

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ МОНИТОРИНГОМ ЭМИССИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

Мохмдхуссин Алаа Назин Мохмдхуссин
Аспирант, МИРЭА — Российский
технологический университет, Москва
ciop@misis.ru

DEVELOPMENT OF PRINCIPLES FOR THE FUNCTIONING OF A PROBLEM-ORIENTED SYSTEM FOR MANAGING ENVIRONMENTAL MONITORING OF POLLUTANT EMISSIONS DURING THE GENERATION OF INDUSTRIAL WASTE

Mohmedhussen Alaa Nazeeh Mohmedhussen

Summary. The paper considers approaches to the formation of principles for the functioning of a problem-oriented system for managing environmental monitoring of pollutant emissions during the formation of industrial waste. The aim of the work is to improve the environmental management of an industrial enterprise based on optimizing the level of impact of industrial waste on environmental objects. The developed approaches are based on the possibility of real-time transmission of large amounts of digital data on the presence, concentration and toxicity of a wide range of pollutants migrating from the industrial waste landfill. Statistical processing of the received environmental monitoring information made it possible to determine the volumes of the maximum possible disposal of a certain type of industrial waste and plan a set of measures for the effective organization of the processes of storage, conservation, evacuation and possible options for processing certain types of waste. The task of choosing the best options for efficient recovery and disposal of industrial waste to minimize the harmful effects of pollutants on the main components of the environment was solved using a set of evaluation criteria for decision-making under conditions of nature's uncertainty. To form the selection functions, indicators of greenhouse gas emissions and the calculation of the carbon footprint over the entire life cycle of certain types of industrial waste, from direct production, use in the technological cycle, and to final disposal, were used. The environmental studies carried out formed the basis for the development of proposals for improving the activities of an industrial enterprise in the field of environmental protection and nature management, as well as strengthening the position of sustainable development during the operation and liquidation of the production process.

Keywords: industrial waste; emission of pollutants; monitoring system; carbon footprint; rational reclamation waste recovery; decision criteria.

Аннотация. В работе рассмотрены подходы к формированию принципов функционирования проблемно-ориентированной системы управления экологическим мониторингом эмиссий загрязняющих веществ при образовании производственных отходов. Целью работы является совершенствование управления природопользованием промышленного предприятия на основе оптимизации уровня воздействия производственных отходов на объекты окружающей природной среды. Разработанные подходы основаны на возможностях передачи в режиме реального времени больших объемов цифровых данных о наличии, концентрации и токсичности широкого спектра загрязняющих веществ, мигрирующих из полигона производственных отходов. Статистическая обработка полученной информации экологического мониторинга позволила определить объемы максимально возможного размещения определенного вида производственных отходов и спланировать комплекс мероприятий по эффективной организации процессов складирования, консервации, эвакуации и возможных вариантов переработки определенных видов отходов. Задача выбора оптимальных вариантов эффективной рекуперации и утилизации производственных отходов для минимизации вредных воздействий загрязняющих веществ на основные компоненты окружающей природной среды была решена с использованием комплекса оценочных критериев принятия решений в условиях неопределенности природы. Для формирования функций выбора были использованы показатели эмиссии парниковых газов и расчет углеродного следа на всем жизненном цикле определенных видов производственных отходов, от непосредственного производства, использования в технологическом цикле и до конечной утилизации. Проведенные экологические исследования легли в основу разработки предложений по совершенствованию деятельности промышленного предприятия в области охраны окружающей среды и природопользования, а также укрепления позиций устойчивого развития в период эксплуатации и ликвидации производственного процесса.

Ключевые слова: производственные отходы; эмиссия загрязняющих веществ; система мониторинга; углеродный след; рациональная рекультивация, рекуперация отходов; критерии принятия решений.

Введение

В результате проведенных экологических исследований были выявлены основные виды воздействия производственной деятельности на объекты окружающей среды на территории промышленного предприятия. [1,2] Весь этот спектр воздействий должен быть устранен в процессе ликвидации последствий недропользования и проведения комплекса рекультивационных работ для возврата земель в народное хозяйство. В целях минимизации воздействия на объекты окружающей среды и, тем самым, сокращения затрат на окончательную ликвидацию, в процессе всего жизненного цикла функционирования предприятия необходимо вести всестороннюю и постоянную оценку возможного негативного эффекта воздействия на окружающую природную среду в режиме непрерывного производственного экологического контроля и мониторинга факторов экологического риска [3,4]. При этом, анализ рисков предопределяет необходимость внесения значительных изменений в планы управления в области охраны окружающей среды и требует разработки научно-обоснованных мероприятий и программ, способствующих не только оперативному реагированию на случайные загрязнения объектов окружающей среды в результате производственной деятельности и предотвращающие вероятные воздействия, но и позволяющих заблаговременно выработать эффективный комплекс процедур долгосрочной экологической направленности [5,6].

Актуальность

Анализ деятельности производственного предприятия в области охраны окружающей среды и природопользования позволил выявить ряд недостатков в данной сфере. Многие данные по эмиссиям являются расчетными и не отражают реальную картину выбросов источников загрязняющих веществ от функционирования основных технологических циклов производственного процесса предприятия. При этом отсутствует распределение отходов по видам, а в отчетности представлены объемы в укрупненных формах, а непосредственные нормативы образования отходов производства и потребления зачастую значительно выше их реального фактического количества. К тому же, в такой постановке нет четкого понимания объемов, калькуляции затрат и необходимого перечня производственных манипуляций для распределения твердо-бытовых отходов на категории, поддающиеся повторной переработке и утилизируемых безвозвратно [7].

В этой связи для непосредственного отслеживания показателей эмиссий загрязняющих веществ от производственно-хозяйственной деятельности в окружающую природную среду предлагается осуществить ин-

теграцию в существующие информационные системы предприятия автоматизированной системы управления производственным экологическим мониторингом АСУ ПЭМ. Данная система позволяет на основе имеющихся датчиков в области стационарных источников эмиссий технологических циклов предприятия в режиме реального времени обеспечить передачу цифровых данных о наличии и концентрации широкого спектра загрязняющих веществ в ситуационные центры принятия управленческих решений [8].

В такой постановке внедрение АСУ ПЭМ предоставит новые возможности в рамках следующих направлений: повышение качества планирования, прогнозирования и мониторинга негативных воздействий деятельности предприятия на окружающую природную среду (визуализация результатов, экологический мониторинг; эффективное планирование экологических исследований); повышение качества взаимодействия с общественными организациями в сфере охраны окружающей среды и природопользования, контролирующими государственными органами и другими стейкхолдерами; оптимизация планирования капитальных и эксплуатационных затрат, связанных с вопросами закрытия предприятий и рекультивации нарушенных земель по сформированной базе данных показателей экологического мониторинга [9,10].

Непосредственное использование на предприятии АСУ ПЭМ позволит организовать централизованный сбор и специализированный статистический анализ данных экологического мониторинга, а также автоматизировать контроль над пороговыми значениями загрязняющих веществ (своевременное выявление источников выбросов превышающих ПДК) и экологическим состоянием объектов окружающей среды, сопряженных с основными технологическими циклами производственного процесса и прилегающих к нему территорий.

Использование АСУ ПЭМ позволит получить цифровые данные о объемах загрязняющих веществ, выделяемых из одного стационарного источника, энергетической мощности данного источника загрязнения, определить виды загрязняющих веществ, подлежащих автоматическому контролю. Автоматизированный мониторинг проводится путем установления средств диагностики, осуществляющих непрерывные измерения за эмиссиями на источниках загрязнения. При этом производится подбор средств измерений с учетом специфики и условий производственного процесса, типов технологического оборудования, конструктивных особенностей, компоновки, технологических параметров, требований технической и информационной безопасности, удобства и качества обслуживания. Данные со средств измерений, осуществляющих непрерывный мониторинг эмиссий загрязняющих веществ, передаются

в режиме реального времени (онлайн) в цифровом виде для дальнейшего анализа и принятия решений в информационную систему предприятия. Функционал системы позволит настроить периодичность контроля, необходимые пределы допустимых погрешностей измеряемых параметров концентраций загрязняющих веществ, текущие и накопленные выбросы загрязняющих веществ, а также решить ряд других технических и программных вопросов, обязательных при вводе в эксплуатацию контрольно-измерительной аппаратуры [11].

Решение задач минимизации воздействия производственной деятельности на окружающую природную среду и совершенствования управления природопользованием было рассмотрено на примере функционирования модуля АСУ ПЭМ «Мониторинг эмиссии загрязняющих веществ при образовании отходов производства и потребления». При осуществлении производственного мониторинга эмиссий загрязняющих веществ от отходов производства и твердо-бытовых отходов производится четкое распределение отходов на категории, поддающиеся повторной переработке и утилизируемые безвозвратно, фиксация фактических объемов вновь образованных отходов и наличие переходящих остатков. Кроме того, в модуле осуществляется анализ и контроль фактического образования отходов производства и потребления по различным видам и категориям, и в случае значительного превышения или снижения нормативов образования отходов производится корректировка в соответствии с экологическими нормативами [12].

Объем допустимого (максимально возможного) размещения определенного k -го вида отходов ($V_{po}(k)$) на территории предприятия рассчитывается с учетом данных мониторинга о состоянии отдельных компонентов окружающей природной среды (водные ресурсы, поверхностный почвенный слой, атмосферный воздух) и уровня соответствующих загрязняющих веществ, мигрирующих из мест заскладированных отходов.

$$V_{po}(k) = \frac{V_{oo}(k)K_{pp}}{\sum_{j=1}^m \sqrt{1 + \sum_{i=1}^n \omega_{ij} \left(\frac{M_{ij}}{ПДК_{ij}} - 1 \right)}}$$

где $V_{oo}(k)$ — объем образования k -го вида отходов производства и потребления;

$j = \overline{1, m}$ — индекс среды загрязнения отходами (воздух, вода, земля);

$i = \overline{1, n}$ — индекс загрязняющих веществ в определенной среде j ;

ω_{ij} — коэффициент изоэффективности для определенного класса опасности i -го загрязняющего вещества в j -й среде загрязнения;

K_{pp} — коэффициент рациональности рекультивации геотехнологического полигона, численно равный отношению плановой и фактической площадей рекультивационных земель на текущую дату;

$ПДК_{ij}$ — значение предельно допустимой концентрации i -го загрязняющего вещества в j -й среде загрязнения;

M_{ij} — значение концентраций i -го загрязняющего вещества в j -й среде загрязнения, определенное в результате мониторинга эмиссий.

Таким образом, исходя из традиционных подходов к экологическим расчетам нетрудно заметить, что $V_{po}(k)$ есть некоторая функция от M_{ij} , определяемых по данным экологического мониторинга эмиссий загрязняющих веществ при образовании отходов производства и потребления $V_{po}(k) = f(V_{oo}(k), M_{ij})$, а эффективная организация на предприятии процессов складирования, консервации, эвакуации и переработки определенных видов отходов производства и потребления минимизирует воздействия производственно-хозяйственной деятельности на окружающую природную среду и максимально предотвращает ее загрязнение. В такой постановке у предприятия появляется возможность планирования определенных видов работ, а в некоторых случаях и их сознательное исключение, ведущих к загрязнению продуктами эмиссии из складированных отходов почвенного слоя, атмосферного воздуха, поверхностных и подземных водных источников [13]. В конечном итоге, планирование экологических мероприятий и программ по снижению количества производственных отходов, а также их рациональной и эффективной рекуперации и утилизации создают потенциальные возможности для минимизации вредных воздействий загрязняющих веществ на основные компоненты окружающей природной среды в геотехнологическом ландшафте функционирования предприятия. На рассмотренном примере мониторинга эмиссии загрязняющих веществ (таблица 1) показатели уровня загрязнения значительно меньше единицы, что свидетельствует о допустимых уровнях объемов образования отходов на полигоне и их непосредственного воздействия в виде загрязняющих веществ на окружающую природную среду (атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвенный слой).

Для планирования дальнейших действий в сфере управления отходами в рамках разработанной системы предлагается использование расчетов углеродного следа для каждого вида отходов и соответствующей эмиссии парниковых газов. Такой подход предопределяет необходимость в пошаговой реализации следующего алгоритма: 1. определение типа и массы отходов предприятия; 2. расчет углеродного следа с учетом всех про-

Таблица 1.

Расчет показателей уровня загрязнения по данным мониторинга эмиссии загрязняющих веществ при образовании отходов производства и потребления в АСУ ПЭМ (демонстрационный пример)

Загрязняющие вещества (ЗВ) $i = \overline{1, n}$	Среда загрязнения ($j = \overline{1, 3}$)							
	Атмосферный воздух		Водный бассейн			Почвенный слой		
	ПДК, мг/м ³	Концентрация $M_{j,r}$ мг/м ³	(ЗВ)	ПДК, мг/м ³	$M_{j,r}$ мг/м ³	(ЗВ)	ПДК, мг/м ³	$M_{j,r}$ мг/м ³
Пыль неорганическая	0,5	0,0965	Cl ⁻	350	1370	Mn	0,0	30,928
Сероводород	0,008	0,0012	NO ²⁻	3	0,046	Cd	0,0	0,003
Пары серной кислоты	0,3	0,0753	NO ³⁻	45	2,544	Pb	32	0,003
Аммиак	0,2	0,0457	NH ⁴⁺	2	0,305	Zn	23	0,001
Диоксид азота	0,2	0,0621	SO ₄ ²⁻	500	25,431	Cu	3	0,2349
Показатель уровня загрязнения среды		-0,834		0,235			0,261	

цессов в которых данный вид отхода был задействован в производственном процессе — жизненный цикл отходов (производство, транспортировка, непосредственное использование, утилизация). 3. сравнительный анализ различных вариантов переработки отходов с позиции затрат и наличия углеродного следа. 4. Обоснование и выбор наиболее эффективных вариантов утилизации и переработки отходов с минимальным углеродным следом и оптимальным уровнем производственных затрат.

Расчет эмиссии парниковых газов для отходов предприятия произведен по методу WARM. Модель Waste Reduction Model (WARM) является инструментом, предназначенным для оценки и снижения выбросов парниковых газов и других воздействий на окружающую среду, связанных с управлением отходами. При этом WARM обеспечивает регулярную оценку потенциального экологического эффекта от различных мероприятий и программ, связанных с сокращением уровня производственных отходов предприятия. Данный инструмент основан на учете показателей всего жизненного цикла отходов, и позволяет проводить сравнительные анализы различных методов обработки отходов, включая их сжигание, переработку и складирование на полигонах. Он также учитывает влияние на окружающую среду каждого этапа управления отходами, включая сбор, транспортировку и обработку. WARM использует информацию о составе отходов, количестве обрабатываемых отходов и энергетических параметрах различных методов управления отходами, чтобы определить их воздействие на окружающую среду. Он может быть использован для оценки выбросов парниковых газов, потребления энергии и других экологических аспектов для различных категорий отходов, таких как пищевые отходы, бумага, пластик и металлы. Целью WARM является предоставление информации, которая может помочь предприятию принимать обоснованные решения по снижению выбросов парниковых газов и энергетической эффективности при

управлении отходами. Он может быть использован для разработки стратегий сокращения отходов, принятия решений о выборе методов обработки отходов и оценки экологической эффективности этих методов. Важно отметить, что для точного расчета углеродного следа для конкретных отходов необходимо иметь доступ к специфическим данным о составе отходов и параметрах методов обработки, а также учитывать локальные условия и особенности системы управления отходами. В целом, WARM представляет собой ценный инструмент для оценки и снижения углеродного следа отходов. Он помогает организациям и учреждениям принимать информированные решения в области устойчивого управления отходами, способствуя сокращению выбросов парниковых газов и снижению негативного воздействия на окружающую среду. В методе WARM вычисляется относительное значение углеродного следа между базовым и альтернативным сценарием, можно исследовать и сравнить несколько вариантов [14,15].

Полученные результаты дают возможность оценить вклад отходов в общую эмиссия парниковых газов предприятия (таблица 2). По результатам расчета можем сказать, что эмиссия парниковых газов составляет около 138,94 т в случае захоронения, 86,53 т в случае сжигания и 37,58 т в случае переработки.

Для определения приоритетности мероприятий (рекуперация, захоронение, сжигание и тп.) по дальнейшему обращению с различными видами отходов в работе предлагается использовать классические критерии принятия решений в условиях неопределенности природы (Вальда (MM), Сэвиджа (S), Гурвица (HW)) (таблица 3).

В ходе проведенных исследований было установлено, что основной градиент (разработка мероприятий и приоритетность финансирования) в области обращения с отходами с позиции эмиссии парниковых газов

Таблица 2.

Исходные данные по эмиссии парниковых газов для отходов предприятия

Наименование отходов	Среднее значение объема, т	Доля от общего количества, %	Эмиссия парниковых газов, т CO ₂ экв.				
			Производство	Предотвращение образования	Переработка	Захоронение	Сжигание
ТБО	182,72	73,22	н/д	н/д	н/д	56,5	1,67
Строительный мусор	15,811	6,34	3,41	-3,41	0,41	-0,97	н/д
Закисленный грунт	13,503	5,41	2,91	-2,91	0,35	-0,82	н/д
Мешкотара	10,208	4,09	19,12	-19,12	-9,45	0,21	12,85
Металлоконструкции	8,996	3,6	27,24	-27,24	-16,48	0,18	-14,31
Изношенные шины	5,71	2,29	24,55	-24,55	-2,15	0,12	2,85
Осадок хозяйственных сточных вод	4,407	1,77	н/д	н/д	н/д	0,79	-0,66
Стружка, обломки полиэтиленовых труб	2,922	1,17	5,47	-5,47	-2,7	0,06	3,68
Смешанные отходы	5,288	2,12	н/д	н/д	-15,09	0,18	-2,25
ИТОГО:			82,69	-82,69	-45,11	56,52	3,84
С учетом эмиссии ПГ при производстве				0,0	37,58	138,94	86,53

Таблица 3.

Определение приоритетности мероприятий по обращению с отходами предприятия

Наименование отходов	Эмиссия парниковых газов, т CO ₂ экв.			Критерии		
	Переработка	Захоронение	Сжигание	MM	S	HW
ТБО	н/д	56,5	1,67	1,7	11,2	29,1
Строительный мусор	0,41	-0,97	н/д	-1,0	57,5	-0,3
Закисленный грунт	0,35	-0,82	н/д	-0,8	57,3	-0,2
Мешкотара	-9,45	0,21	12,85	-9,5	56,3	1,7
Металлоконструкции	-16,48	0,18	-14,31	-16,5	56,3	-8,2
Изношенные шины	-2,15	0,12	2,85	-2,2	56,4	0,4
Осадок хозяйственных сточных вод	н/д	0,79	-0,66	-0,7	55,7	0,1
Стружка, обломки полиэтиленовых труб	-2,7	0,06	3,68	-2,7	56,4	0,5
Смешанные отходы	-15,09	0,18	-2,25	-15,1	56,3	-7,5
Критерии	MM	-16,5	-1,0	-14,3		
	S	16,9	57,5	27,2		
	HW	-8,0	27,8	-0,7		

должен быть направлен на ТБО в сфере их первичной переработки и возможностей захоронения.

Выводы и заключение

Таким образом, проведенные экологические исследования позволили подготовить предложения для совершенствования деятельности в области охраны окружающей среды, укрепления позиций устойчивого развития и надлежащего ведения и завершения работ на геотехнологическом полигоне. Разработанные мероприятия направлены, прежде всего, на снижение уровня негативного влияния образующихся производствен-

ных отходов предприятия, на состояние окружающей природной среды.

В качестве первоочередных методов минимизации отходов производства и потребления возможно рассмотреть альтернативные варианты реализации производственных процессов, техники и технологий с меньшим уровнем объема и токсичности выбросов. В этой связи использование АСУ ПЭМ «Мониторинг эмиссии загрязняющих веществ при образовании отходов производства и потребления» позволит осуществить четкую классификацию отходов на различные категории, поддающиеся рекуперации и окончательно утилизиру-

емые, а также определить фактические объемы вновь образованных отходов и наличие переходящих остатков. При этом, наличие функции мониторинга широкого спектра загрязняющих веществ, определения концентраций, уровня токсичности и расчет предельных показателей загрязнения позволяют решать широкий спектр управленческих задач в сфере охраны окружающей среды и природопользования.

Обоснование и выбор эффективных мероприятий дальнейшей переработки отходов было осуществлено на основе решения задачи оптимизации углеродного следа их жизненного цикла (производство-использование-утилизация) с учетом необходимого уровня капитальных и операционных производственных затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abruzzi R.C., Bonetti B., Marçal J.R.P., Berenice A.D., Bitencourt A.K. Artifacts in the analysis and assessment of low-cost containers for sampling and storing greenhouse gases // *Quimica Nova*. 2019, vol. 42, no. 1, pp. 84–94. DOI: 10.21577/0100-4042.20170299.
2. Boente C., Millan-Martinez M., Sánchez de la Campa A.M., Sanchez-Rodas D., de la Rosa J.D. Physicochemical assessment of atmospheric particulate matter emissions during openpit mining operations in a massive sulphide ore exploitation // *Atmospheric Pollution Research*. 2022, vol. 13, no. 4, article 101391. DOI: 10.1016/j.apr.2022.101391.
3. Ganapathy G.P., Zaalishvili V.B., Chandrasekaran S.S., Melkov D.A. Integrated monitoring of slope processes in India and Russia // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 572–581. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-572-581.
4. Parajuli R.P., Shin H.H., Maquiling A., Smith-Doiron M. Multi-pollutant urban study on acute respiratory hospitalization and mortality attributable to ambient air pollution in Canada for 2001—2012 // *Atmospheric Pollution Research*. 2021, vol. 12, no. 12. DOI: 10.1016/j.apr.2021.101234.
5. Salo H., Makinen J. Comparison of traditional moss bags and synthetic fabric bags in magnetic monitoring of urban air pollution // *Ecological Indicators*. 2019, vol. 104, pp. 559—566. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.05.033.
6. Strizhenok A.V., Korelskiy D.S. Estimation and reduction of methane emissions at the scheduled and repair outages of gas-compressor units // *Journal of Ecological Engineering*. 2019, vol. 20, no. 1, pp. 46–51. DOI: 10.12911/22998993/93943.
7. Илиаш Н., Дунка Э., Оффенберг Ю., Тешеляну Д., Предойу И. Элементы геоэкологического аудита и учета объектов окружающей среды // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 3-1. — С. 359–371. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_31_0_359.
8. Колобанов К.А., Филатова М.Ю., Бубнова М.Б., Ромашкина Е.А. Совершенствование методов оценки загрязнения экосферы от горнопромышленных отходов с использованием математического аппарата // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 4. — С. 85–99. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_85.
9. Корнилков С.В., Антонинова Н.Ю., Шубина Л.А., Собенин А.В. К вопросу об экологической реабилитации природной экосистемы, нарушенной при отработке Кольванского месторождения // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 3-1. — С. 465–474. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-465-474.
10. Крупская Л.Т., Зверева В.П., Склярова Г.Ф., Орлов А.М. Техногенные поверхностные образования как источник загрязнения экосферы и обоснование возможности их освоения в Дальневосточном федеральном округе // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2021. — № 2. — С. 5–21. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-5-21.
11. Куликова А.А., Стельмахов А. А., Бачева Т.А., Цымбал М.Н. Очистка вод, поступающих из затопленных шахт и рудников // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 6. — С. 38–47. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-38-47.
12. Куликова Е.Ю., Сергеева Ю.А. Концептуальная модель минимизации риска загрязнения водных ресурсов Кемеровской области // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 6-1. — С. 107–118. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-107118.
13. Петров Ю. С., Соколов А. А., Раус Е. В. Математическая модель оценки техногенного ущерба от функционирования горных предприятий // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2019. — Т. 11. — № 4 (42). — С. 554–559. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-4-554-559.
14. Семячков А. И., Почечун В. А. Методологические основы оценки воздействия горнопромышленных комплексов на окружающую среду // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2021. — Т. 13. — № 2. — С. 215–223. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2215-223.
15. Соколов А. А. Основы информационного обеспечения мониторинга техногенных циклов горно-металлургических предприятий. — Нальчик: КБНЦ РАН, 2020. — 170 с.

© Мохмдхуссин Алаа Назин Мохмдхуссин (ciop@misis.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»