

УДК 338.24

*А. А. Копанская*

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Санкт-Петербург, email: k9311059@yandex.ru

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Ключевые слова:** ключевые показатели, экологический менеджмент, оценка эколого-экономической деятельности, управление промышленным предприятием, горнодобывающая отрасль

В статье рассмотрены методы оценки эколого-экономической деятельности горнодобывающих комбинатов, направленные на формирование системы ключевых показателей эффективности. Подобная система позволит проводить комплексный анализ функционирования предприятия, в том числе с учетом его антропогенного воздействия на окружающую среду. При этом на основе ключевых индикаторных показателей разработан механизм управления эколого-экономическими элементами в составе логистической инфраструктуры, выделяющий наиболее проблемные зоны предприятия и основанный на процентном распределении выбросов. Данный механизм управления позволяет выработать оптимальный план природоохранных мероприятий и сформировать критерии оценки экологической деятельности горнодобывающих предприятий

*А. А. Kopanskaya*

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg,  
email: k9311059@yandex.ru

## **ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ACTIVITIES OF MINING ENTERPRISES**

**Keywords:** key indicators, environmental management, assessment of ecological and economic activity, management of an industrial enterprise, mining industry

The article discusses methods for assessing the environmental and economic activities of mining enterprises aimed at forming a system of key performance indicators. Such a system will allow for a comprehensive analysis of the functioning of the enterprise, including taking into account its anthropogenic impact on the environment. At the same time, on the basis of key indicators, a mechanism for managing ecological and economic elements as part of the logistics infrastructure has been developed, which allows identifying the most problematic areas of the enterprise based on the percentage distribution of emissions. This management mechanism makes it possible to develop an optimal plan of environmental protection measures and to form criteria for assessing the environmental performance of mining enterprises

Для сбалансированного функционирования предприятия, основывающего свою деятельность на концепции устойчивого развития, необходимо выработать методы оценки эколого-экономической деятельности, к которым можно отнести и систему ключевых показателей эффективности (КПИ). Индикаторные показатели эффективности являются одним из эффективных и современных средств анализа, позволяющих отображать взаимосвязь между сформированными целями и задачами и конечным результатом.

Для горнодобывающей отрасли особенно актуален такой подход для оценки воздействия элементов инфраструктуры предприятий на окружающую

среду. В первую очередь, это связано с ужесточением природоохранного законодательства для крупных промышленных комплексов, что требует новых методов управления, учитывающих не только экономические аспекты, но и экологические и социальные. Кроме того, комплексный подход, учитывающий экологическое воздействие позволит предприятиям выработать индивидуальную программу внедрения «зеленых» технологий, что снизит негативное воздействие на окружающую среду, уменьшит финансовые издержки и улучшит экологический имидж предприятия, что в конечном итоге позволит повысить конкурентоспособность компании [1].

## Результаты исследования и их обсуждение

Для горнодобывающего предприятия основными источниками выбросов являются элементы транспортной и складской системы. Это связано с тем, что наиболее значимыми производственными процессами являются добыча и транспортировка горной массы. Добыча полезных ископаемых ведется с применением взрывных методов, с последующей экскаваторной разработкой, при этом в ходе деятельности в атмосферу выбрасываются значительные объемы неорганической пыли. Транспортировка горной массы производится технологическим транспортом, чаще всего применяют автотранспортный и железнодорожный способ перевозки руды, что приводит к загрязнению атмосферы выбросами от сжигания топлива в двигателях внутреннего сгорания: оксиды азота, оксид углерода, оксиды серы, сажа. Кроме того, происходит пыление на этапах погрузки и в ходе движения автотранспорта.

Необходимо отметить, что в ходе добычи полезных ископаемых, образуются большие объемы вскрышных и попутных пород, которые по своей сути являются отходами и требуют специализированного складирования, которое создает дополнительное загрязнение атмосферы [2,3].

Перемещение руды от мест добычи до обогатительной фабрики, а также транспортировка вскрышных и бедных руд до мест их складирования, создают транспортных потоки, которые вносят наибольший вклад в загрязнение окружающей среды.

Таким образом, когда логистическая инфраструктура оказывает значительное экологическое воздействие (как в случае с горнодобывающей отраслью), либо предприятие внедряет принципы «зеленой» логистики целесообразно разработать систему ключевых показателей, позволяющую выявлять проблемы в управлении логистической инфраструктурой и оценить эффективность принимаемых решений, направленных на снижение антропогенного воздействия.

К основным задачам, которые должна решить система ключевых показателей можно отнести:

- выявление проблемных элементов и зон логистической системы, оказывающих наиболее значимое негативное воздействие;
- оценка в денежной форме оказываемого негативного воздействия;
- оценка эффективности логистической системы, с точки зрения ее экологической деятельности;
- разработка плана оптимальных природоохранных мероприятий, направленных на энергосбережение, ресурсосбережение элементов логистической инфраструктуры [4,5].

В табл.1 представлена система ключевых показателей оценки эколого-экономической деятельности логистической инфраструктуры горнодобывающего предприятия.

Для оценки в денежной форме антропогенного воздействия от элементов логистической инфраструктуры применяется показатель платы за негативное воздействие на окружающую среду [6,7]. На предприятиях этот показатель рассчитывается в целом по совокупности всех загрязняющих веществ от всех источников. В данном случае проведена конкретизация источников выбросов, позволяющая выявить вредные вещества, на которые приходится наибольшая плата. Это является важным, так как плата зависит не только от массы выбросов, но и степени опасности вещества и таким образом, некоторые загрязнители даже имея небольшие валовые выбросы могут приносить существенные финансовые издержки для предприятия. В горнодобывающей отрасли к таким веществам, прежде всего, можно отнести тяжелые металлы и их соединения, бензапирен, серная и др. кислоты, которые выбрасываются в атмосферу при обслуживании транспорта. Таким образом, выявив выбросы с наибольшими значениями платы, можно разработать комплекс мер в соответствии с «зелеными» технологиями, направленными на снижение или прекращение этих выбросов, что в итоге уменьшит денежные издержки предприятия.

Таблица 1

Система ключевых показателей логистической инфраструктуры горнодобывающего предприятия

№	Показатель	Формула
1.	Предотвращенный экологический ущерб загрязнения воздуха	$Y^a = M_{np}^a * K_{\circ}^a * Y_{np}^a, \quad (1)$ <p> <math>M_{np}^a</math> – приведенная масса выброса, усл. т  <math>K_{\circ}^a</math> – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха  <math>Y_{np}^a</math> – величина экономической оценки удельного ущерба от выбросов в атмосферный воздух, руб/усл.т                 </p>
2.	Плата за негативное воздействие на атмосферу	$\Pi_{нд} = \sum_{i=1}^n (M_i * H_i * K_{от} * K_{нд}), \quad (2)$ <p> <math>i</math> – выброс загрязняющего вещества в атмосферу  <math>M_i</math> – масса выброса  <math>H_i</math> – ставка платы за негативное воздействие  <math>K_{от}</math> – дополнительный коэффициент к ставкам платы в отношении территорий и объектов, находящихся под особой охраной  <math>K_{нд}</math> – коэффициент к ставкам платы за выбросы в пределах нормативов допустимых выбросов, равный 1                 </p>
3.	Процентное распределение выбросов от элементов логистической инфраструктуры	$C_i^{лог} = (M_i^{эл} / M_i) * 100\%, \quad (3)$ <p> <math>M_i^{эл}</math> – масса i-го выброса от элемента логистической инфраструктуры, т/год  <math>M_i</math> – масса i-го выброса от предприятия, т/год                 </p>
4.	Удельная нагрузка на атмосферный воздух на ед. добытого сырья	$C_i^{тр} = M_i / m, \quad (4)$ <p> <math>M_i</math> – масса i-го выброса от предприятия, т/год  <math>m</math> – масса добытой сырой руды, млн т/год                 </p>
5.	Средний выброс загрязняющих веществ от ед. транспорта	$M_i^{тр} = (M_i^{двс} + M_i^{пыли} + M_i^{обсл}) / \Phi, \quad (5)$ <p> <math>M_i^{двс}</math> – масса i-го выброса от работы двигателя при перевозке руды, т  <math>M_i^{пыли}</math> – масса пыли, образующая от пыления дорог при транспортировке, т  <math>M_i^{обсл}</math> – масса i-го выброса от обслуживания транспорта, т  <math>\Phi</math> – количество единиц транспорта                 </p>
6.	Интенсивность выброса загрязняющих веществ от транспорта на ткм	$I = \frac{M_i}{m * L}, \quad (6)$ <p> <math>M_i</math> – масса i-го выброса, т  <math>m</math> – масса перевезенной руды, т  <math>L</math> – пройденное расстояние, км                 </p>
7.	Процентное распределение времени работы двигателя при различных режимах (холостой ход / частичная мощность / максимальная мощность)	$T_{xx} = (t^{xx} / t^{об}) * 100\%; T_{чм} = (t^{чм} / t^{об}) * 100\%; T_{мм} = (t^{мм} / t^{об}) * 100\%, \quad (7)$ <p> <math>t^{xx}</math> – время работы двигателя на холостом ходу, ч  <math>t^{чм}</math> – время работы двигателя на частичной мощности, ч  <math>t^{мм}</math> – время работы двигателя на максимальной мощности, ч  <math>t^{об}</math> – общее время работы двигателя, ч                 </p>
8.	Число грузовых перевозок в день	$N = N * n, \quad (8)$ <p> <math>N</math> – число грузовых перевозок (рейсов) в смену  <math>n</math> – количество смен                 </p>

продолжение табл. 1

окончание табл. 1		
№	Показатель	Формула
9.	Мощность транспортной системы горного предприятия	$M = \sum_{i=1}^n (\Phi * T * v), \quad (9)$ <p style="text-align: center;">i – транспортный поток  <math>\Phi</math> – количество ед. транспорта                      T – годовой фонд времени работы транспорта, час                      v – объем перевозимый руды в час одним автосамосвалом м<sup>3</sup>/час</p>
10.	Среднесуточный пробег	$L_{cc} = L_{общ} / N_a, \quad (10)$ <p style="text-align: center;"><math>L_{общ}</math> – общий пробег, км  <math>N_a</math> – количество автомобиле-дней в работе</p>
11.	Эксплуатационная скорость	$V_э = \frac{L}{t}, \quad (11)$ <p style="text-align: center;">L – пройденное расстояние, км                      t – время на линии, ч</p>
12.	Доля транспортных средств оборудованных средствами автоматизации	$D_a = \frac{\Phi_a}{\Phi}, \quad (12)$ <p style="text-align: center;"><math>\Phi_a</math> – транспорт, оснащенный сред-ми автоматизации, ед.  <math>\Phi</math> – количество единиц транспорта, ед.</p>

Для оценки в денежной форме возможного негативного воздействия от выбросов загрязняющих веществ (антропогенного воздействия), которые удалось предотвратить в результате проведения природоохранной деятельности, реализации природоохранных мероприятий используется показатель, предотвращенный экологический ущерб. Часто данный показатель применяют при экологических аудитах и проведении экологических экспертиз. В управлении логистическими объектами может быть показателем для оценки эффективности применяемых «зеленых» технологий. Кроме того, может выступать обоснованием для компенсации платы за негативное воздействие на окружающую среду [8].

Для выявления проблемных элементов логистической инфраструктуры, с точки зрения влияния их на окружающую среду может применяться показатель: процентное распределение выбросов от различных источников. Он позволяет выявить приоритетные и целесообразные направления применения «зеленых» технологий.

Для оценки эффективности существующих транспортных потоков можно применять ряд логистических показателей:

– мощность транспортной системы, которая позволяет оценить годовой объем добываемой сырой руды по каждому транспортному потоку;

– эксплуатационная скорость позволяет оценить среднюю скорость транспортировки руды;

– среднесуточный пробег с грузом оценивает интенсивность работы автосамосвалов;

– число грузовых перевозок в день оценивает насколько загружен транспортный поток;

– процентное распределение время работы двигателя при различных режимах (холостой ход/частичная мощность/максимальная мощность) позволяет оценить простои транспорта;

– доля автоматизированного транспорта позволяет оценить внедрение принципов информатизации на предприятии.

К эколого-экономическим показателям также можно отнести удельную нагрузку на атмосферный воздух на 1 млн.т добытого сырья и интенсивность выбросов загрязняющих веществ от транспорта на ткм. В управлении объектами логистической инфраструктуры данные показатели позволяют оценивать эффективность принимаемых экологических решений, а также посредством срав-

нения с другими горнодобывающими предприятиями выявлять наиболее подходящие методы управления логистическими и эколого-экономическими системами с точки зрения их минимизации антропогенного воздействия на окружающую среду.

На основе данной системы ключевых показателей эффективности можно сформировать механизм управления логистической системы для горнодобывающей отрасли. Схема данного эколого-экономического механизма управления представлена на рис. 1

На первом этапе производят расчеты процентного распределения выбросов по элементам логистической системы. Для горнодобывающих предприятий этот расчет, прежде всего, необходимо провести по основным транспортным потокам, которое включает в себя выбросы от технологического транспорта и элементов техногенного складирования. Отдельно рассчитывается процентное распределение выбросов по вспомогательным транспортным элементам и складским элементам.

Второй этап включает в себя анализ полученных данных и отбор элементов логистической инфраструктуры с максимальным процентным вкладом загрязняющих веществ. Для наиболее комплексного анализа могут применяться и другие индикаторные показатели, входящие в систему ключевых показателей. Так, например, плата за негативное воздействие, рассчитанная для каждого загрязняющего вещества по элементам логистической инфраструктуры, может стать дополнительным критерием отбора проблемных зон горнообогатительного комплекса. В таком случае выбирают логистические объекты как с учетом максимального или значительного процентного вклада выбросов, так и учитывая выбросы с максимальными платами за негативное воздействие на атмосферу.

На третьем этапе для выбранных элементов логистической инфраструктуры разрабатывается план природоохранных мероприятий, направленный предотвращение или значительное снижение выбросов с максимальным или значительным процентным распределением. Прежде всего, проверяется соответствие производственных про-

цессов наилучшим доступным технологиям в горной отрасли, соответствие транспорта техническому регламенту, возможность применения «зеленых» технологий, возможность оптимизации транспортных потоков и замены используемого оборудования на более экологически безопасное.

На четвертом этапе проводят оценку эффективности выполненных природоохранных мероприятий. Проводят анализ количественного и качественного снижения выбросов, уменьшения платы за негативное воздействие и проводят расчет предотвращенного экологического ущерба.

Апробация данного эколого-экономического механизма управления логистической системой была проведена на примере Ковдорский ГОК [9].

Был рассчитан процентный вклад выбросов от транспортных потоков, представленный на рис.2

Наибольшее влияние от транспортных потоков приходится на выбросы диоксида азота (43,6% от всех выбросов по предприятию), керосина (72,9% от всех выбросов по предприятию), и пыли неорганической 70-20% (75,4% от всех выбросов по предприятию). На рисунках 3,4,5 представлено процентное распределение выбросов данных загрязняющих веществ по транспортным потокам.

Таким образом, на транспортный поток «Карьер АШР – усреднительный склад обогатительной фабрики» приходится 9,2 % выбросов диоксида азота относительно всех выбросов диоксида азота по предприятию, 17,1% выбросов керосина относительно всех выбросов керосина по предприятию и 17,73% выбросов неорганической пыли 70-20% относительно всех выбросов неорганической пыли 70-20%.

Диоксиды азота и керосин выбрасываются при работе двигателей внутреннего сгорания бульдозеров и автосамосвалов. При транспортировке руды в атмосферу с поверхности перевозимой руды сдувается пыль и также выбрасывается в атмосферу при движении автотранспорта. Значительная часть неорганической пыли выбрасывается при пылении карьера, бурении и погрузочно-разгрузочных работ.

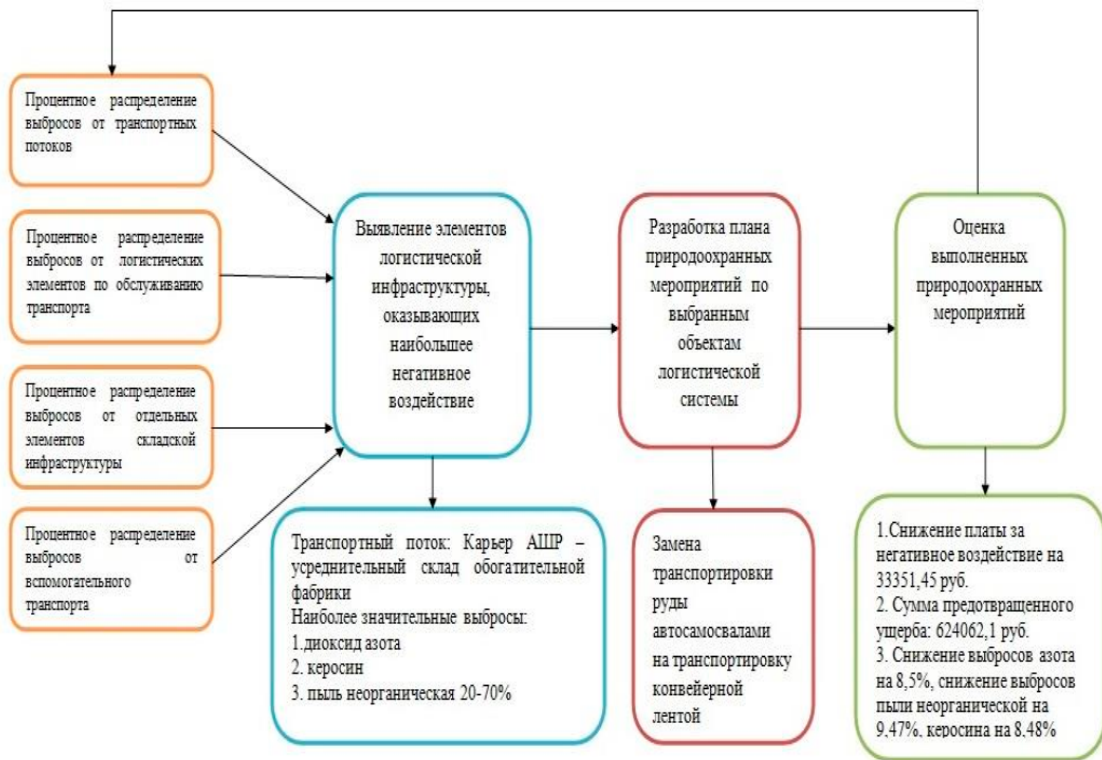


Рис. 1. Эколого-экономический механизм управления логистической системы горнодобывающего предприятия

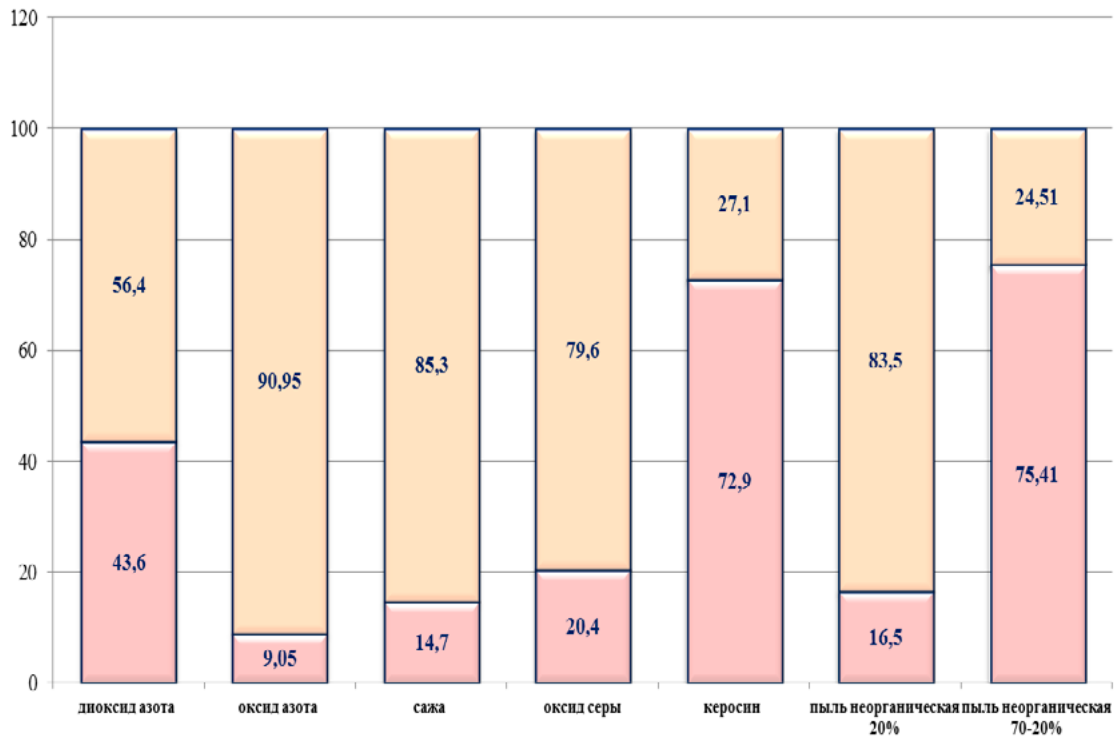


Рис. 2. Процентное распределение выбросов от транспортных потоков предприятия Ковдорский ГОК

### Распределение выбросов диоксида азота

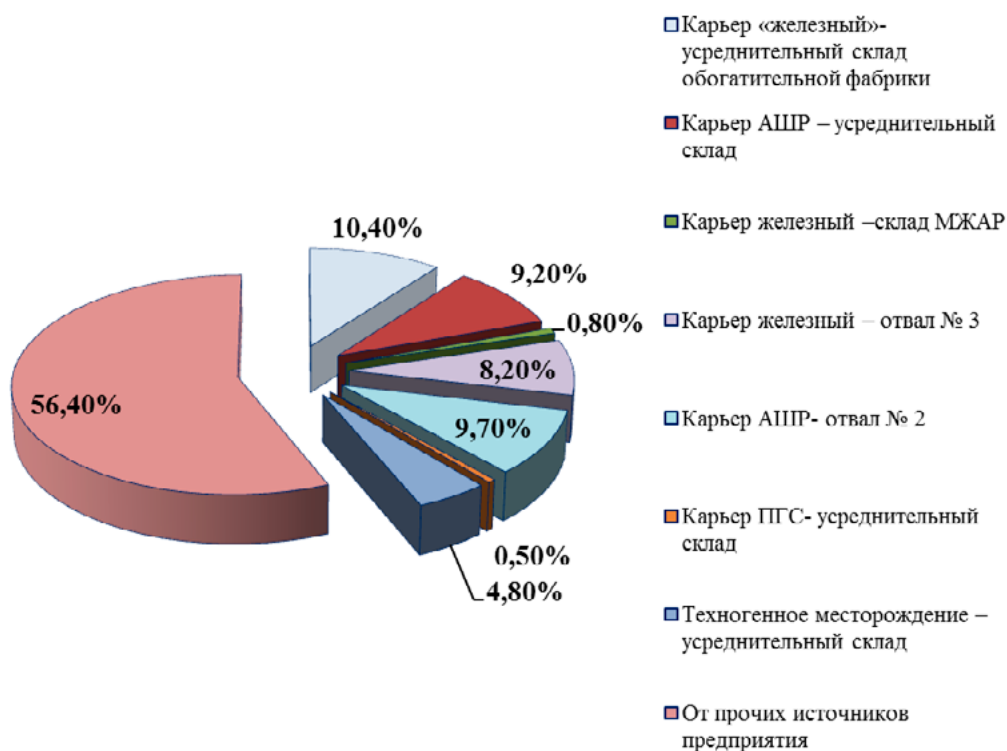


Рис. 3. Распределение выбросов диоксида азота по транспортным потокам, %

### Распределение выбросов керосина

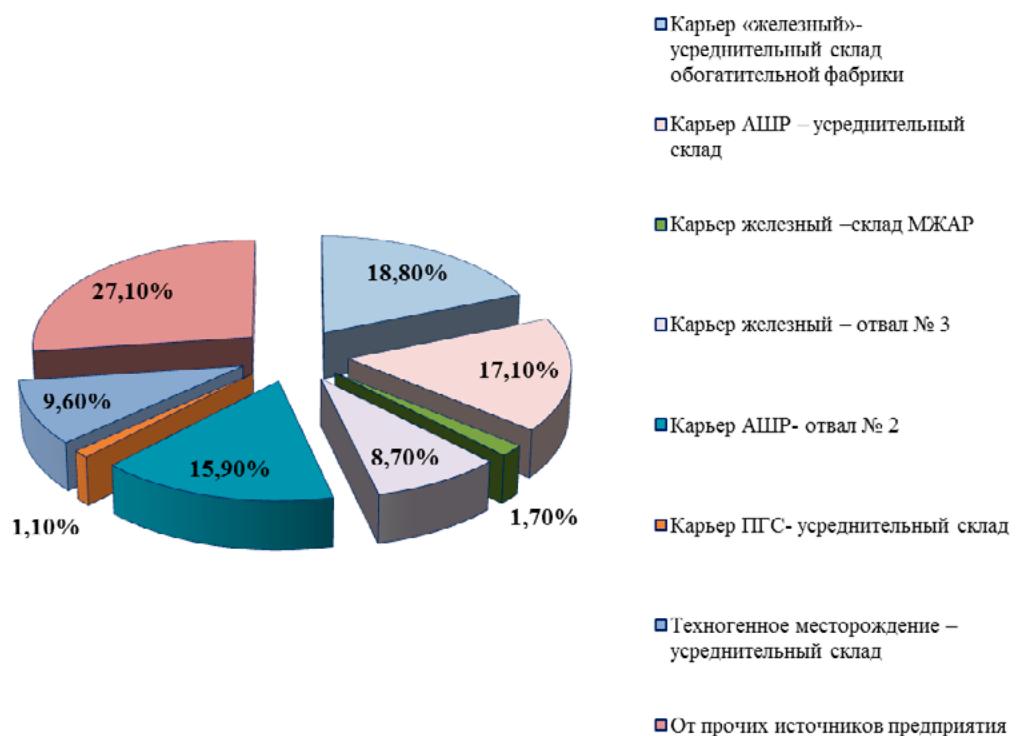


Рис. 4. Распределение выбросов керосина по транспортным потокам, %

### Распределение выбросов неорганической пыли 70-20%

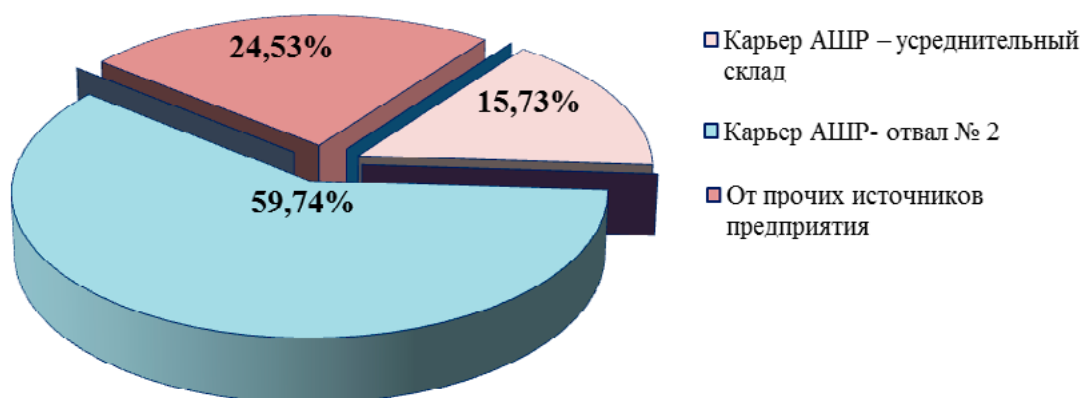


Рис. 5. Распределение выбросов неорганической пыли по транспортным потокам, %

Таблица 2

Эколого-экономическая оценка природоохранного мероприятия Ковдорского ГОК

Выбросы	Масса предотвращенного выброса, т/год	Снижение выброса по предприятию	Сокращение платы за негативное воздействие, руб.	Предотвращенный экологический ущерб, руб.
Азота диоксид	133,25	8,45%	21 778,05	206 121,09
Азота оксид	21,65	8,5%	2 384,14	33 489,84
Сажа	5,05	2,49%	333,62	1 278,28
Углерода оксид	49,19	3,27%	114,08	1 844,63
Керосин	16,02	8,48%	234,52	1 051,31
Пыль неорганическая 70-20%	147,01	9,47%	8 907,04	137 821,88

Одним из способов экологизации транспортного потока будет замена автосамосвалов на конвейерный метод доставки руды, что позволит снизить выбросы от оксидов азота, сажи, оксидов углерода, керосина и пыли неорганической. Пыление при погрузке и транспортировке конвейерной лентой было рассчитано в соответствии с «Методикой расчета вредных выбросов для комплекса оборудования открытых горных работ»: составляет 41,08 т/год.

В таблице 2 представлена эколого-экономическая оценка предложенного природоохранного мероприятия.

Проведем расчет предотвращенного экологического ущерба на цены 2021 гг.:  
 $U_a = 381607,03 * 1,637 = 624\,690,71$  руб.

Таким образом, оптимизация транспортного потока «Карьер АШР – усреднительный склад обогатительной

фабрики», за счет изменения способа транспортировки руды позволит количественно снизить выбросы оксидов азота на 8,45 %, керосина на 8,48 % и неорганической пыли на 70-20%.

Снижение финансовых издержек предприятия за счет уменьшения платы за негативное воздействие составит 33 351,45 руб.

Сумма предотвращенного ущерба составит 624 690,71 руб.

Таким образом, для грамотного и эффективного управления деятельностью горнодобывающих предприятий необходимо использовать систему ключевых показателей, позволяющих оценить эколого-экономическую деятельность производственного комплекса. Система подобных показателей позволяет выявить наиболее проблемные зоны, с точки зрения их воздействия на окружающую среду и с точки зрения финансовых из-

держек предприятия. При управлении логистической инфраструктурой с применением «зеленых» принципов подобная система ключевых показателей позволяет разработать наиболее оптимальный план природоохранных мероприятий и отследить эффективность применяемых «зеленых» технологий.

Так алгоритмизация расчетов системы ключевых показателей на примере Ковдорского ГОК показала, что для

данного предприятия проблемными зонами является транспортировка руды и вскрышных пород. При этом выбросы от других элементов логистической инфраструктуры незначительны. В связи с этим наиболее эффективными являются методы, направленные на разработку природоохранных мероприятий для технологического транспорта и оценка других возможных методов транспортировки.

*Библиографический список*

1. Полякова Т.В. Система ключевых показателей эффективности как инструмент управления // КНЖ. 2018. № 1 (22). С. 158-161.
2. Кантор Е.Л. Экономика добывающих предприятий и отраслей: монография. М.: ИНФРА-М, 2014. 229 с.
3. Мурзин М.А. Горные предприятия как источник экологических рисков // ГИАБ. 2016. № 2. С. 374-383.
4. Добровольская К.А. Оценка эффективности логистической инфраструктуры и факторы ее определяющие // Инновационная наука. 2019. № 12. С. 208-211.
5. Панов М.М. Оценка деятельности и система управления компанией на основе KPI. М.: ИНФРА-М, 2013. 255 с.
6. Постановление Правительства РФ от 11.09.2020 N 1393 «О применении в 2021 году ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду» [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_362358/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_362358/) (дата обращения: 24.11.2021).
7. Постановление Правительства РФ от 03.03.2017 N 255 (ред. от 17.08.2020) «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду» (вместе с «Правилами исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду») [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_213744/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_213744/) (дата обращения: 24.11.2021).
8. Методика определения предотвращенного экологического ущерба» [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293829/4293829639.pdf> (дата обращения: 24.11.2021).
9. Отчет по инвентаризации выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и их источников для предприятия АО «Ковдорский ГОК»/ НИИ АТМОСФЕРА-Санкт-Петербург, 2017. 77 с.