

УДК 574:55(2):622

БИОИНДИКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ КАК ЭЛЕМЕНТ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗОН ВЛИЯНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ (на примере Михайловского ГОКа)

И.И. Косинова, М.А. Небольсина

Воронежский государственный университет

Горнодобывающие предприятия являются мощным источником преобразования поверхностных экосистем. Биоиндикационные методы весьма эффективны для оценки данных преобразований. В статье представлены результаты применения биоиндикационных методов для изучения экологической обстановки в зоне влияния Михайловского ГОКа (Курская магнитная аномалия).

Введение

Горнодобывающие предприятия являются одним из основных объектов, значительно трансформирующих верхнюю часть литосферы. Как открытые, так и закрытые способы добычи полезных ископаемых кардинально изменяют все компоненты геоэкологической системы. Происходит коренная трансформация рельефа территории с градиентом высот в несколько сотен метров; деградирует почвенный покров, изменяются значения геополей; срываются и уничтожаются водоносные горизонты; нарушается естественное напряженное состояние массива, развиваются инженерно-геологические процессы и явления; отмирают малые реки и образуются техногенные поверхностные водотоки и т.п. [2].

Глубокая перестройка верхней части литосферы отражается на состоянии всех экосистем, начиная от растительности и заканчивая человеком. В этой связи объекты горнодобывающего класса являются одним из наиболее значимых при проведении эколого-геологических исследований территории.

Михайловский горнопромышленный район КМА расположен на северо-западе Курской области, занимает площадь около 500 км, приурочен к северной части Среднерусской возвышенности. На его территории разрабатывается Михайловское железорудное месторождение. На базе этого месторождения действует Михайловский ГОК, который является предприятием по добыче и переработке богатых руд, железистых кварцитов.

Комбинат ведет эксплуатацию месторождения открытым способом. Вскрышные породы и железные руды отрабатываются по транспортной системе разработки с внешним отвалообразованием.

В настоящее время в состав предприятия входят следующие основные комплексные объекты:

- карьер, в контурах которого разрабатываются богатые руды, окисленные и неокисленные кварциты, вскрышные породы;
- дробильно-сортировочная фабрика;

- дробильно-обогащительный комплекс и фабрика комкования;
- отвалы;
- хвостохранилище;
- объекты железнодорожного, автомобильного транспорта, ремонтного назначения, обслуживающего и вспомогательного назначения, тепловое хозяйство.

В геоструктурном отношении рассматриваемая территория расположена в пределах северо-западной части Воронежской антеклизы, разделяющей Московскую синеклизу и Днепровско-Донецкую впадину. Выделены 2 структурных этажа. Нижний представлен сильнодислоцированными и метаморфизованными породами архея и протерозоя, образующими кристаллический фундамент. Верхний этаж (осадочный чехол) сложен породами палеозоя, мезозоя и кайнозоя (средняя мощность в контуре действующего карьера 400-600 м).

Богатые железные руды приурочены к протерозойскому комплексу пород. Породы раннепротерозойского возраста претерпели низкую степень метаморфизма (фация зеленых сланцев). Кроме того, железистые кварциты испытали значительные изменения, связанные с процессом щелочного метасоматоза. Верхняя часть толщи железистых кварцитов (поздний протерозой) подверглась окислению различной степени.

В пределах рассматриваемого района подземные воды приурочены ко всем возрастным подразделениям осадочного чехла и трещиноватым зонам кристаллического фундамента. Широкий круг дренажных мероприятий, необходимый для обеспечения нормальных условий эксплуатации карьера, способствует существенному изменению режима подземных вод в районе. Система дренажного обеспечения заключается в поверхностном прибортовом дренаже на технологических горизонтах для приема и сброса вод с последующим отводом системой дренажных канав и перепуском в водосбросные скважины. Понижение уровня грунтовых вод осуществляется как правило системой подземного дренажного комплекса и восстающих скважин.

В результате техногенного воздействия Михайловского ГОКа произошло коренное преобразование ландшафта, появился крупный карьер площадью 12 км², глубиной 300 м, отвалы вскрышных пород, многие овраги и балки засыпаны вскрышными породами, на крупных балках созданы обширные техногенные водоемы, хвостоханилище на реке Песочной, водоханилище на реке Свапа (Копенковское), система мелких искусственных водоемов на реках Речица, Погарщина, Рясник.

Теория и методика

Состояние биоты является индикатором экологического благополучия территории вследствие миграции элементов в системе «горные породы – подземные воды – газы – почва – биота». Под биотой будем понимать совокупность всех живых организмов, включая человека, связанных посредством обмена энергией и питательных веществ в единое целое. Это единое целое есть экологическая пирамида, фундаментом пирамиды являются автотрофные растения, которые трофически связаны с вершиной пирамиды – человеком [3].

Суть тератологического метода заключается в изучении влияния геологической среды на биоту, в частности на растительные организмы, которые в свою очередь являются биоиндикаторами геологической среды. Методика исследований разработана В.М. Захаровым и др. в рамках программы «Биотест» [1].

Растительная биомасса быстро реагирует на различные стрессовые воздействия, на отклонения от оптимума условий существования. Лимитирующие факторы могут быть как естественные (изменение температуры, влажности, химического состава почв и т.д.), так и техногенные, которые по сравнению с естественными отличаются более катастрофичным характером проявления. Ответом на стресс (если его воздействие не выходит за пределы зоны угнетения, т.е. не приводит к гибели организма) является значительное изменение морфоструктуры растения (например, изменение формы, размера листовой пластины, удлинение или укорачивание стеблевидного черешка, утолщение кутикулы и др.) Одним из признаков естественного состояния является симметрия листовой пластины (вид симметрии двусторонний). Появление асимметрии свидетельствует о наличии неблагоприятных факторов в природной среде.

Метод изучения симметричности растений прост и характеризуется однозначностью интерпретации. Вследствие этого является одним из достоверных при изучении воздействия изменений в геологической среде, в данном случае загрязнения, на биоту.

В качестве объекта исследований были выбраны листовые пластины одуванчика *Taraxacum officinale* Web. У данного вида хорошо выражены элементы строения листовой пластины, также он отличается практически повсеместным распростра-

нением. В естественном состоянии листья являются симметричными [1].

Методика проведения тератологических исследований предполагает выполнение полевых и аналитических работ. В основу сети наблюдения положен техногенно ориентированный подход. Центром сети отбора растительных проб является хвостохранилище как наиболее экологически опасный объект. Направление профилей соответствует преобладающим ветрам за пять лет (1996-2000 гг.), а именно северное, западное и южное направления. Шаг отбора проб – 1 км. при невозможности отбора строго по профилю в той или иной точке проба отбиралась в допустимом радиусе (до 200 м) около обозначенного места с пометкой в привязке. С каждой точки отбиралось по 5 проб растительности по методу конверта.

Лабораторная обработка полевого материала сводится к расчету коэффициента асимметрии листовой пластины.

$$Ka = \frac{S_1}{S_2} \cdot 100\%,$$

где S_1 – площадь меньшей половины листа; S_2 – площадь большей половины листа.

По результатам пяти коэффициентов с каждой пробы высчитываются средние значения коэффициента асимметрии для каждой пробы.

По полученным данным выделяются следующие критерии оценки состояния среды:

- $Ka > 95\%$ - экологическая норма;
- $95\% > Ka > 90\%$ - экологический риск;
- $90\% > Ka > 85\%$ - экологический кризис;
- $Ka < 85\%$ - экологическое бедствие [4].

Результаты экспериментальных исследований

В ходе обработки материала были подсчитаны средние коэффициенты асимметрии по 100 точкам (табл. 1). Минимальное значение 69,76, максимальное 96,52, среднее значение 85,15. Также была подсчитана мода, т.е. такое значение признака, которое наблюдается большее число раз. Для данного дискретного вариационного ряда мода равна 80,4. Это значение показателя соответствует зоне экологического бедствия.

По полученным коэффициентам асимметрии были построены графики (кривые) распределения. Распределением случайных величин будем считать всякое соотношение между возможными значениями случайной величины и соответствующим им вероятностям. При графическом изображении распределения в прямоугольной системе координат по оси абсцисс откладывают возможные значения случайной величины, а по оси ординат – соответствующие вероятности, или иными словами, количество попаданий в значение данной случайной величины. Затем строятся точки (x_i , p_i) и соединяются в кривую. Расстояние между точками (x_{i-1} , x_i) их значений называют карманами (или шагом) распределения, задаются в каждом случае конкретно (табл. 2).

Таблица 1

Значения коэффициентов асимметрии
по точкам опробования

№ точки	Коэф. ас. средний	№ точки	Коэф. ас. средний	№ точки	Коэф. ас. средний	№ точки	Коэф. ас. средний
1	81,74	41	88,08	73	88,08	110	88,08
2	80,4	42	88,08	74	88,08	111	88,08
3	87,74	43	88,08	75	88,08	112	88,08
4	89,4	45	88,08	76	88,08	min	69,76
5	85,68	46	88,08	77	88,08	max	96,52
6	89,02	47	88,08	78	88,08	ср.знач.	85,14
7	89,22	48	88,08	79	88,08	мода	80,40
8	93,02	49	88,08	80	88,08	медиана	85,26
9	84,56	50	88,08	81	88,08		
10	85,36	51	88,08	82	88,08		
11	84,36	52	88,08	83	88,08		
12	90,4	53	88,08	84	88,08		
13	88,82	54	88,08	85	88,08		
14	90	55	88,08	86	88,08		
18	82,26	56	88,08	87	88,08		
19	88,84	57	88,08	89	88,08		
21	84,18	58	88,08	90	88,08		
22	88,66	59	88,08	91	88,08		
23	84,9	60	88,08	92	88,08		
24	78,02	61	88,08	93	88,08		
25	84,8	62	88,08	94	88,08		
26	79,38	63	88,08	95	88,08		
27	92,78	64	88,08	97	88,08		
29	86,28	65	88,08	98	88,08		
30	86,4	66	88,08	99	88,08		
32	83,2	67	88,08	100	88,08		
33	69,76	68	88,08	102	88,08		
34	85,64	69	88,08	106	88,08		
35	84,58	70	88,08	107	88,08		
36	82,6	71	88,08	108	88,08		
37	76,08	72	88,08	109	88,08		

Были построены 3 графика распределения. По оси абсцисс откладываются значения Ка от 68 до 98 (близкие целые значения к min и max) (рисунок). математический смысл на примере кармана 2 будет следующий:

- от 68 до 70 – 0 значений Ка;
- от 70 до 72 – 1 значений Ка;
- от 72 до 74 – 0 значений Ка и т.д.

Наиболее четко распределение отражает комулятивная кривая №2 (с карманом 4), которая дает более объемное изображение ситуации. При более дробных карманах (1, 2) картина представляется нечетко(ряд 1, ряд 3).

Распределение в нашем случае подчиняется закону нормального распределения (с максимумом значения в вершине кривой и симметричности данной кривой относительно прямой, проходит через этот максимум).

Мода для данной . кривой распределения будет равна 88,2. В этом случае мода отражает значение, при котором плотность распределения имеет максимум, т.е. случайная величина имеет наибольшую вероятность. Значение 88,2 соответствует зоне экологического кризиса. Медиана равна 85,26. Медиана отражает значение признака, приходящееся на

Таблица 2

Карманы распределения и соответствующие им частоты

Карман 2	Частота	Карман 1	Частота	Карман 4	Частота
68	0	68	0	68	0
70	1	69	0	72	1
72	0	70	1	76	1
74	1	71	0	80	9
76	0	72	0	84	25
78	4	73	1	88	31
80	5	74	0	92	26
82	12	75	0	96	3
84	13	76	0		
86	19	77	2		
88	12	78	2		
90	16	79	1		
92	10	80	4		
94	2	81	6		
96	0	82	6		
98	1	83	5		
		84	8		
		85	10		
		86	9		
		87	8		
		88	4		
		89	8		
		90	8		
		91	6		
		92	4		
		93	1		
		94	1		
		95	0		
		96	0		
		97	1		
		98	0		

середину ранжированного дискретного ряда наблюдений [5]. Данное значение также соответствует зоне экологического кризиса.

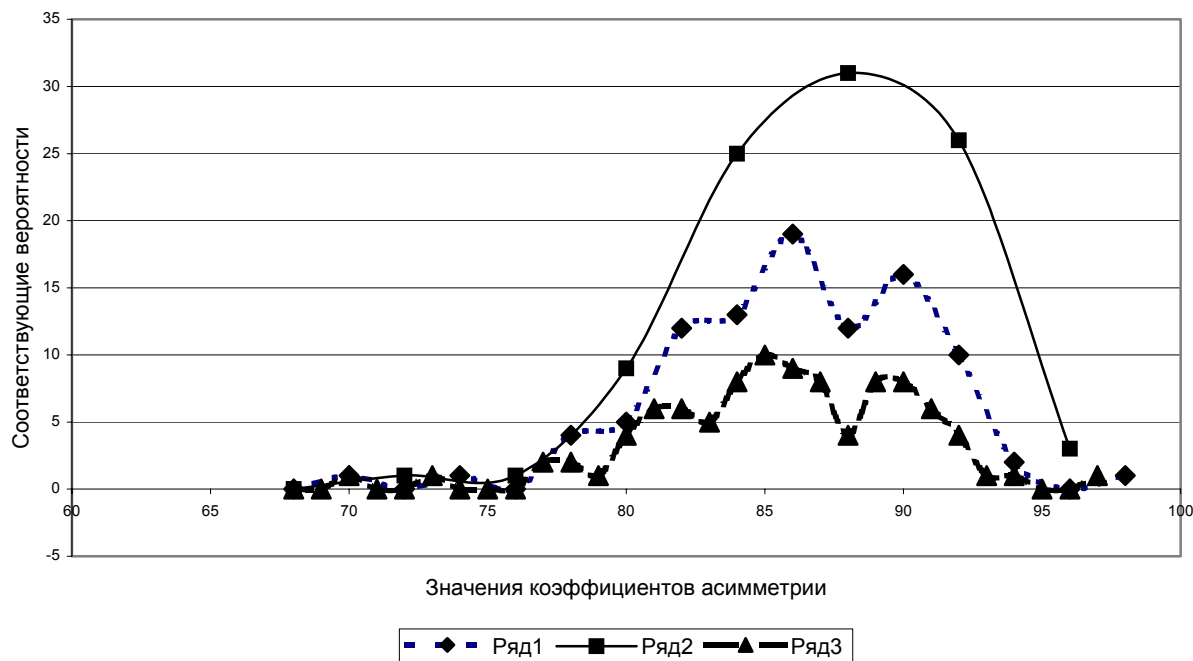
Отклонения от значения симметрии вызываются многими факторами, более или менее независимыми друг от друга (естественными и техногенными). Однако, наибольшее отклонение фиксируют максимальные техногенные влияния (естественные факторы не меняются в течение длительного времени, в то время как техногенные влияния усиливаются на протяжении разработки месторождения).

Учитывая вышеприведенные данные, можно сделать вывод о состоянии геологической среды в зоне воздействия Михайловского ГОКа как зоны экологического кризиса (Ка 85-90%).

Следует отметить частичное отклонение кривой распределения от нормального распределения (значение абсциссы 68-78). Это интерпретируется как тяготение дискретных случайных величин к значениям зоны экологического бедствия (Ка<85%).

Заключение

Биоиндикационные методы в целом применяются при изучении эколого-геологических систем как определенного объема литосферы и геологиче-



ского компонента природной среды с находящейся в ней и на ней биотой [3]. Применение биоиндикационных методов обосновано тем, что они способны дать общую информацию об экологическом состоянии системы.

Эколого-геологические объекты горнодобывающего класса являются областью наиболее эффективного применения этих методов. Поскольку горнодобывающие объекты максимально преобразуют ресурсную, геохимическую, геодинамическую функции литосферы, важно изучение взаимосвязи компонентов литосферы и биоты между собой, выявление принципиальных особенностей технологий и разработок без нарушения целостности геологической среды.

Результаты эколого-геологического мониторинга Михайловского промрайона показали:

- значительные изменения наблюдаются в морфологическом строении листьев. Во-первых, прожилки листьев (центральные, боковые) часто окрашены в красно-коричневый цвет. Хроматофором являются соединения железа. По-видимому, высокие концентрации железа в почвах, техногенных грунтах, грунтах зоны аэрации являются причиной его преобладания в биогеохимических циклах веществ. Во-вторых, контурная линия листовых пластин сильно расчленена, причем наблюдается прямая зависимость между формой и коэффициентом асимметрии: чем более асимметричен лист, тем сильнее расчленена контурная линия, т.е. тем более проявлены деградационные тенденции. В-третьих,

листовые пластины с внутренней стороны покрыты ворсинками, которые заметны на ощупь и визуально. Функция ворсинок: они расположены на нижней стороне листа, там же, где и устьичные клетки, через которые происходит дыхание и газообмен листьев, ворсинки же улавливают пыль, препятствующую процессу газообмена. Поэтому повышенное количество ворсинок свидетельствует о повышенной запыленности территории.

- значение моды коэффициента асимметрии, т.е. максимум вероятности случайных величин, составляет 88,2. Это значение соответствует зоне экологического кризиса.

- в качестве тенденции можно отметить тяготение кривой распределения в сторону уменьшения значения коэффициента асимметрии, т.е. к значениям зоны экологического бедствия ($K_a < 85\%$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов и др. - М., 2000. - 68 с.
2. Косинова И.И. Теоретические основы крупномасштабных эколого-геологических исследований. - Воронеж, 1998. - 255с.
3. Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. - М., 2000. - 432с.
4. Косинова И.И., Крутских Н.В. Эколого-геологическое районирование территории г. Воронежа // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. - 2001. - №12. - С. 205-212.
5. Математическая статистика / В.М. Иванова, В.Н. Калинина и др. - М., 1981. - 371с.