

УДК 556.5:502.6(470.21)

Кульнев В.В., Базарский О.В.
Воронежский государственный университет

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ*

V. Kullnev, O. Bazarisky
Voronezh State University

THE COMPLEX TECHNIQUE OF THE MINING ENTERPRISES TERRITORY GEOECOLOGICAL ESTIMATION

Аннотация. Предложены количественная и эвристическая методики комплексной оценки геоэкологического состояния территории горнодобывающих предприятий, позволяющая сравнивать их по степени экологической опасности. Методика отработана на базе ОАО «Ковдорский горно-обогатительный комбинат». Методика основана на новом критерии оценки уровня загрязнения окружающей среды – уточненном суммарном показателе загрязнения, позволяющем измерять состояние депонирующих сред при загрязнении поллютантами, источником которых является многокомпонентное сырье. Проведенные исследования позволили выявить влияние природоохранных мероприятий на геоэкологическое состояние депонирующих сред территории ОАО «Ковдорский горно-обогатительный комбинат», что подтвердило достоверность и практическую значимость методики.

Ключевые слова: методика, уточненный суммарный показатель загрязнения, комплексная геоэкологическая оценка территории.

Abstract. Quantitative and heuristic techniques of complex estimation of the mining enterprises territory geoeological situation allowing comparing them from the point of view of ecological danger are offered. The technique is fulfilled on the basis of the Open Society «Kovdorsky mountain-concentrating industrial complex». The technique is based on a new criterion of environmental contamination level estimation – the specified total pollution indicator allowing measuring the state of depositing environments polluted by multicomponent raw materials. The conducted researches allow to reveal the influence of nature protection actions on a geoeological state of depositing environments of the Open Society «Kovdorsky mountain-concentrating industrial complex» territory that proved reliability and practical significance of the technique.

В настоящее время не существует методики геоэкологической оценки территории деятельности горнодобывающих предприятий, позволяющей сравнивать их экологическую эффективность.

Разработанная методика основана на статистических методах обработки данных химического анализа загрязнения депонирующих сред. Отработка методики производилась по одиннадцатилетним статистическим рядам гидрохимических измерений на базе ОАО «Ковдорский ГОК». В течение одиннадцати лет ежемесячно отбирались пробы воды на ключевых гидропостах и водопонижительных скважинах. Общее число точек пробоотбора – пятнадцать. По результатам анализа данных были выбраны пятнадцать основных компонентов и показателей, определяющих загрязнение окружающей среды на территории комбината, измерение которых проводилось в течение всего периода мониторинга. Это: азот аммонийный; азот нитритный; азот нитратный; хлорид-ион; сульфат-ион; фосфат-ион; анионоактивные синтетические поверхностно-активные вещества; общая жесткость; ионы кальция; магния; марганца; железа; нефтепродукты, а также та-

* © Кульнев В.В., Базарский О.В.

кие показатели, как химическое потребление кислорода и биологическая потребность в кислороде. Следует отметить, что рН вод исследуемой территории колеблется в пределах от 7,5 до 9,3 единиц. Это свидетельствует о щелочной обстановке.

Существует ряд количественных показателей, характеризующих экологическое состояние поверхностных и подземных вод. Однако все они основаны на различных методиках. Наиболее распространены две методики: индекс загрязнения воды (ИЗВ) и суммарный показатель загрязнения (СПЗ). Первый показатель используется для поверхностных вод, второй – для подземных. Для целей нашего исследования в качестве основы интегрального показателя загрязнения района был выбран показатель СПЗ, так как он может быть использован для описания как гидросферы, так и приповерхностной части литосферы района исследования.

Данный показатель рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{СПЗ} = \sum K_c - (n-1), \quad (1)$$

где: $K_c = C_i/\text{ПДК}$, $i = 1, 2, \dots, n$; C_i – текущие измерения концентрации i -го загрязняющего вещества, ПДК – предельно-допустимая концентрация этого вещества, K_c – коэффициент концентрации, n – число загрязняющих веществ [2].

У этого показателя есть один существенный недостаток. Он хорошо работает только в тех случаях, когда для всех загрязняющих веществ измерения дают результаты больше ПДК, то есть $K_c \geq 1$.

В реальности часть измерений может быть больше ПДК, а часть – меньше, находясь на уровне фоновых значений. Тогда для числа элементов более трех СПЗ может являться большой отрицательной величиной, не имеющей экологического смысла, увеличивающейся по модулю при увеличении числа загрязняющих веществ n . В этом случае в ряде работ предлагается отбрасывать измерения, для которых K_c меньше единицы [1].

Однако такой подход не позволяет производить сравнительный анализ различных территорий, а также не позволяет осуществлять комплексную оценку территорий по различным абиотическим геосферам. В работе [1] предложен уточненный суммарный показатель загрязнения (СПЗУ), лишенный указанного недостатка.

Уточнённый суммарный показатель загрязнения рассчитывается по формуле:

$$\text{СПЗУ} = \sum C_i / \text{ПДК} - \log_2 n \quad (2)$$

Здесь, так же как и в классическом СПЗ, производится суммирование коэффициентов концентраций загрязняющих веществ, однако количественно число этих веществ n ограничивается не линейным, а логарифмическим законом. Основание логарифма равно двум, так как для СПЗУ минимальное значение $n=2$. Логарифмический закон выбран потому, что отклик биоты на суммарное воздействие множества факторов логарифмический. В этом случае показатель СПЗУ становится ограниченным снизу, существует ограниченная область его определения.

Минимальное значение этого показателя для $n \leq 32$ минус три, что соответствует уровню природного фона, формируемого рядом загрязняющих веществ. Табл. 1 показывает ранжирование СПЗУ [1].

При $K_c \geq 1$, показатель СПЗУ переходит в классический СПЗ для рангов: экологический риск, компенсированный кризис, некомпенсированный кризис и экологическое бедствие (предложены В.Т. Трофимовым [3]).

На рис. 2.1 представлены зависимости величины СПЗУ от числа загрязняющих веществ,

при различных значениях коэффициента концентрации. Предполагалось, что все они для различных значений n одинаковы. Кривая 1 соответствует уровню природного фона, находясь в отрицательной области. Она пологая, достигая минимума минус три при $16 \leq n \leq 32$. По-видимому, это оптимальное число микроэлементов, необходимых организму человека для комфортного функционирования. Кривая 2 рассчитана для $K_c = 0,5$, кривая 3 для $K_c = 1$, кривая 4 для $K_c = 2$, кривая 5 для $K_c = 3$ и кривая 6 для $K_c = 4$. Отсюда понятен выбор соответствующих экологических рангов.

Предложенный уточненный суммарный показатель загрязнения позволяет с единых позиций описать экологическое состояние всех трех природных геосфер: литосферу, атмосферу и гидросферу. Ранжирование справедливо для тридцати двух видов загрязняющих веществ, что достаточно для практических целей, и позволяет четко классифицировать экологическую ситуацию по классическим рангам, строго разделяя понятия природного, техногенного фона, а также экологической нормы.

Отметим качественные характеристики, предложенные в таблице рангов.

Ранг природного фона соответствует естественному состоянию природной геосферы, когда биота находится с ней в динамическом равновесии в микроэлементном смысле, то есть обеспечивает биоту необходимым для жизнедеятельности количеством природных веществ.

Ранг техногенного фона соответствует повышенному содержанию некоторых веществ в природной геосфере за счет антропогенной нагрузки. В этом случае природное равновесие нарушается и излишек этих веществ, ставших для биоты вредными, сбрасывается в окружающую среду за счет основных систем выведения загрязняющих веществ, работающих в штатном режиме.

Ранг экологической нормы предполагает дальнейшее нарушение природного равновесия, когда избыток вредных веществ выводится за счет включения всех возможных

систем выведения и не наблюдается их накопления в организме.

Ранг экологического риска предполагает накопление загрязняющих веществ в ослабленных организмах, а в остальных – работу всех систем выведения с предельной нагрузкой. В этом случае возможны экологически обусловленные заболевания слабых организмов, но эта связь статистически слабая.

Ранг компенсируемого кризиса предполагает столь высокую концентрацию загрязняющих веществ в организме, что они накапливаются в нем и вызывают достоверно установленные экологические заболевания. Однако изменение среды обитания организма и медицинские мероприятия позволяют привести его в нормальное состояние.

Ранг некомпенсируемого кризиса предполагает чрезвычайно высокое накопление вредных веществ в организме, так что изменение среды обитания и лечение позволяют только снизить их уровень. В организме происходят необратимые изменения, приводящие к его преждевременной гибели.

Ранг бедствия делает невозможным длительное существование основной части биоты в такой природной среде. При этом только отдельные организмы за счет генетических мутаций могут приспособиться к новой природной геосфере их жизнедеятельности, давая начало новой популяции [1].

Отметим, что при увеличении числа элементов n коэффициенты K_c , обеспечивающие принятое ранжирование, уменьшаются, так как в организм поступает все большее количество загрязняющих веществ, которые уже не могут так эффективно выводиться из организма, как при малом числе n , даже если не учитывать возможного синергетического взаимодействия этих веществ. Кроме того, статистические ряды по каждому загрязняющему веществу могут быть недостаточными для репрезентативного вычисления СПЗУ. В этом случае количественная методика вычисления СПЗУ может быть заменена эвристической, основанной на экспертной методике оценки экологических рисков. В табл. 2 приведены значения СПЗУ и соот-

Ранжирование СПЗУ

СПЗУ	Ранг
$-3 \leq * < -1$	Природный фон
$-1 \leq * \leq 0$	Техногенный фон
$0 \leq * \leq 2$	Экологическая норма
$2 < * \leq 4$	Экологический риск
$4 < * \leq 8$	Компенсированный кризис
$8 < * \leq 16$	Некомпенсированный кризис
$* > 16$	Бедствие

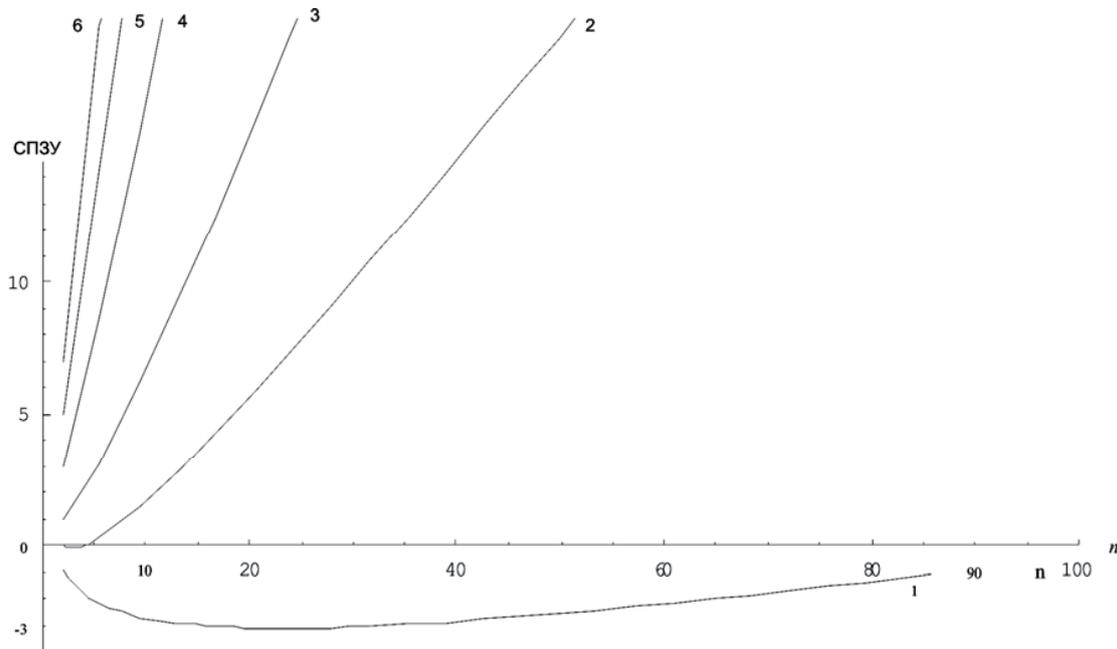


Рис. 1 Область определения СПЗУ

ветствующие им границы рангов для $n = 15$, что соответствует числу загрязняющих веществ, исследованных в работе. В ней также приведены усредненные экспертные оценки рисков R в баллах для соответствующих значений СПЗУ при загрязнении природных вод и почвы. Усреднение производилось по опросным листам, представленным восьми квалифицированным экспертам. Число рангов N определялось по известной формуле:

$$N = 5 \lg \text{СПЗУ} \quad (3)$$

Область определения СПЗУ = 19, $N = 7$, что совпадает с предложенным выше коли-

чеством рангов. Начало первой градации соответствует минимально возможному фону при СПЗУ = -3 и $K_c = 0,06$, то есть когда все 15 загрязняющих веществ по своей концентрации не превышают одной шестнадцатой части ПДК. Это минимальная фоновая концентрация различных элементов и соединений, наблюдаемая на Кольском полуострове.

Если число точек пробоотбора мало, то СПЗУ может быть вычислено эвристическим методом по экспертным оценкам. Восьми квалифицированным экспертам было предложено оценить значения экологических рисков для вычисленных рангов. Затем по экспертным оценкам составлено двухкомпо-



Рис. 2. Динамика интегрального значения СПЗУ

нентное уравнение регрессии:

$$\text{СПЗУ} = a_0 + a_1 R_1 + a_2 R_2 \quad (4)$$

Результирующее уравнение имеет вид:

$$\text{СПЗУ} = -1,9961 + 0,0097R_1 + 5,1496R_2 \quad (5)$$

Где: R_1 – экологический риск для воды, R_2 – для почвы.

Коэффициент корреляции между предиктантом СПЗУ и парой предикторов R_1 – вода и R_2 – почва равен 0,995, что свидетельствует о высокой точности экспертных оценок.

Однокомпонентные уравнения регрессии:

$$\text{Для воды: СПЗУ} = -3,5796 + 3,2687 R_1 \quad (6)$$

при коэффициенте корреляции 0,96

$$\text{Для почвы: СПЗУ} = -1,99 + 5,164 R_2 \quad (7)$$

при коэффициенте корреляции 0,97.

Таким образом, если существуют репрезентативные ряды наблюдений для депонирующей среды, то СПЗУ вычисляется количественно. В противном случае – по экспертным оценкам.

Вычислив СПЗУ по всем точкам пробоотбора, можно усреднить его по всей территории деятельности горнодобывающих и промышленных предприятий как для природных вод, так и для почв, то есть полу-

чить интегральный СПЗУ для каждой среды. Поскольку атмосфера является чрезвычайно динамичной геосферной оболочкой, способной к быстрому разбавлению примесей и самоочищению, то определять её интегральный СПЗУ не имеет смысла. Речь может идти только о депонирующих средах, накапливающих загрязняющие вещества. Кроме того, атмосферные загрязнения – в основном газообразные, не коррелирующие с водными и почвенными загрязняющими веществами.

Следующим шагом методики является вычисление комплексного СПЗУ территории по двум депонирующим средам. Если поллютанты этих сред не коррелируют между собой, то их комплексный СПЗУ можно представить точкой в ортогональном пространстве признаков.

Если наблюдаются корреляционные связи различных поллютантов, то ортогональная система координат преобразуется в косоугольную, углы между ортами которой определяются коэффициентами корреляции [1]. Поскольку связи могут быть различными, то построить такое пространство признаков чрезвычайно сложно. Поэтому рекомендуется комплексный анализ депонирующих сред производить по одному и тому же набору поллютантов. Тогда угол между ортами

равен нулю, и производится алгебраическое сложение интегральных СПЗУ двух сред – гидросферы и педосферы. Комплексный СПЗУ территории равен:

$$\langle \text{СПЗУ} \rangle = \text{СПЗУ}_Г + \text{СПЗУ}_П \quad (8)$$

Эта величина характеризует одним числом экологическое состояние исследуемой техногенно нагруженной территории и может отслеживаться по результатам мониторинга, позволяя давать обоснованные природоохранные рекомендации.

В качестве примера на рис. 2 приведен график динамики интегрального изменения СПЗУ природных вод по всей территории деятельности ОАО «Ковдорский ГОК» за весь период мониторинга с 1999 по 2009 гг. Данный график наглядно показывает, что до 2005 г. состояние территории оценивалось как благоприятное. Уровень интегрального СПЗУ находился в рамках природного и, начиная с 2002 г., техногенного фона. В период с 2006 по 2008 гг. произошло резкое увеличение уровня загрязнения природных вод.

Область значений интегрального СПЗУ не выходит за рамки экологической нормы в

связи со щелочным характером природных вод территории. После проведенных в 2008 г. природоохранных мероприятий по уменьшению пыления хвостохранилища ситуация стала меняться в положительную сторону, и в 2009 г. значение интегрального СПЗУ снова вернулось в область техногенного фона.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Базарский О.В. Универсальная методика геоэкологической оценки состояния природных геосфер / О.В. Базарский, С.Ю. Боков // Экологическая геология: научно-практические, медицинские и экономико-правовые аспекты: материалы междунар. науч. - практ. конф., 6-10 окт. 2009 г. Воронеж, 2009. С. 119-122.
2. Косинова И.И. Методы эколого-геохимических, эколого-геофизических исследований и рациональное недропользование/ И.И. Косинова, В.А. Богословский, В.А. Бударина. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2004. 281 с.
3. Трофимов В.Т. Экологические функции литосферы / В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг, Т.А. Барабощкина и др. М.: Московский государственный университет, 2000. 432 с.