его значения при различном математическом ожидании *ИЗВ* для постоянной изменчивости и при снижении изменчивости в 2 раза.

Характер изменения риска различной степени загрязнения поверхностных вод в зависимости от среднего значения их загрязнения показан на рис. 1.

Ввиду того, что одним из наиболее существенных факторов загрязнения водной среды является поступление тяжелых металлов, в частности меди, то при снижении ее содержания в два раза экологический риск чрезвычайно высокого загрязнения понизится с 0,26 до 0,169, т.е. на 35%.

Следует отметить, что в формуле (2) оценки риска могут быть использованы и другие нормативные и лимитирующие параметры, например ПДК химических веществ, превышение регионального уровня минерализации водных ресурсов и т.п.

Вычисление экологического риска загрязнения горнодобывающим предприятием (ГДП) почвенного покрова осуществлялась на основе данных опробования почв (за период 2002–2005 гг.) на границе санитарно-защитной зоны

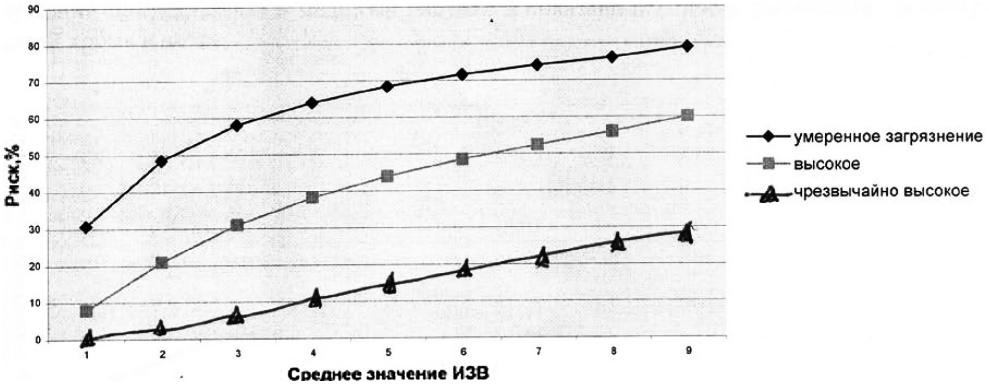

Рис. 1. Изменение экологического риска загрязнения для различных средних значений ИЗВ (V– const)

(СЗЗ) в зоне расположения его подразделений, полученных по результатам проведения производственного мониторинга. Превышение нормативных уровней загрязнения почв наблюдается по никелю, хрому и меди, значения содержаний которых приведены в табл. 3.

По данным опробования почв были определены плотности вероятностей содержаний никеля, хрома и меди. На рис. 2 показана плотность распределения содержаний хрома в почве.

Плотности распределения содержаний других *ЗВ* (никеля и меди), также право-асимметричны и вполне могут быть описаны функцией распределения Вейбулла.

Вычисленные статистические характеристики распределения металлов в почвах: среднее содержание ($\overline{C}$), стандарт (σ) и коэффициент вариации (*V*), а также параметры распределения Вейбулла *m* и *b* приведены в табл. 4.

Таблица 3

Средние содержания загрязняющих веществ (ЗВ) в почвах в зоне размещения подразделений ГДП

№ пп	Подразделение	Загрязняющие вещества					
		Никель		Хром		Медь	
		Содержание, мг/кг	ПДК, мг/кг	Содержание, мг/кг	ПДК, мг/кг	Содержание, мг/кг	ПДК, мг/кг
1	Карьер	166,4	35,0	213,6	110,0	42,7	23,0
2	Породный отвал	90,6	35,0	81,8	110,0	33,6	23,0
3	Старые породные отвалы	157,5	35,0	187,5	110,0	40,0	23,0
4	Обогатительная фабрика	198,6	35,0	182,9	110,0	51,4	23,0
5	Хвостохранилище	83,3	35,0	102,2	110,0	42,2	23,0
6	Ремонтно-механический завод	95,6	35,0	133,9	110,0	46,7	23,0

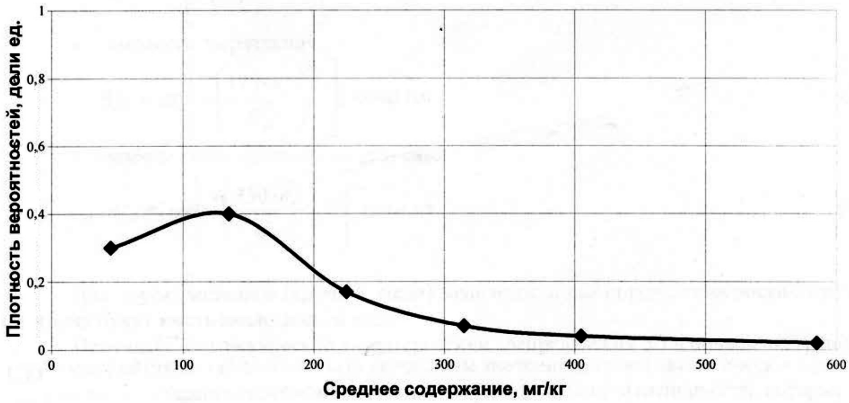

Рис. 2. Статистическая функция плотности распределения хрома в почве

Данные *ЗВ* относятся ко 2 классу опасности, их значения не превышающие предельно-допустимых концентраций (ПДК) и соответствуют допустимому состоянию окружающей среды (ОС), превышение от 1 до 5 ПДК – умеренному опасному уровню загрязнения, от 5 до 10 ПДК – высокому (кризисному) и более 10 ПДК – чрезвычайно высокому (катастрофическому).

В соответствии с формулой (1) зависимость для определения риска загрязнения почв будет иметь следующий вид:

$$R_n = \exp\left[-\left(\frac{b_j \cdot k \cdot ПДК_j}{\overline{C}_j}\right)^{m_j}\right], \text{ доли ед.} \qquad (6)$$

где $к = 1$ соответствует риску умеренного загрязнения, $к = 5$ высокого и $к = 10$ чрезвычайно высокого загрязнения.

Тогда риски сверхнормативного загрязнения почвенного покрова никелем будут определяться зависимостями:

- умеренного загрязнения

$$R_{ПУ}^{ni} = \exp\left[-\left(\frac{35 \cdot в_{ni}}{\overline{C}_{ni}}\right)^{m_{ni}}\right], \text{ доли ед.} \qquad (7)$$

Таблица 4

Статистические характеристики распределения загрязняющих веществ в почвах зоны размещения предприятия

№ пп	Наименование *ЗВ*	Среднее содержание, ($\overline{C}$)	Стандарт, σ	Коэффициент, *V*	Параметры распределения Вейбулла	
					m	***b***
1	Никель	127,1	82,3	0,65	1,57	0,898
2	Хром	141,0	117,8	0,83	1,12	0,939
3	Медь	42,0	18,0	0,43	2,42	0,842

• высокого загрязнения

$$R_{ПВ}^{Ni} = \exp\left[-\left(\frac{175 \cdot в_{ni}}{\overline{C}_{ni}}\right)^{m_{ni}}\right], \text{ доли ед.} \quad (8)$$

• чрезвычайно высокого загрязнения

$$R_{пчв}^{ni} = \exp\left[-\left(\frac{350 \cdot в_{ni}}{\overline{C}_{ni}}\right)^{m_{ni}}\right], \text{ доли ед.} \quad (9)$$

Для других металлов (хрома и меди) зависимости для определения риска загрязнения почв будут иметь аналогичный вид.

Используя статистические характеристики распределения *ЗВ* в почвах на границе СЗЗ предприятия из табл. 4, были вычислены значения уровней экологического риска для различных средних содержаниях металлов при постоянной изменчивости, которые приведены в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что в целом по предприятию наибольшую опасность представляют риски загрязнения почв никелем. Загрязнение почв хромом и медью характеризуется в основном риском умеренного загрязнения. Уменьшение среднего содержания этих металлов в два раза снижает риск умеренного загрязнения почв: хромом в два 2,3 раза и медью приблизительно в 2 раза. Исключение рисков чрезвычайно высокого и высокого уровня загрязнения почв и двукратного снижения умеренного риска может быть достигнуто лишь при уменьшении средних содержаний никеля в 3 раза.

Характер изменения риска различной степени загрязнения почв, в зависимости от среднего содержания никеля, показан на рис. 3, а на рис. 4 – в зависимости от изменчивости содержаний.

Таблица 5

Значения экологического риска различного уровня загрязнения почв металлами в зоне расположения предприятия

№ пп	Наименование *ЗВ*	Среднее содержание $\overline{C}$, мг/кг	Коэффициент вариации *V*, %	Уровень риска загрязнения, %		
				Умеренного	Высокого	Чрезвычайно высокого
1	Никель	127,1	65,0	89,0	25,0	2,0
		64,0	65,0	72,0	2,0	0,0
		32,0	65,0	38,0	0,0	0,0
2	Хром	141,0	83,0	49,0	1,5	0,0
		70,0	83,0	21,0	0,0	0,0
		35,0	83,0	4,0	0,0	0,0
3	Медь	42,0	43,0	86,0	0,05	0,0
		21,0	43,0	44,0	0,00	0,0
		10,0	43,0	0,7	0,00	0,0

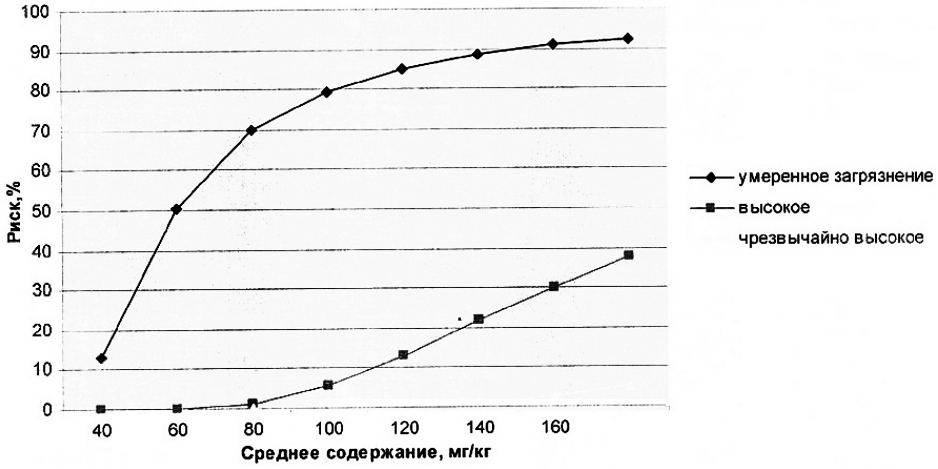

Рис. 3. Изменение экологического риска загрязнения для различных значений среднего содержания никеля в почвах (V– const)

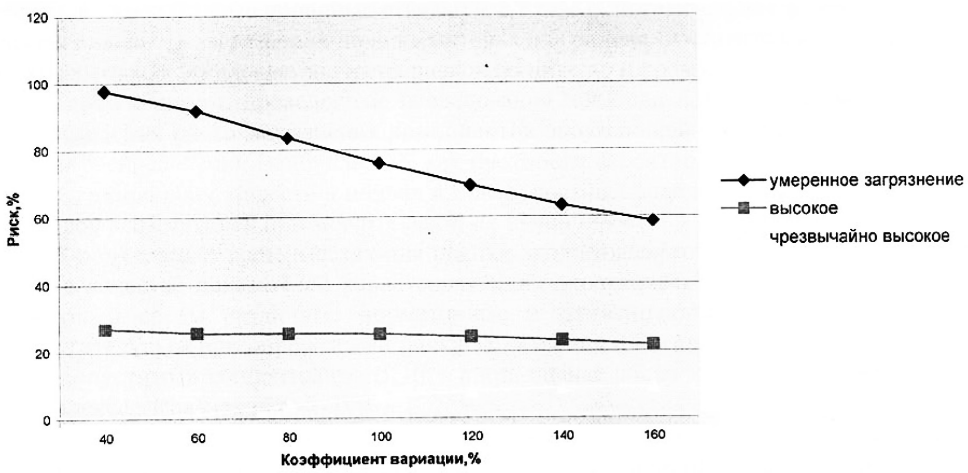

Рис. 4. Характер изменения рисков различного уровня от коэффициента вариации содержаний никеля в почвах

Зависимости вида (6–9) позволили определить риски загрязнения почв металлами в зоне расположения различных подразделений предприятия, значения которых приведены в табл. 6.

Как видно из табл. 6, в отличие от оценки в целом по предприятию, наблюдается ряд участков, где риски высокого загрязнения почв никелем выше: в 2 раза (Обогатительная фабрика), на 60% (карьер) и 48% (Старые породные отвалы), а хромом в 4,5 раза (карьер), в 3 раза (старые породные отвалы) и 2,7 раза (Обогатительная фабрика). Наибольшая опасность загрязнения почв характерна для района Обогатительной фабрики, где наблюдаются максимальные значения рисков по никелю и хрому.

Таблица 6

Значения риска различного уровня загрязнения почв металлами в зоне расположения подразделений предприятия

№ пп	Подразделение	Наименование *ЗВ*	Содержание, *С*, мг/кг	Уровень риска загрязнения, %		
				Умеренного	Высокого	Чрезвычайно высокого
1	Карьер	Никель	166,4	93,0	40,0	6,0
		Хром	213,6	64,0	6,8	0,2
		Медь	42,7	86,3	0,07	0,00
2	Породные отвалы	Никель	90,6	83,0	9,3	0,08
		Хром	81,8	27,3	0,03	0,00
		Медь	33,6	77,0	0,00	0,00
3	Старые породные отвалы	Никель	157,5	92,0	37,0	5,0
		Хром	187,5	60,0	4,5	
		Медь	40,0	84,1	0,02	0,00
4	Обогатительная фабрика	Никель	198,6	95,0	50,0	13,0
		Хром	182,9	59,0	4,1	0,09
		Медь	51,4 '	91,0	1,0	0,00
5	Хвостохранилище	Никель	83,3	80,5	6,7	0,03
		Хром	102,2	36,4	0,2	0,00
		Медь	42,2	86,0	0,06	0,00
6	Ремонтно-механический завод	Никель	95,6	84,0	11,2	0,15
		Хром	133,9	47,0	1,1	0,00
		Медь	46,7	89,0	0,29	0,00

Таким образом, проведенные исследования показали возможность использования для определения риска загрязнения компонентов окружающей среды критерия на основе функции распределения Вейбулла, так как плотности вероятностей распределения содержаний загрязняющих веществ в почвах и поверхностных водах характеризуются в основном правой асимметрией при значительной их изменчивости.

В полученных зависимостях для оценки экологического риска могут быть использованы в качестве показателей характеризующих экологическое состояние компонентов окружающей среды различные нормативные и лимитирующие параметры. Наиболее предпочтительным при определении риска загрязнения почв является использование предельно допустимых концентраций (ПДК), а при оценке риска загрязнения поверхностных вод – индекса загрязнения вод (*ИЗВ*).

Увеличение средних содержаний загрязняющих веществ (металлов) в почвах вызывает рост рисков всех уровней, а повышение их изменчивости снижает риски умеренного и высокого уровня и увеличивает величину чрезвычайно высокого риска загрязнения.

Установленные аналитико-статистические зависимости позволяют осуществлять оценку экологического риска загрязнения окружающей среды, как в целом по предприятию, так и по отдельным источникам загрязнения, т.е. производить их ранжирование, что позволяет рационально планировать комплекс первоочередных природоохранных мероприятий.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Уманец Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой,
Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева;
Бугаева Г.Г.,
Когут Александр Владимирович – кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт горного дела им. Д.А. Кунаева, Казахстан,
e-mail: igdkpms@mail.ru.

UDC 622.271:577.4

ECO-RISK EVALUATION METHODS IN ECOLOGICAL SAFETY CONTROL IN OPENCAST MINING

Umanets V.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair,
Kazakh National Technical University after K.I. Satpayev, Kazahstan,
e-mail: allnt@ntu.kz;
Bugaeva G.G.,
Kogut A.V., Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher,
Mining Institute after D.A. Kunaev, Kazahstan,
e-mail: igdkpms@mail.ru.

The studies have shown usability of the Weibull distribution-based criterion in evaluating the risk of pollution of the environment components inasmuch as probability densities of impurity level in soil and surface water are mainly characterized by right asymmetry and essential variability. In the derived relations for eco-risk evaluation, various specified and limitative parameters can be used to characterize ecological state of the environment components. It is most preferred to use maximum allowable concentrations (MAC) in soil contamination estimation and water pollution index (WPI) in surface water pollution assessment. The derived analytical-statistical relationships allow eco-risk evaluation in a company as a whole and at individual pollution sources, i.e., enable ranging of the pollution sources, which promotes rational planning of packages of primary environmental actions.

Key words: eco-risk, opencast mining, Weibull distribution, water pollution, soil cover contamination.