

П.С. Шпаков, А.Г. Урузбиева, А.И. Маневич

ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

Сформулированы основные принципы геоэкологического мониторинга сложных горнодобывающих объектов на основе метода интегральных оценок с инженерно-геологическим обеспечением. Данный коэффициент предназначен для оценки геоэкологического состояния среды с учетом взаимовлияния показателей техногенной нагрузки и промышленной безопасности рассматриваемой природно-технической системы. Неоспоримым преимуществом рассматриваемого коэффициента является удобство и универсальность его использования позволяющая учитывать различные комбинации показателей техногенной нагрузки ПТС на окружающую среду. Данный метод целесообразно использовать для мониторинга и моделирования геоэкологического состояния сложных объектов горнодобывающего комплекса, природно-технических систем, анализа экологических рисков, оценки эффективности экологической стратегии объекта.

Ключевые слова: мониторинг, прогноз, горное дело, интегральная оценка, природно-техническая система, промышленная безопасность, экологическая безопасность, автоматизированные системы.

Одной из тенденций развития инженерно-геологического, гидрогеологического, геомеханического и геоэкологического мониторинга состояния природно-технических систем, на данный момент является повышение качества сбора, хранения (классификации) и анализа информации, с целью более эффективного контроля состояния горнодобывающего объекта, на предмет промышленной и экологической безопасности. В рамках данной тенденции, можно выделить два перспективных направления:

- Сбор и анализ инженерно-геологической информации, наиболее качественно описывающей пространственно-вре-

менную изменчивость свойств массивов горных пород и техногенных отложений.

- Геоэкологическая оценка, мониторинг и прогноз состояния территорий природно-технических объектов для своевременных решений по управлению экологической стратегией развития рассматриваемого горнодобывающего объекта.

Данные направления успешно развиваются и описаны в работах [1–8]. Однако, в условиях непрерывного, автоматизированного сбора информации, на крупных объектах горнодобывающих комплексов все чаще возникает проблема анализа большого количества разноплановых инженерно-геологических, гидрогеологических, геомеханических и геоэкологических данных о состоянии природно-технической системы (ПТС). Одним из способов решения представленной проблемы могут быть методы интегрирования данных, включающее в себя объединение данных различных элементов природно-технической системы и представление их в унифицированном виде. Опыт исследователей [9–14] показал действительно широкую перспективу применения интеграции данных, в следующих аспектах анализа состояния природно-технических систем:

- Консолидация геоэкологических данных горнодобывающего предприятия (больше относится к атмосферному и гидроферному контролю).

- Учет эффектов взаимовлияния и эффекта суммации показателей состояния природно-технической системы.

- Управление стратегией экологической и промышленной безопасности рассматриваемой природно-технической системы на основе оптимизации интегральных оценок как показателя техногенной нагрузки на окружающую среду.

В зависимости от полноты и характера пространственно-временной изменчивости информации о состоянии ПТС и целей ее дальнейшей эксплуатации разрабатывается интегральная оценка, характеризующая степень развития системы по набору показателей, входящих в интегральный показатель (обычно разрабатывается несколько оценок).

Показатель в данном случае — это вид техногенной нагрузки, который можно однозначно количественно оценить (экспериментальными или косвенными методами), и воздействие которого на окружающую среду нормируется и/или хотя бы научно-обосновано.

Влияние на окружающую среду, природно-технической системой — оценивается совокупностью показателей, каждый из

которых так или иначе взаимодействует с другими показателями, естественной и техногенной средой. Для выявления показателей техногенной нагрузки определяются процессы негативного воздействия на окружающую среду, характерные для рассматриваемого объекта.

Интегральная оценка определяется как сумма произведений весовых коэффициентов показателей техногенной нагрузки модели, рассматриваемой ПТС:

$$I_e = \sum_{i=1}^n K_n$$

Разработка интегральной оценки имеет следующую архитектуру (рис. 1).

Цели и задачи разработки интегральной оценки могут быть достаточно разнообразны – это эколого-экономическое планирование, управление промышленной безопасностью, отражение совокупности техногенного воздействия объекта на окру-



Рис. 1. Структура разработки интегральной оценки геоэкологического состояния природно-технической системы

жающую среду, мониторинг качества эксплуатации горнодобывающего объекта.

Следует заметить, что интегральная оценка в рамках своего геоэкологического сценария имеет возможность варьирования набора показателей, что так же дает возможность моделирования множества итераций состояния ПТС.

Задача определения весов коэффициентов не может быть решена формализованными методами в рамках моделирования состояния системы, в силу отсутствия информации о явных связях системных показателей. В условиях неполноты информации возникает необходимость использования методов экспертных оценок или классификаций, основанных на использовании накопленного опыта и знаний о рассматриваемой природно-технической системе или ее аналогов.

Экспертная оценка – это совокупность научно-обоснованных методов, которые позволяют по заданным исходным данным формировать общую совокупность возможных вариантов технических решений, производить их сравнительный анализ, отбор, включая выделение оптимального по выбранным критериям варианта.

Проведенный анализ показывает, что метод экспертных оценок широко используется специалистами в области военных технологий и в различных отраслях народного хозяйства при создании сложных технических систем, разработке новых проектов, технологий. Отметим, что как при использовании методов математического моделирования, так и при экспертном методе, формальную модель или описание объекта формирует исследователь, который опирается на системный подход со своими, присущими каждому специалисту предпочтениями. При этом современные математические методы достигли такого совершенства, что их применение при обработке мнений экспертов в значительной мере способствует снижению субъективизма, присутствующего в методе экспертных оценок.

Использование классификаций показателей представляет собой широкую совокупность разноплановых математических и статистических методов анализа показателей природно-технической системы, виды и способы применения которых достаточно подробно освещены в соответствующей литературе. К методам определения весовых коэффициентов классификацией относят: прямую подстановку коэффициентов (при предварительной нормировке значений), метод анализа иерархий, методы системного анализа, эволюционно-симулятивный

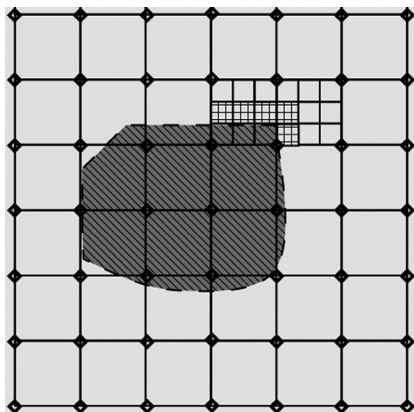


Рис. 2. Принципиальная схема визуализации распределения интегральной оценки: пересечения линий – узлы расчета значений, пунктирная линия – элемент ПТС

метод, алгоритмы принятия решений разрабатываемые самим исследователем и т.д.

Для анализа расчетных значений интегральной оценки целесообразно получать визуальное распределение по территории природно-технической системы. Структура визуализации следующая: построение схемы ПТС, определение узлов (точек) для расчета интегральной оценки, дополнительное разбиение узлов в областях бифуркаций функции интегральной оценки, интерполяция значений между узлами методами геостатистики (рис. 2).

Однако данный способ, при интерполяции данных не учитывает пространственно-временную изменчивость показателей ПТС. Данную проблему в своих работах решил В.В. Ческидов, предложивший оригинальный метод оценки пространственно-временной изменчивости свойств массивов горных пород и техногенных отложений с помощью обобщенной функции изменчивости, являющейся нормированной суммой в многомерном евклидовом пространстве комплекса исследуемых характеристик, обработка которой осуществляется с помощью современных методов геостатистики, кластерного и дисперсного анализов (в 2015 г. создано программное обеспечение, позволяющее в автоматизированном режиме осуществлять расчет обобщенной функции изменчивости) [1, 5].

Интерпретация такого рода данных позволит оптимизировать работу горнодобывающего объекта, выбрать наиболее эффективные инженерно-технические мероприятия для решения

приоритетных задач экологической и промышленной безопасности ПТС.

Неоспоримым преимуществом метода интегральных оценок является их комплексность и универсальность, позволяющая учитывать различные комбинации показателей техногенной нагрузки ПТС на окружающую среду. Данный метод целесообразно использовать для мониторинга и моделирования геоэкологического состояния сложных объектов горнодобывающего комплекса, природно-технических систем, анализа экологических рисков, оценки эффективности экологической стратегии объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ческидов В. В.* Разработка метода построения сетей инженерно-геологических исследований техногенных массивов: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. тех. наук. — М.: МГГУ, 2012. — 168 с.

2. *Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Г.* Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. — Тольятти, ИЭВБ РАН, 2003. — 463 с.

3. *Ческидов В. В.* Инженерно-геологическое обеспечение управления состоянием массивов горных пород на оползнеопасных территориях // Горная промышленность. — 2015. — № 1 (119). — С. 84.

4. *Ческидов В. В.* Инженерно-геологическое обеспечение при строительстве линейных объектов в условиях северного Кавказа / Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы технических наук в современных условиях». — 2015. — С. 104–108.

5. *Ческидов В. В.* Проектирование сетей инженерно-геологического опробования на техногенных массивах горнодобывающей промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 12. — С. 367–371.

6. *Ческидов В. В.* Перспективы использования САПР при инженерно-геологических изысканиях на открытых горных разработках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 11.

7. *Гальперин А. М., Кириченко Ю. В., Кутепов Ю. И.* Комплексный подход к экологически безопасному освоению техногенных массивов. // Горная промышленность. — 2011. — № 5 (99). — С. 22–23.

8. *Сергина Е. В.* Геолого-маркшейдерский мониторинг при переформировании гидротехнического сооружения (ГТС) в природно-техническую систему (ПТС) // Маркшейдерия и недропользование. — 2013. — № 6 (68). — С. 49–52.

9. *Родионова И. А., Липина С. А., Журавель В. П., Пушкарев В. А.* Обеспечение экологической безопасности: государственное управление арктическим регионом // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1–1. — С. 624.

10. *Липина С. А.* Устойчивое развитие России на основе принципов зеленой экономики // Арктические ведомости. — 2014. — № 3 (11).

11. *Цейтлин Е.М.* Исследование, оценка и оптимизация уровня экологической безопасности окружающей среды в условиях горного производства: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геол.-мин. наук. — Екатеринбург: УГГУ, 2013. — 194 с.

12. *Corentin Briat* Linear Parameter-Varying and Time-Delay Systems: Analysis, Observation, Filtering & Control. — 2014. — 394 p.

13. *Friedrich R.* Integrated assessment for supporting decision making with multiple criteria // EPJ Web of Conferences. — 2015. — P. 13.

14. *Bijl D. L., Bogaart P. W., Kram De Vries T., Bert J. M., Van Vuuren, Detlef P.* Process-based modelling of regional water demand for electricity, industry and municipal sectors in Integrated Assessment Models // EGU General, 2014. **ПИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Шпаков П.С. — доктор технических наук, профессор,

Муромский институт (филиал)

Владимирского государственного университета

им. А.Г. и Н.Г. Столетовых

*Урузбиева А.Г.*¹ — аспирант,

e-mail: arina99991@mail.ru,

*Маневич А.И.*¹ — студент, e-mail: alm-94@yandex.ru,

младший научный сотрудник,

Геофизический Центр РАН,

¹ МГИ НИТУ «МИСиС».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 8, pp. 406–413.

UDC
624.131.3;
622:51-7

P.S. Shpakov, A.G. Uruzbieva, A.I. Manevich
ENGINEERING-GEOLOGICAL
AND GEOECOLOGICAL MONITORING
OF THE STATE OF COMPLICATED OBJECTS
MINING COMPLEX

Basic principles environmental monitoring of mining complex objects based on integral estimates with geological engineering software. This coefficient designed to evaluate the geoecological state of the environment, taking into account the mutual influence of anthropogenic impact performance and safety considered natural-technical system. The undeniable advantage of the considered factor is the convenience and versatility of use allows to take into account different combinations of natural-technical system performance anthropogenic impact on the environment. This method should be used for monitoring and modeling of complex objects of geoecological state mining complex, natural-technical systems, environmental risk analysis, evaluation of the effectiveness of environmental policies of the object.

Key words: monitoring, forecast, mining, collection and processing of information, natural-technical system, industrial security, environmental safety, computer-aided system.

AUTHORS

Shpakov P.S., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Murom Institute (branch),
Vladimir State University named after Stoletovs,
602264, Murom, Russia,
*Uruzbieva A.G.*¹, Graduate Student,
e-mail: arina99991@mail.ru,
*Manevich A.I.*¹, Student, e-mail: alm-94@yandex.ru,
Junior Researcher, Geophysical Center RAS,
¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Cheskidov V.V. *Razrabotka metoda postroeniya setey inzhenerno-geologicheskikh issledovaniy tekhnogennykh massivov* (Development of a method of constructing networks geotechnical studies technogenic massifs), Candidate's thesis, Moscow, MGGU, 2012, 168 p.
2. Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.G. *Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoy identifikatsii* (Quantitative hydroecology: system identification techniques), Togliatti, IEVB RAS, 2003, 463 p.
3. Cheskidov V.V. *Gornaya promyshlennost'*. 2015, no 1 (119), pp. 84.
4. Cheskidov V.V. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskoy konferentsiya «Aktual'nye voprosy tekhnicheskikh nauk v sovremennykh usloviyakh»* (International scientific-practical conference «Actual problems of engineering science in modern conditions»), 2015, pp. 104–108.
5. Cheskidov V.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 12, pp. 367–371.
6. Cheskidov V.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 11.
7. Gal'perin A.M., Kirichenko Yu.V., Kutepov Yu.I. *Gornaya promyshlennost'*. 2011, no 5 (99), pp. 22–23.
8. Sergina E.V. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2013, no 6 (68), pp. 49–52.
9. Rodionova I.A., Lipina S.A., Zhuravel' V.P., Pushkarev V.A. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015, no 1–1, pp. 624.
10. Lipina S.A. *Arkticheskie vedomosti*. 2014, no 3(11).
11. Tseytlin E.M. *Issledovanie, otsenka i optimizatsiya urovnya ekologicheskoy bezopasnosti okruzhayushchey sredy v usloviyakh gornogo proizvodstva* (Research, evaluation and optimization of ecological safety of the environment in terms of mining production), Candidate's thesis, Ekaterinburg, UGGU, 2013, 194 p.
12. Coentlin Briat *Linear Parameter-Varying and Time-Delay Systems: Analysis, Observation, Filtering & Control*. 2014. 394 p.
13. Friedrich R. *Integrated assessment for supporting decision making with multiple criteria*. EPJ Web of Conferences. 2015. P. 13.
14. Bijl D.L., Bogaart P.W., Kram De Vries T., Bert J.M., Van Vuuren, Detlef P. *Process-based modelling of regional water demand for electricity, industry and municipal sectors in Integrated Assessment Models*. EGU General, 2014.

