

ГОРНАЯ ЭКОЛОГИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 504.064

ИНДИКАТОРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Г. В. Калабин

*Институт проблем комплексного освоения недр им. акад. Н. В. Мельникова РАН,
E-mail: kalabin.g@gmail.com, Крюковский тупик, 41, 111020, г. Москва, Россия*

Дается методологическое обоснование оценки экологической устойчивости территорий размещения предприятий горнопромышленного комплекса на основе установления механизма взаимодействия природной и технической подсистем. Приводится перечень и значения необходимых измеряемых индикаторов экологической устойчивости территорий для дифференциации промышленных предприятий по степени экологической опасности.

Горнопромышленный комплекс, территории, экологическая устойчивость, измеряемые индикаторы, природные и технические подсистемы

DOI: 10.15372/FTPRPI20200317

Концепция устойчивого развития появилась в результате объединения трех основных точек роста: экономической, социальной и экологической, в которой на первый план выдвигаются проблемы ограниченности природных ресурсов и загрязнения природной среды. Согласование этих трех составляющих и их трансформация в конкретные мероприятия — основная и довольно сложная задача. Важным этапом в этом направлении является разработка метода оценки устойчивости отдельных хозяйственных территорий, т. е. выявление практических и измеряемых индикаторов для оперативного ситуационного анализа. Методы количественной оценки в условиях неопределенности — ключевые компоненты системы оценки устойчивости, которая проводится для принятия решений и политики в широком экологическом, экономическом и социальном контексте и выходит за рамки технической или научной оценки [1, 2].

Согласование трех основных точек роста: экономической, социальной и экологической — необходимое, но недостаточное условие реализации концепции устойчивого развития территорий. Решающее значение имеет четвертая составляющая — политическая, которая формируется лицами, принимающими решение. Поэтому при разработке рекомендаций необходимо объективно оценивать их практическую применимость в реальной междисциплинарной обстановке.

В нашей стране в подавляющем большинстве субъектов рейтинг формируется за счет одной, редко двух компонент, в основном — экологической составляющей. Слабая развитость экономической составляющей вызвана неустойчивой (сырьевой) моделью развития экономики

России и вызванной ею диспропорцией между субъектами. Социальная составляющая прева-лирует на территориях с высокой урбанизацией, но одновременно и высокой напряженностью экологической составляющей: например, Челябинская, Свердловская области.

При анализе трех точек роста на локальном или региональном уровне значимость экологи-ческой составляющей становится определяющей, поскольку в настоящее время созданы и апробированы методы количественной оценки состояния природной среды конкретных терри-торий размещения промышленных предприятий, в то время как оценки остальных двух состав-ляющих даются в целом по субъектам РФ в лучшем случае в областном измерении.

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ОСВОЕНИЯ НЕДР

В [3] предложено оценивать устойчивость территорий на основе индексов социального и экономического развития, а также индекса напряженности экологической ситуации. Индекс напряженности экологической ситуации оценивает пространственно-временное сочетание раз-личных условий и факторов, создающих определенную экологическую обстановку на терри-тории разной степени благополучия или неблагополучия проживания и состояния человека. Эко-логическая обстановка характеризует состояние конкретной среды обитания человека, обу-словленное взаимодействием природы и хозяйственной деятельности человека. Особенно масштабно эти процессы проявляются на территориях интенсивного освоения природных ре-сурсов, где нарушение функционирования естественных экосистем является следствием фор-мирования и взаимодействия природных и технических подсистем.

Применительно к оценке напряженности экологической составляющей на территориях размещения предприятий по разработке месторождений полезных ископаемых объектом гео-экологических исследований становится природно-техническая система освоения недр, а глав-ной задачей — создание нормативов для экологически приемлемого размещения в природной среде элементов техносферы. Для решения этой задачи необходимо установить механизм вза-имодействия природной и технической подсистем, определив структуру и особенности внут-реннего их развития. Укрупненная схема такой структуры для горнодобывающего предприя-тия, имеющего горно-обоганительный комплекс, показана на рис. 1.

Техническая составляющая этих систем включает в себя весь комплекс действий по из-влечению из литосферы той части ее вещества, которое необходимо для существования и развития современной технократической цивилизации. Это означает, что все экологи-ческие проблемы, связанные с развитием минерально-сырьевого комплекса, являются прямым или косвенным следствием целенаправленного разрушения отдельных участков литосферы, которые объединяются понятием техногенно измененные недра, а возможности эффективно-го решения этих проблем определяются свойствами и качеством применяемых горных тех-нологий [4].

Природная составляющая в данном случае представляет собой систему действий по оценке и преодолению биологических последствий этих нарушений в различных масштабах времени, т. е. рассматривается как полиобъектный кластер. Исходя из понятия производственного кла-стера как механизма концентрации усилий, можно утверждать, что основные элементы при-родно-технической системы освоения запасов месторождения — два полиобъектных кластера, каждый из которых “концентрирует усилия” в разных направлениях [5].

Первый — производственно-технический, имеет целью эффективную и безопасную добычу полезного ископаемого, второй — природоохранный, формируется как система действий и ограничений по преодолению экологических последствий от неизбежного ло-

кального разрушения литосферы и сохранения способности нарушаемых биологических систем к самовосстановлению после истощения запасов месторождения. Каждый из этих кластеров состоит из нескольких монокластеров низшего порядка, которые, в свою очередь, формируются из функциональных систем различного назначения. Взаимодействие этих составляющих характеризуется тем, что одна из них — управляющая, а другая — исполнительная.

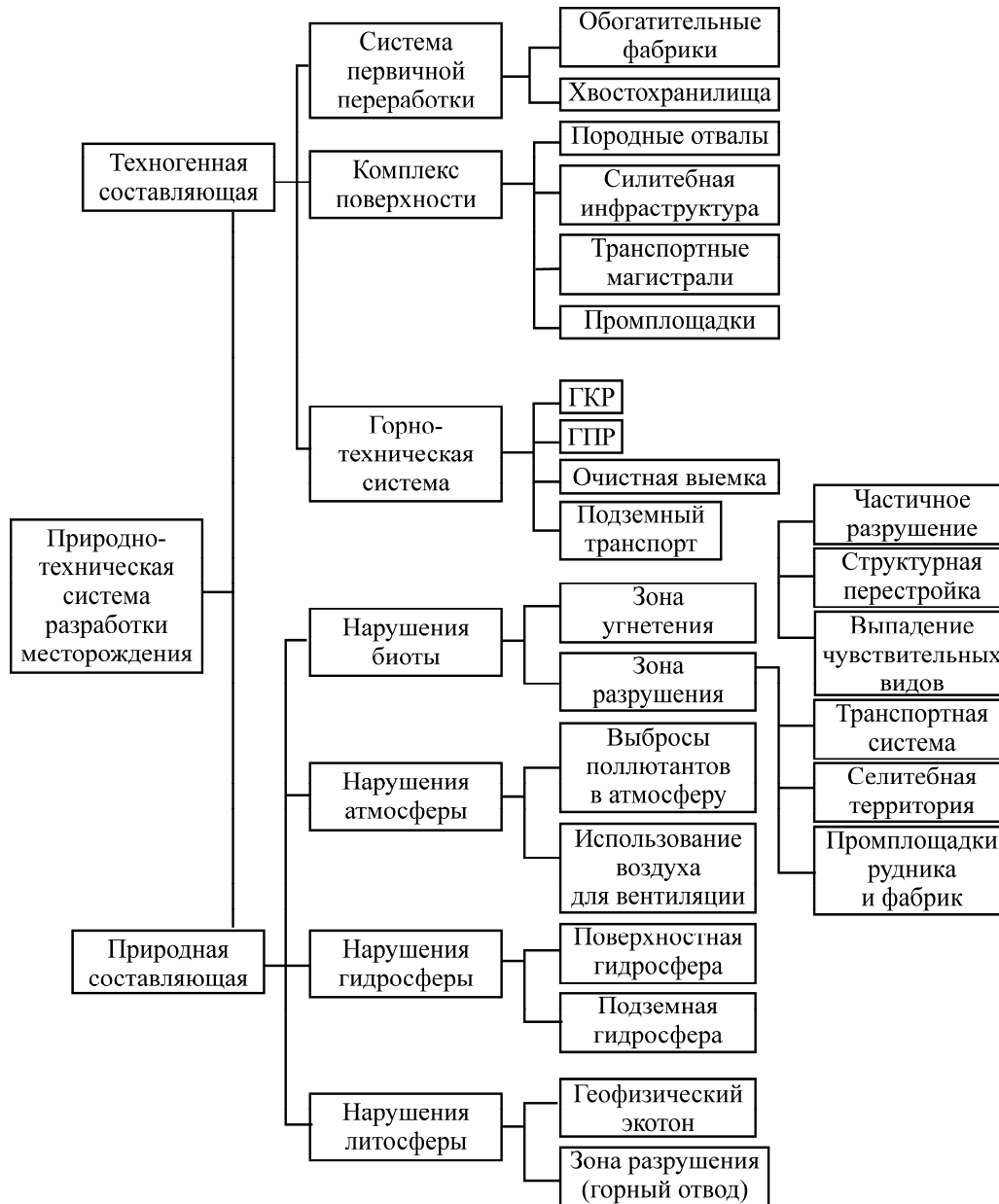


Рис. 1 . Функциональная структура природно-технической системы разработки месторождений

Экологическая устойчивость территорий определяется как видом минерального сырья, так и способом обработки месторождения и технологиями переработки исходного сырья. Первичным и значимым видом нарушений являются механические изменения ландшафтов, а также безвозвратное отчуждение земель под землеемкие объекты промышленной инфраструктуры: отвалы горных пород, хвостохранилища, карьеры, транспортные коммуникации и др.

Функциональная структура природно-технических систем освоения минеральных ресурсов недр обусловлена глубиной переработки извлекаемого из литосферы вещества и может иметь три основных модификации: для горнодобывающего предприятия конечной продукцией является минеральное сырье, извлеченное из недр на поверхность, для горнообогатительного комплекса — концентрат, полученный в результате обогатительного передела, для горно-металлургического комплекса — продукт металлургической переработки этого концентрата.

Таким образом, комбинация этих трех модификаций формирует различную по сложности производственную инфраструктуру от классической — отдельные подземные рудники, небольшие карьеры, прииски (техногенные объекты), к более сложной — горнообогатительные комбинаты или ГОК + металлургический завод (техногенный узел или район). С середины прошлого столетия из-за исчерпания запасов полезных ископаемых на многих территориях появилась новая модификация — центры техногенной агломерации, где на базе крупных градообразующих предприятий перерабатывающей промышленности (металлургия, металлообработка, химия, лесобработка и др.) и мощных источников энергии сформировалась городская инфраструктура, куда промежуточный промпродукт доставляется железнодорожным транспортом, иногда автомобильным, из одного или нескольких предприятий по освоению недр, расположенных в сотнях и тысячах километров от места добычи и первичной переработки минерального сырья.

Кроме того, в отдельную производственную инфраструктуру следует выделить сельскохозяйственные агломерации, где техногенные узлы и объекты размещаются на обширных территориях плодородных земель сельскохозяйственного назначения, ориентированных на выращивание зерновых культур.

Для дифференциации предприятий горнопромышленного комплекса (ГПК) по значимости воздействия на окружающую среду предлагается использовать индекс напряженности экологической ситуации (ИНЭС). При этом ранжирование объектов экологической защиты осуществляется исходя из меры устойчивости биологического объекта в условиях возникновения опасных ситуаций [6].

Оценка ИНЭС осуществляется:

— для Центров техногенной агломерации по шести показателям: численность населения и показатель смертности населения (областной масштаб), источники загрязнения атмосферного воздуха (энергетика, промышленность, автотранспорт), индикатор загрязнения атмосферы (ИЗА);

— для техногенных узлов и некоторых техногенных объектов, находящихся на территориях сельскохозяйственного назначения, по трем показателям: уровень загрязнения атмосферного воздуха, индикатор загрязнения атмосферы, численность населения. Учитывается также снижение плодородия почв и площадь утраченных земель сельскохозяйственного назначения;

— для техногенных объектов и некоторых техногенных узлов исходя из условий, обеспечивающих самовосстановление биоты после снятия техногенной нагрузки. В качестве комплексного биологического критерия, ограничивающего воздействие техногенных факторов на биоту, предлагается использовать показатель, включающий коэффициент сокращения видов-эпифитов $K_{\text{э}}$, уровень сохранившегося здорового растительного покрова территории (вегетационный индекс НДВИ) и степень фитотоксичности почв (физико-химический критерий КФТ) (рис. 2).

По результатам исследований отклика растительного покрова на техногенные нагрузки, выполненные на 11 территориях размещения предприятий горнопромышленного комплекса с помощью методов дистанционного зондирования земли, определены значения НДВИ во временном интервале 8–10 лет [7].

Выбор предприятий обуславливается, во-первых, многообразием климатических зон их расположения: Крайний Север и умеренный юг, Средний Урал, Западная Сибирь, Чукотка и Дальний Восток. Во-вторых, различными минеральными видами полезных ископаемых с различной степенью токсичности первичных руд и отходами производства. В-третьих, различными вариантами архитектурно-планировочного построения промышленной площадки подземного рудника и генерального плана карьеров, основу которых составляет технологический комплекс, а также применяемые геотехнологии, способ вскрытия и длительность функционирования предприятия.

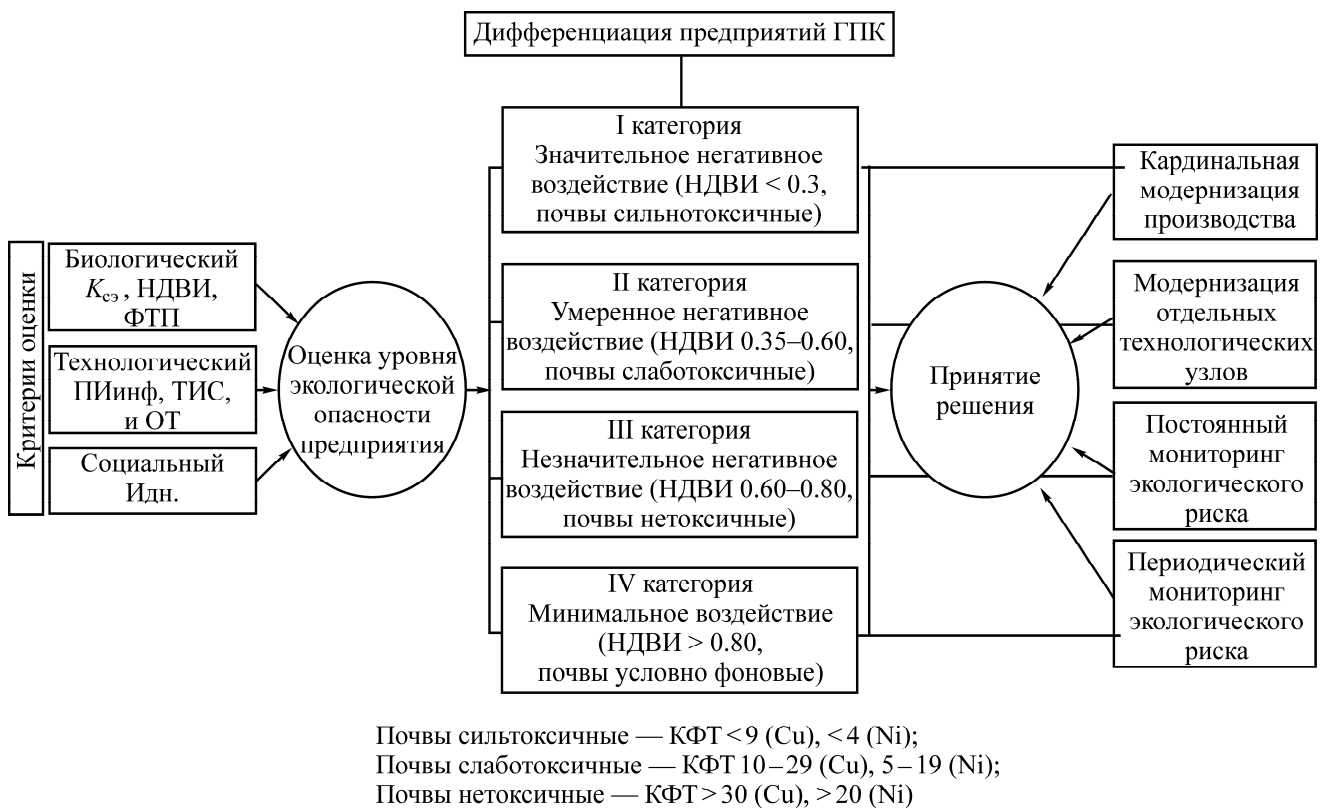


Рис. 2. Дифференциация предприятий ГПК: ФТП — фитотоксичность почв; ПИинф — производственная инфраструктура; ТИС и ОТ — токсичность исходного сырья и отходов; Идн. — индекс демографической напряженности

Кроме того, выбраны предприятия, в составе которых имеется металлургическое производство и достаточно крупный населенный пункт (ОАО “Североникель” (г. Мончегорск, Мурманская обл.), “Карабашмедь” (г. Карабаш, Челябинская обл.). Для оценки ИНЭС других объектов использовалась серия сезонных крупномасштабных карт вегетационного индекса (НДВИ) России [8] и метод аналогий, основанный на подобию промышленной инфраструктуры объектов, токсичности исходного сырья, климатических условиях, сроках эксплуатации месторождений и др. показателях.

Дифференциация предприятий горнопромышленного комплекса определяется по уровню сохранившегося растительного покрова (значение НДВИ) и токсичности почв, которые классифицируются по четырем категориям (рис. 2), в соответствии с нормативными документами по переходу промышленных производств на принципы наилучших доступных технологий (НДТ). Предприятия, оказывающие:

— значительное негативное воздействие на окружающую среду: значение $\text{НДВИ} \leq 0.35$, почвы сильнотоксичные. Применяемая технология имеет высокий экологический риск, континентальный масштаб негативного воздействия со значительными и слабокомпенсируемыми изменениями ландшафтов, что оценивается как кризисная ситуация. Для устранения негативной ситуации необходима срочная модернизация всего производства с целью кардинального снижения техногенной нагрузки (I категория);

— умеренное негативное воздействие, для которых утверждаются нормативы по технологически обоснованным объемам воздействия: значение НДВИ находится в пределах 0.35–0.6, почвы токсичные. Применяемая технология имеет повышенный экологический риск, региональный масштаб умеренного негативного воздействия, со значительными и слабокомпенсируемыми изменениями ландшафтов, что оценивается как критическая ситуация. Для устранения негативной ситуации необходима модернизация отдельных циклов производства с целью постепенного снижения техногенной нагрузки (II категория);

— незначительное негативное воздействие на окружающую среду, для которых может вводиться декларирование. Значение НДВИ в пределах 0.6–0.8, почвы нетоксичные. Применяемая технология имеет приемлемый экологический риск, локальный масштаб незначительного негативного воздействия, с изменениями в отдельных компонентах ландшафтов. При выполнении природоохранных мер напряженность экологической ситуации снижается, что оценивается как напряженная ситуация. Техногенная нагрузка соответствует приемлемому уровню воздействия (III категория) применительно к технологиям извлечения минеральных ресурсов из недр. Требуется постоянный мониторинг техногенной нагрузки на экосистемы;

— минимальное негативное воздействие на окружающую среду: значение НДВИ более 0.8, почвы условно-фоновые. Применяемую технологию можно отнести к разряду экологически приемлемых: минимальный экологический риск, локальный масштаб негативного воздействия, незначительные в пространстве и во времени изменения в ландшафтах, в том числе в средо- и ресурсовоспроизводящих свойствах, что ведет к сравнительно небольшой перестройке структуры ландшафтов и восстановлению в результате процессов саморегуляции природного комплекса или проведения несложных природоохранных мер, оценивается как конфликтная ситуация (IV категория). Требуется периодический мониторинг техногенной нагрузки на экосистемы.

По каждому из объектов для трех обозначенных групп определяется значимость каждого показателя по вертикали и затем значимости суммируется по горизонтали. Рейтинг объекта рассчитывается путем ранжирования территории в порядке возрастания многокомпонентного значения ИНЭС. Наименьшая сумма мест (значимости) дает максимальный ИНЭС, наибольшая — минимальный ИНЭС. В качестве примера в табл. 1 и 2 приведены данные для первой группы объектов — Центров техногенной агломерации.

Исходя из предложенной методологии оценки экологической ситуации территорий размещения предприятий ГПК и используя табличные данные значений ИНЭС, можно разрабатывать карты (картосхемы) экологической устойчивости этих территорий. На рис. 3 приведена карта экологической устойчивости Центров техногенной агломерации РФ.

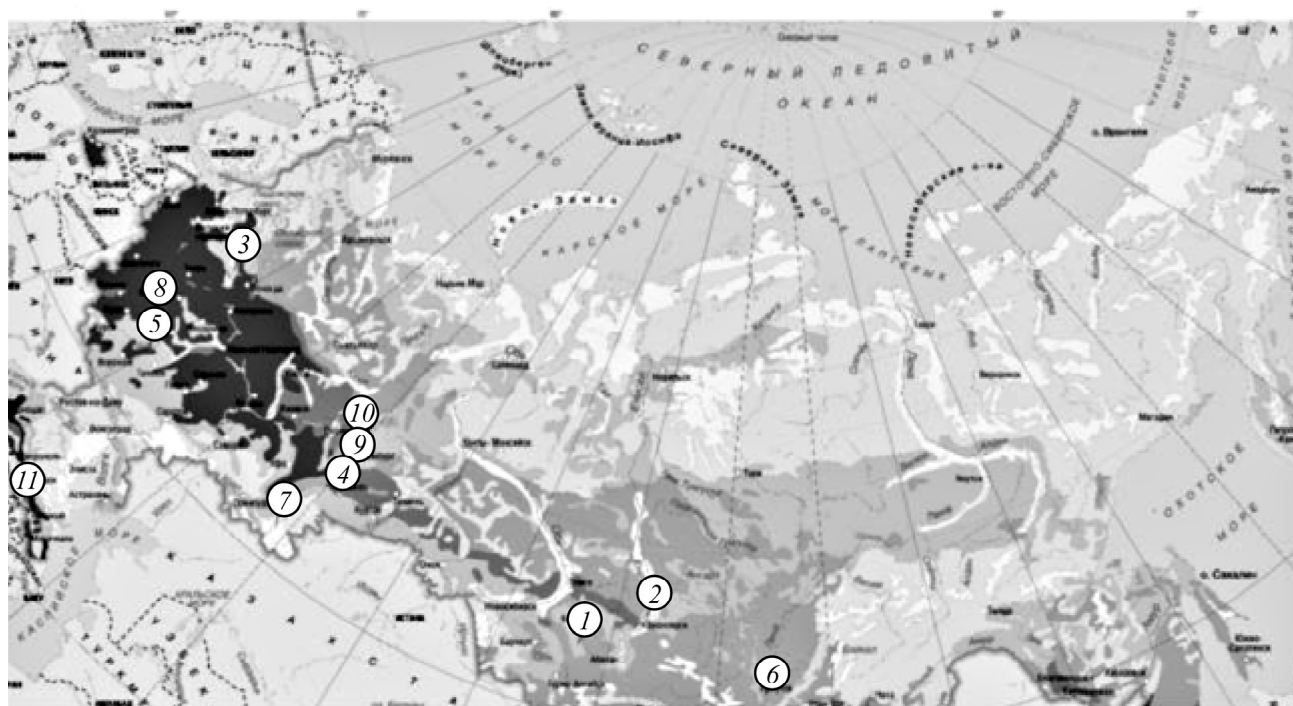
ТАБЛИЦА 1. Искусственная среда обитания человека и промышленных производств (техногенные агломерации)

Основные источники загрязнения. Теплоноситель: суммарная установочная мощность электротепловых предприятий, МВт	Объем выбросов в атмосферу, тыс. т/год		ИЗА	Показатель здоровья населения по областям (2013 г.)	Суммарный показатель
	стационарные	автотранспорт			
1. Новокузнецк 74 года*					
Цветная (Al) и черная металлургия, цемент, добыча угля, электро- и теплоэнергетика: ТЭЦ, ГРЭС, ТЭС (102 + 297 + 600) = 999.43 (уголь) 3	267.5 (2016) 2	27.6 (2017) 6.5	22 (2011) 2	Общая смертность 15.5 (2011) (Россия 13.3) 2	15.5
2. Красноярск 53 года*					
Цветная (Al) и черная металлургия, металлообработка, электро- и теплоэнергетика: ГЭС (5100 гидро); ТЭЦ (481 + 204 + 550) = 12351 (уголь) 1	117.6 (2017) 7	73.1 (2017) 3	23.8 (2011) 1	Общая смертность 12.7 (2011) 10	22.0
3. Череповец 66 лет*					
Черная металлургия, металлообработка, хим. удобрения, теплоэнергетика: ГРЭС, ТЭЦ, ТЭС (1735 уголь), (160 + 102 + 45 = 307 газ) 2	304.6 (2016) 1	15.8 10	9.9 (2011) 8	Общая смертность 14.9 (2015) (Россия 13.3) 4	25.0
4. Челябинск 87 лет*					
Черная металлургия и металлообработка, добыча угля, электро- и теплоэнергетика: (газ, бурый уголь,) ГРЭС, ТЭЦ (137.8 + 320 + 286 + 580 + 229) = 1325 (газ) и 230 (уголь) 5	148.2 (2016) 5	110.6 (2017) 2	11.3 (2011) 7	Общая смертность 13.9 (2015) 6.5	25.5
11. Владикавказ 112 лет*					
Цветная металлургия, два завода, электро- и теплоэнергетика, ГЭС (45 + 9.2 = 54.2 (газ) 11	5.3 11	13.0 11	3.0 11	Общая смертность 10.5 (2013) (Россия 13.0) 11	55.0

* Год создания.

ТАБЛИЦА 2. Дифференциация предприятий ГПК по значимости воздействия на окружающую среду

Техногенные агломерации	Табель о рангах (значимость)					Сумма мест (значимость)	Экологический рейтинг
	Источник загрязнения атмосферы			ИЗА	Смертность		
	Энергетика	Промышленность	Автотранспорт				
Новокузнецк	3	2	6.5	2	2	15.5	1
Красноярск	1	7	3.0	1	10	22.0	2
Череповец	2	1	10.0	8	4	25.0	3–4
Челябинск	5	5	2.0	7	6.5	25.5	3–4
Липецк	8	3	4.0	10	3	28.0	5–6
Иркутск	4	8	5.0	3	8	28.0	5–6
Магнитогорск	6	4	9.0	5	6.5	30.5	7
Нижний Тагил	10	6	8.0	4	5	33.0	8–10
Екатеринбург	7	10	1.0	6	9	33.0	8–10
Тула	9	9	6.5	9	1	33.5	8–10
Владикавказ	11	11	11.0	11	11	55.0	11



Показатель продукционного потенциала (% от максимального возможного на территории России) Масштаб
 менее 1 5–10 25–50 75–100 1:30 000 000

Рис. 3. Карта экологической устойчивости территорий размещения предприятий горнопромышленного комплекса РФ (техногенные агломерации): 1 — Новокузнецк; 2 — Красноярск; 3 — Череповец; 4 — Челябинск; 5 — Липецк; 6 — Иркутск; 7 — Магнитогорск; 8 — Тула; 9 — Екатеринбург; 10 — Нижний Тагил; 11 — Владикавказ

ВЫВОДЫ

Предлагается методологическое обоснование содержательного наполнения оценки экологической устойчивости территорий размещения горнопромышленного комплекса путем установления механизма взаимодействия природной и технической подсистем на основе определения структуры и особенностей внутреннего их развития.

Основными элементами природно-технической системы освоения запасов месторождения являются два полиобъектных кластера, каждый из которых концентрирует усилия в разных направлениях. Взаимодействие этих составляющих характеризуется тем, что одна из них является управляющей (природоохранная), а другая — исполнительской (производственно-техническая).

Функциональная структура природно-технических систем освоения минеральных ресурсов недр определяется глубиной переработки извлекаемого из литосферы вещества и может иметь три основных модификации. Их комбинация образует различную по сложности производственную инфраструктуру, которая формирует экологическую обстановку на территории разной степени благополучия или неблагополучия проживания и состояния человека.

Для дифференциации предприятий горнопромышленного комплекса по значимости воздействия на окружающую среду предлагается использовать индекс напряженности экологической ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Selenella Sala, Biagio Ciaffo, and Peter Nijkamp.** A systemic framework for sustainability assessment, *J. Ekological Economics*, November, 2015, Vol. 119. — P. 314–235.
2. **Verheem R.** Recommendations for sustainability assessment in the Netherlands. In commission for EIA, *Environmental Impact Assessment in the Netherlands Views From the Commission for EIA in 2002*.
3. **Рубанов И. Н., Тикуннов В. С.** Методология оценки экологической составляющей устойчивого развития и состояния окружающей среды в российских условиях // *Материалы Междунар. конф. “Устойчивое развитие территорий: ГИС и практический опыт” ИнтеКарто / ИнтерГИС 11.* — Ставрополь, Душанбе, Будапешт, 2005. — С. 206–214.
4. **Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П.** *Геоэкология освоения недр Земли и экогеотехнологии разработки месторождений.* — М.: Научтехлитиздат, 2015. — 435 с.
5. **Мандель И. Д.** *Кластерный анализ.* — М.: Финансы и статистика, 1988. — 176 с.
6. **Калабин Г.В., Галченко Ю. П.** Методология количественной оценки нарушенности территорий по данным сопряженного дистанционного и наземного мониторинга и ее апробация // *Экол. системы и приборы.* — 2007. — № 2. — С. 10–16.
7. **Калабин Г. В.** Количественная экологическая оценка техногенных воздействий на территорию размещения горнодобывающих предприятий по ответной реакции биоты // *ФТПРПИ.* — 2018. — № 3. — С. 168–177.
8. **Барталев С. А., Егоров В. А., Ершов Д. В., Исаев А. С., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Уваров И. А.** Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // *Современные проблемы дистанционного зондирования.* — 2011. — Т. 8. — № 4. — С. 285–302

Поступила в редакцию 28/I 2020

После доработки 18/III 2020

Принята к публикации 29/V 2020