УДК 504.5:622+519.812.3

***А.В. Хохряков***
*д-р техн. наук*
*профессор*
*Уральский государственный горный университет*
*заведующий кафедрой инженерной экологии*
*ief.ie@m.ursmu.ru*

***А.Ф. Фадеичев***
*канд. геол.-мин. наук*
*Уральский государственный горный университет*
*доцент кафедры инженерной экологии*
*aff1935@mail.ru*

***Е.М. Цейтлин***
*канд. геол.-мин. наук*
*Уральский государственный горный университет*
*старший преподаватель*
*tseitlin.e.m@gmail.com*

# Применение интегрального показателя экологической опасности для решения экологических задач предприятий минерально-сырьевого комплекса

*Авторами предложен новый подход к оценке экологической опасности с помощью интегрального показателя экологической опасности, который позволяет устранить основные недостатки существующих сегодня подходов к решению этой задачи*

*The authors proposed a new approach to the assessment of environmental hazard with the help of the integral index of ecological danger, which eliminates the main shortcomings of the existing approaches to solving this problem*

**Ключевые слова:** экологическая опасность, экологическая безопасность, горные предприятия, приоритетная экологическая задача, показатель весомости, суммарный интегральный показатель экологической опасности
**Keywords:** environmental hazard, environmental safety, mining enterprises, environmental priorities, the index weighting, the total integral index of environmental hazard

Горные предприятия оказывают наиболее разностороннее воздействие на все элементы геосферы: литосферу, гидросферу, атмосферу, биосферу, а также на социосферу [8, 6]. Увеличение объемов извлекаемой на поверхность горной массы, чаще всего за счет месторождений с малым содержанием полезного компонента, сопровождается прогрессирующим накоплением на земной поверхности отходов горного производства. Особую значимость для Свердловской области имеет проблема промышленного землепользования ввиду многообразия отходов и объектов их хранения, как в период эксплуатации, так и после консервации [2].

**В современных условиях ограниченности ресурсов, в том числе для решения экологических задач, объективная оценка уровня экологической безопасности того или иного технологического или организационного решения, предприятия в целом является насущной необходимостью**

По опубликованным данным [4], площадь отвалов горнодобывающих и горноперерабатывающих производств в мире превышает 10 млн га. В России функционирует около 4000 предприятий по добыче и переработке минерального сырья. Действует более 600 шахт и рудников с подземной добычей угля, руд металлов, минеральных удобрений, а также более 400 карьеров и разрезов. Только в угольной промышленности работают 230 шахт и 65 разрезов, 74 обогатительные фабрики. В настоящее время в России количество неутилизированных отходов горного производства достигает 45 млрд т на площади 250 тыс. га. Регионы интенсивной добычи сырья уже стали ареной экологической катастрофы, в том числе это характерно и для Уральского региона. Среди предприятий Уральского региона основную долю в загрязнение окружающей среды (ОС) вносят горные предприятия Свердловской области. Так, в 2011 г. по данным государственной статистической отчетности [5] в Свердловской области, более 30% из более чем 1 млн выброшенных в атмосферу загрязняющих веществ, более 50% из почти 500 тыс. сброшенных загрязняющих веществ в водные объекты и более 90% из почти 185 млн т образованных отходов пришлось на горнопромышленный комплекс. Всего в отвалах, хвостохранилищах и других местах размещения отходов по Свердловской области размещено более 8,8 млрд т промышленных отходов, которые оказывают крайне негативное воздействие на ОС и здоровье человека.

В современных условиях ограниченности ресурсов, в том числе для решения экологических задач, объективная оценка уровня экологической безопасности (ЭБ) того или иного технологического или организационного решения, предприятия в целом является насущной необходимостью.

Существуют три принципиально различных подхода к оценке ЭБ промышленных объектов:

– основанный на показателях нормирования (Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»);

– базирующийся на оценке экологического риска [1];

– эколого-экономический подход, основанный на методе «интегрального критерия» [3].

Основные недостатки существующих подходов [9, 10] заключаются в сложности учета специфики воздействий промышленных объектов; затруднительности обоснования приоритетных экологических задач для предприятия; субъективности ранжирования предприятий по степени экологической опасности (ЭО).

Таким образом, разработка метода комплексной оценки ЭБ горного производства с целью оптимизации его негативного воздействия на ОС с учетом уже имеющихся на сегодня научных подходов является актуальной задачей. Под оптимизацией негативного воздействия горного производства понимается выбор наиболее эффективных инженерно-технических мероприятий для решения приоритетных экологических задач предприятия на основе оценки ЭБ горного предприятия.

Экологическое воздействие горного производства в значительной мере обусловлено видом ПИ, условиями залегания, объемами и технологией добычи и переработки, а также географо-экономическим положением объекта.

Оптимизация негативного воздействия горного производства на ОС будет проходить в 2 этапа:

– 1 – комплексная оценка ЭБ горного производства и выбор его приоритетных экологических задач;

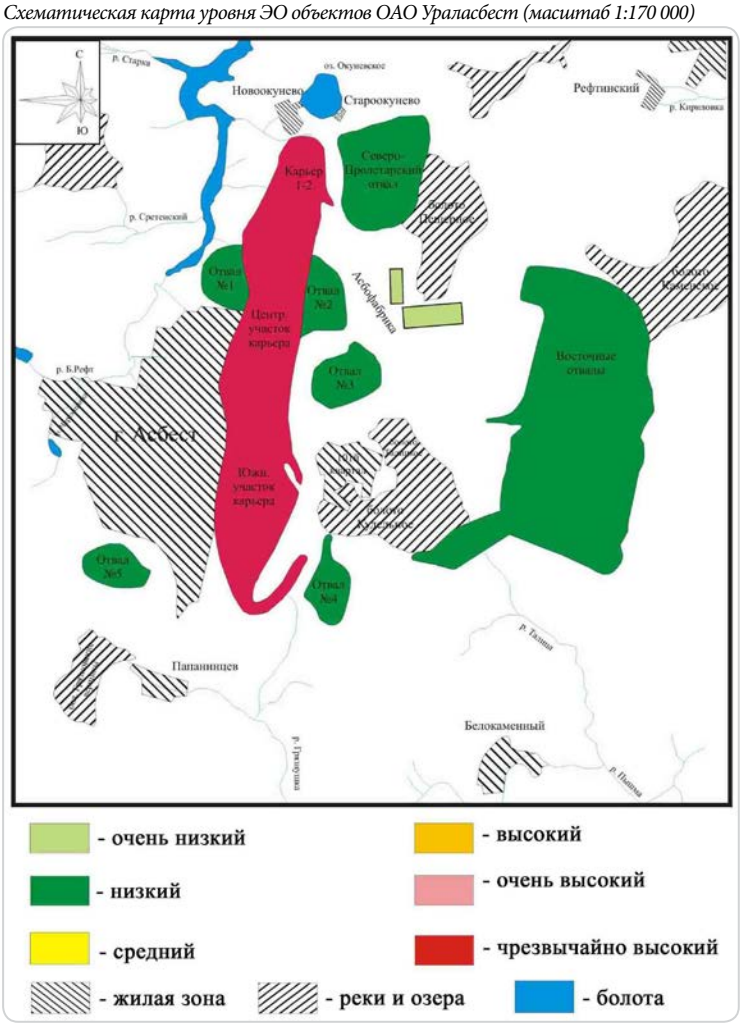
– 2 – выбор наиболее эффективного природоохранного мероприятия, внедрение которого позволит оптимизировать негативное воздействие горного производства на ОС.

Для определения степени ЭБ необходимо комплексно оценить негативное воздействие горного предприятия на ОС. При этом степень ЭБ тесно связана со степенью ЭО. Чем выше ЭО, тем ниже ЭБ. Оценка экологическо-

го воздействия предприятия на ОС подразумевает проведение оценки его воздействия на все элементы биосферы: литосферу, атмосферу, гидросферу, биоценозы и зооценозы. Оценку ЭО производства предлагается производить по 4 базовым факторам, а также по 3 дополнительным факторам. Под базовыми факторами понимают факторы, характерные для любого предприятия, под дополнительными – факторы, учитывающие специфику горного производства (главным образом, это вид ПИ). Все показатели имеют разные шкалы оценки и разный физический смысл и требуют сравнения друг с другом. Мерой каждого показателя на начальном уровне является его качественное описание.

**Основные недостатки существующих подходов заключаются в сложности учета специфики воздействий промышленных объектов; затруднительности обоснования приоритетных экологических задач для предприятия; субъективности ранжирования предприятий по степени экологической опасности**

**Рис. 1.**
*Схематическая карта уровня ЭО объектов ОАО Ураласбест (масштаб 1:170 000)*




Количественное описание системы, которое используется для принятия решения, можно представить в виде целевой функции [9, 10]:

$$N_{ij} = \lambda_{ij}\left(1 - \frac{k_{ij\max} - k_{ij}}{k_{ij\max}}\right) \cdot \left(1 - \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{p_{tj\max} - p_{tj}}{p_{tj\max}}}{n}\right) \quad (1)$$

где N – интегральный показатель ЭО горного производства, $\lambda_{ij}$ – показатель весомости базового фактора $k_{ij}$ – значение интенсивности воздействия фактора на элемент биосферы, $k_{ijmax}$ – максимально возможный уровень воздействия фактора на ОС, $p_{ti}$ – величина интенсивности воздействия фактора, учитывающего специфику горного производства на j-й элемент биосферы, определенная экспертным методом; $p_{timax}$ – максимальная величина интенсивности воздействия фактора, учитывающего специфику горного производства; t – фактор воздействия, учитывающий специфику горного производства; n – количество факторов воздействия, учитывающих специфику горного производства; i – базовый фактор.

Интегральный показатель N является безразмерной величиной и может принимать значения от 0 и выше. Показатель весомости базового фактора λ определяет вклад базового фактора в воздействие на элемент биосферы.

Данный показатель рассчитывается для каждого из элементов биосферы. Затем рассчитывается суммарный интегральный показатель ЭО всех факторов воздействия на элемент биосферы. Расчет суммарного интегрального показателя ЭО для элемента биосферы производится по формуле (2):

$$N_{fij} = N_{1j} + N_{2j} + N_{3j} + \ldots + N_{ij} \quad (2)$$

где $N_{fij}$ – суммарный интегральный показатель ЭО для элемента биосферы.

Интегральный показатель ЭО всех факторов воздействия является критерием выбора элемента биосферы, на который горное предприятие оказывает преимущественное воздействие.

Предлагаемый подход позволяет не только выявлять приоритетные экологические задачи для горного предприятия, но и ранжировать основные источники воздействия горных предприятий на ОС (отвалы, обогатительная фабрика, карьер, шламохранилище и т.д.). Алгоритм выбора наиболее экологически опасных источников воздействия аналогичен алгоритму выбора приоритетных экологических задач.

## Шкала оценки степени ЭО

**Таблица 1**

| Уровень негативного воздействия | Очень низкое | Низкое | Среднее | Высокое | Очень высокое | Чрезвычайно высокое |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Количество баллов | 0-0,2 | 0,21-0,4 | 0,41-0,6 | 0,61-0,8 | 0,81-1 | > 1 |

Авторами была разработана шкала оценки уровня экологической опасности горного предприятия (***табл. 1***).

Критерием определения ЭБ горного предприятия является интегральный показатель экологической опасности фактора, для которого данный показатель максимален, т.е. фактора, вносящего наибольший вклад в загрязнение ОС предприятием.

После оценки ЭБ предприятия и определения его приоритетных экологических задач необходимо выбрать несколько мероприятий, которые способны решить данные задачи, а затем определить наиболее эффективное мероприятие, внедрение которого наиболее экологически оптимально и эффективно. Для этого необходимо определить суммарный интегральный показатель экологической безопасности каждого из мероприятий. То мероприятие, для которого данный показатель минимальный, и будет наиболее эффективным.

Очень часто на производстве при строительстве или реконструкции технологических объектов перед руководством встает вопрос обоснования наиболее экологически безопасных технологических параметров конкретного объекта.

Для этого также может быть рекомендован метод интегрального показателя экологической опасности. Расчет этого показателя производится по формуле (2). Такой подход также позволяет определять приоритетные объекты на горном предприятии, которые оказывают наибольшее воздействие на ОС.

В качестве примера рассмотрим ОАО Ураласбест, занимающееся добычей и переработкой асбестосодержащей руды, типичное горное предприятие Уральского региона. Производственная деятельность ОАО Ураласбест оказывает воздействие на атмосферу, гидросферу и литосферу. Ежегодно на комбинате наблюдаются превышения по сбросу соединений азота вместе с дренажными водами из карьера в р. Рефт. Результаты расчета интегрального показателя экологической опасности для каждого фактора по элементам биосферы для ОАО Ураласбест показали, что снижение концентрации азотсодержащих веществ является приоритетной экологической задачей. Уровень экологической опасности – чрезвычайно высокий.

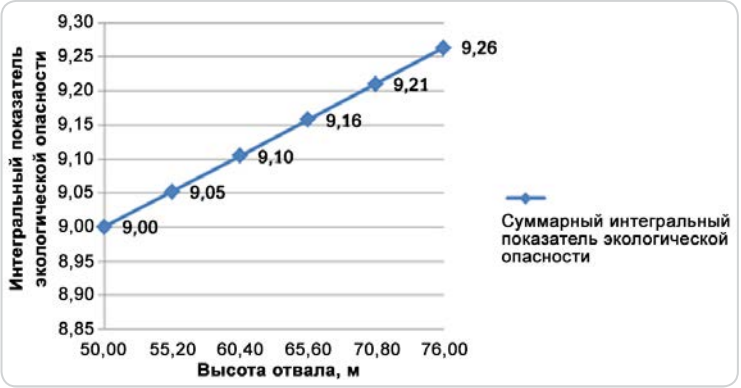
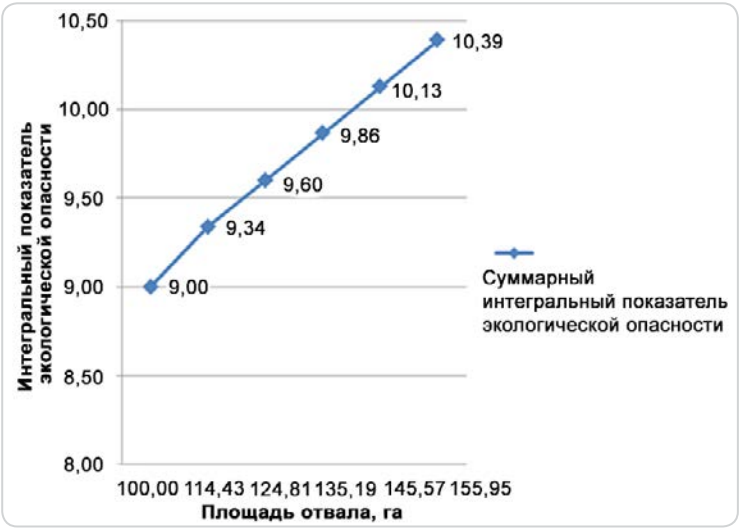



**Рис. 2.**
*График изменения интегрального показателя ЭО с изменением высоты отвала при неизменной площади*

**Рис. 3.**
*График изменения интегрального показателя ЭО с изменением площади отвала при неизменной высоте*




Кроме того, в рамках проводимых исследований выявлены приоритетные объекты, которые оказывают преимущественное воздействие на ОС, и построена схематическая карта, на которой графически отражены уровни экологической опасности каждого из объектов. В качестве основных объектов-загрязнителей ОС были выбраны отвалы, карьер и обогатительная фабрика. Был проведен расчет интегрального показателя экологической опасности для каждого из объектов. Результаты показаны на ***рис. 1***.

Сотрудниками кафедры инженерной экологии Уральского государственного горного университета в 2012 г. была проведена экспертная оценка различных физико-химических, химических и

биологических методов очистки сточных вод от соединений азота [7]. На основании проведенного анализа выбраны три метода очистки дренажных вод, наиболее приемлемые для условий ОАО Ураласбест: с использованием гипохлорита натрия, с помощью биологической очистки по технологии ОАО НИИ ВОДГЕО, и с помощью биологической очистки по технологии *Anammox*. Для сравнительной оценки ЭБ предлагаемых методов очистки выполнен расчет интегрального показателя экологической опасности каждой из предложенных технологий. Проведенная оценка показала, что наибольшей ЭБ обладает метод биологической очистки по технологии *Anammox*.

**Предлагаемый подход позволяет не только выявлять приоритетные экологические задачи для горного предприятия, но и ранжировать основные источники воздействия горных предприятий на ОС (отвалы, обогатительная фабрика, карьер, шламохранилище и т.д.)**

При строительстве или реконструкции технологических объектов перед предприятием встает вопрос обоснования наиболее экологически безопасных технологических параметров конкретного объекта. В частности, при обосновании параметров отвалообразования среди прочего встает вопрос, что экологически безопаснее: отсыпать отвал с увеличением его высоты при неизменной площади основания отвала (вариант 1) или с увеличением площади основания отвала при неизменной высоте (вариант 2). В данном случае рассмотрены крайние варианты. После расчета интегрального показателя экологической опасности обоих вариантов результаты были выражены графически в виде кривых изменения интег- рального показателя экологической опасности с изменением высоты отвала при неизменной площади и неизменной высоте отвала при изменяемой площади (***рис. 2, 3***).

Установлено, что уровень ЭБ первого варианта выше уровня второго варианта почти в 6 раз.

В результате проведенных исследований предложен новый подход к оценке воздействия горного предприятия на ОС и ЭБ самого предприятия, базирующийся на комплексе разнокачественных экологических, технологических и геологических факторах. Данный подход позволяет ранжировать предприятия по степени ЭБ, выявлять приоритетные экологические задачи горных предприятий, искать наиболее эффективные инженерно-технические мероприятия, способные решить данные задачи, выбирать наиболее экологически безопасные технологические параметры для технологических решений. Метод апробирован на примере крупнейших горных предприятий Уральского региона: ОАО Ураласбест, ОАО Качканарский ГОК «Ванадий» и ОАО Высокогорский ГОК.

Предложенный метод может быть использован не только для горных предприятий, но для предприятий других отраслей с учетом их специфики.

**Литература**

1. Акимов В.А., Лесных, В.В., Радаев Н.Н. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике. М.. 2004. 352 с.
2. Антонинова Н.Ю., Рыбникова Л.С., Славиковская Ю.О., Рыбников П.А., Шубина Л.А. Геоэкологическая оценка земле- и водопользования в районах освоения природного и техногенного сырья Урала // ФТПРПИ. 2012. № 2. С. 194–200.
3. Астахов А.С., Диколенко Е.Я., Харченко В.А. Экологическая безопасность и эффективность природопользования. М. 2006. 323 с.
4. Голик В.И., Комащенко В.И., Леонов И.В. Горное дело и окружающая среда. М. 2011. 216 с.
5. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области» за 2011 г. Екатеринбург. 2011.
6. Проблемы охраны окружающей среды и рационального природопользования в условиях Свердловской области // Б.М. Александров, Н.В. Гревцев, А.Г. Шампаров, Е.М. Цейтлин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 4. С. 346–350.
7. Студенок А.Г., Студенок Г.А., Ревво А.В. Оценка методов очистки сточных вод от соединений азота для дренажных вод горных предприятий // Известия Уральского государственного горного университета. 2013. № 2. С. 26–30.
8. Хохряков А.В., Фадеичев А.Ф., Цейтлин Е.М., Динамика изменения воздействия ведущих горных предприятий Урала на окружающую среду // Горный журнал. 2011. № 8. С. 44–53.
9. Цейтлин Е.М. Оптимизация негативного воздействия горного производства с помощью интегрального критерия оценки экологической опасности // Горный информационно-аналитический бюллетень. Специальный выпуск. 2013. 16 с.
10. Цейтлин Е.М., Хохряков А.В. Оценка экологической опасности промышленных объектов минерально-сырьевого комплекса с помощью интегрального показателя // Горный журнал. 2013. № 5. С. 49–55.

# СЕМИНАРЫ НП «НАЭН»
# на II полугодие 2014 г.

| | |
|---|---|
| **УГЛЕВОДОРОДНОЕ СЫРЬЕ** | |
| **11–12 сентября** | **Практический семинар**<br>«Оперативный подсчет запасов углеводородного сырья» |
| **6–7 октября** | **Практический семинар**<br>«Опыт и нововведения в области экспертизы запасов месторождений УВС» |
| **15–16 декабря** | **Информационно-обучающий семинар**<br>«Повышение достоверности исходной информации для подсчета запасов и проектирование разработки месторождений нефти и газа» |
| **ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ** | |
| **24–25 ноября** | **Практический семинар**<br>«Вопросы геологии и подсчета запасов месторождений ТПИ» |
| **ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ** | |
| **12–13 ноября** | **Информационно-обучающий семинар**<br>«Оценка запасов подземных вод методом математического моделирования» |

## КОРПОРАТИВНЫЕ СЕМИНАРЫ ДЛЯ ВАШЕЙ КОМПАНИИ:

**НП «НАЭН»** организует корпоративные семинары по индивидуальной тематике, разработанной специально под запросы вашей компании. Программы семинаров направлены на повышение профессионального уровня специалистов в соответствии с современными требованиями геологической отрасли. В семинарах принимают участие ведущие эксперты и специалисты ОЭРН, государственных структур, проектных организаций, НИИ и консалтинговых компаний.
По завершении семинара все участники получают методические пособия, сборники тезисов по программе и свидетельство о прохождении семинара.

**УЗНАЙТЕ БОЛЬШЕ:**

Руководитель
образовательных программ:
Наталия Шикун
shikun@naen.ru
+7(495) 780-35-48 доб.336

naen.ru
+7(495) 780-33-43

Организатор: НАЭН

При поддержке: ОЭРН

При участии ФБУ ГКЗ:

Информационный партнер: НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ XXI ВЕК
Научно-технический журнал