

## ГОРНАЯ ЭКОЛОГИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 502/504

### БИОСИСТЕМНЫЙ КОНЦЕПТ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИМПЕРАТИВА

Ю. П. Галченко, Г. В. Калабин

*Институт проблем комплексного освоения недр им. акад. Н. В. Мельникова,  
E-mail: kalabin.g@gmail.com, Крюковский тупик, 4, 111020, г. Москва, Россия*

Представлены результаты исследований по обоснованию перспектив экологизации технологической парадигмы развития минерально-сырьевого комплекса с учетом ограничений и требований на основе равных возможностей для развития техносферы и биосферы. Структурировано понятие природоподобных технологий в зависимости от совпадения предназначения содержательных компонентов биологических и горнотехнических систем. Дана методология гомеостатической трансформации принципов функционирования биологических систем в структуру технологического кластера конвергентных горных технологий.

*Недропользование, минерально-сырьевой комплекс, экологический кризис, природоподобные решения, противоречия, экологический императив, биогенные принципы, конвергентная горная технология, функциональная структура*

DOI: 10.15372/FTPRPI20230516

Одна из причин глобального экологического кризиса заключается в том, что созданная человеком технократическая цивилизация неумолимо поглощает все основные геосферы Земли, превращая их в антропосферу. Темпы такого замещения намного опережают возможности естественного восстановления абиоты и биоты природных экосистем. Выход из этого положения мировое сообщество связывает с принятой на уровне ЮНЕСКО концепцией устойчивого развития [1, 2]. В документах ряда всемирных экологических форумов детально прописано, что необходимо сделать для достижения поставленных экологических целей. Однако не показано, как следует изменить общую и отраслевые технологические парадигмы, чтобы основные геосферы Земли, и прежде всего биосфера, поддерживали свою идентичность и экологическую устойчивость при сохранении темпов промышленного развития.

Так как доминирующая технологическая линия развития производственной сферы в настоящее время построена исключительно на основе экономических приоритетов и ограничений, то все проблемы сохранения природной среды решаются только после обязательного достижения необходимых экономических показателей исключительно в режиме борьбы со следствиями, без устранения причин.

Поиск путей преодоления этого очевидного противоречия — фундаментальная научная проблема для всех направлений производственной деятельности и в первую очередь для минерально-сырьевого комплекса, являющегося материальным и энергетическим базисом развития техносферы как искусственной среды обитания Человека.

### ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОБЩЕМЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЕЕ РЕШЕНИЮ

Экологическое содержание рассматриваемой проблемы определяется тем, что Человек занял особое место в экосистеме нашей планеты. В терминах синэкологии (раздел экологии, изучающий биоценозы) существование человечества можно трактовать как развитие во времени и пространстве моновидового биоценоза (саморегулируемая система из взаимосвязанных биологических компонентов), занимающего экотоп, т. е. абиотическую часть биогеоценоза или среду обитания (атмосфера, вода, почва), искусственно сформированный на месте первичной биосферы за счет использования вещества и энергии, полученных при разрушении литосферы (рис. 1).

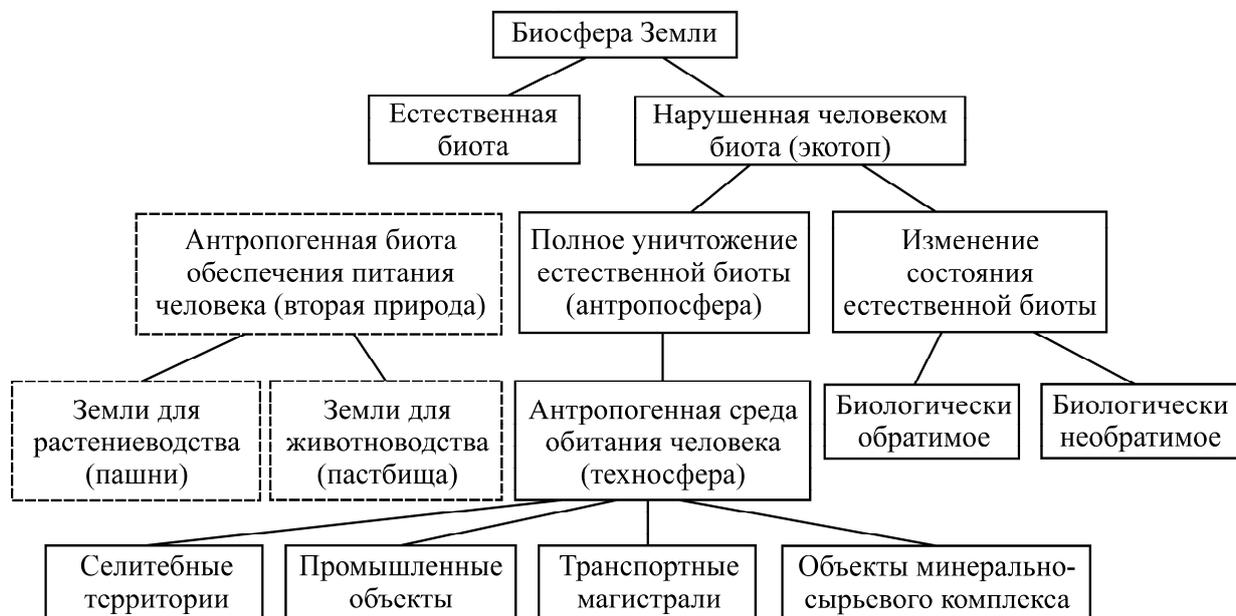


Рис. 1. Геономическая структура биосферы на поверхности суши [3]

Из рис. 1 следует, что существование человеческого общества обеспечивается преобразованием равновесных систем естественной биоты в искусственно равновесные системы агрокомплекса (“вторая природа”) и среды обитания человека (техносферу). С экологической точки зрения человек и естественная биота Земли — абсолютные антагонисты, при взаимодействии которых преобладание интересов одной стороны означает прекращение существования другой. Многолетнее игнорирование этого фундаментального положения и накопление связанных с этим методических просчетов и ошибок в области создания и применения технологий привели к тому, что разрушение естественной биоты Земли по своему масштабу стало планетарным, а по характеру — практически необратимым [4, 5]. Наиболее важная черта современного периода существования нашей цивилизации — огромный количественный рост всех ее составляющих в сочетании с адекватным снижением их экологической эффективности (рис. 2).

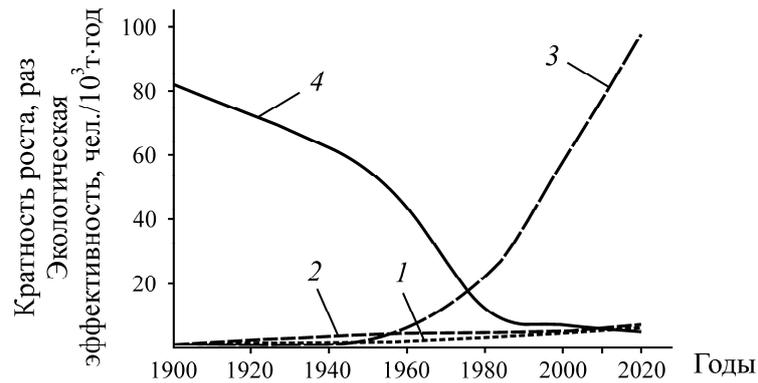


Рис. 2. Динамика изменения основных показателей, характеризующих экологическую нагрузку на природу Земли: 1 — население Земли; 2 — площадь сельскохозяйственных угодий; 3 — объем добычи вещества литосферы; 4 — экологическая эффективность минерально-сырьевого комплекса

За 120 лет при пятикратном увеличении населения планеты площадь отторжения естественной биоты под сельскохозяйственные угодья выросла в 6 раз, а общая масса техносферы — в 150 раз. На рис. 2 видна очевидная диспропорция темпов роста во времени экологической нагрузки, связанной с развитием пищевой базы (кривая 2) и искусственной среды обитания (кривая 3) Человека. В первом случае негативные изменения природной среды развиваются практически пропорционально росту численности населения (кривая 1), во втором — почти в 16 раз быстрее. Еще быстрее (в 27 раз) упала экологическая эффективность минерально-сырьевого комплекса. Если 120 лет назад добыча вещества литосферы 1 тыс. т обеспечивала искусственную среду обитания для 82 человек, то в настоящий момент — всего для 3 человек (кривая 4). Такие соотношения относительных показателей свидетельствуют о том, что качественная динамика недропользования характеризуется нарастающим доминированием экстенсивных форм ведения хозяйственной деятельности. В экологическом плане эта тенденция выражается не только в извлечении из литосферы постоянно растущих объемов различных полезных ископаемых, но и в размещении на земной поверхности превосходящих объемов сопутствующих пустых пород.

При наиболее распространенных конструкциях породных отвалов и среднестатистической их высоте прирост площади техногенного поражения биоты за счет размещения этих отвалов на земной поверхности достигает  $5000 \text{ км}^2/\text{год}$ . При среднем сроке исчерпания запасов единичного месторождения в 40–45 лет ежегодный ввод компенсирующих производственных мощностей сопровождается дополнительным изъятием из естественного оборота не менее  $3500–4000 \text{ км}^2$ . Неизбежным следствием несовершенства действующей технологической парадигмы минерально-сырьевого комплекса становится не только ежегодное увеличение площади накопленного экологического ущерба более чем на 10 тыс.  $\text{км}^2$ , но и формирование на этих территориях техногенных новообразований из твердых отходов с ювенильной внешней поверхностью, площадь которой минимум на треть больше, чем площадь оснований этих новообразований.

С учетом этих соотношений не меньшее экологическое значение имеет сопоставление общих объемных показателей, отражающих функционирование биоты и минерально-сырьевого комплекса техносферы. На современном уровне развития общества потребления вес минерального

вещества, извлекаемого каждый год из литосферы планеты, приближается к 85 % от сухого веса годового прироста биомассы всех материковых экосистем, что соответствует 31 % от общего живого веса всех обитателей суши. Такое соотношение в геонимической среде свидетельствует о том, что продолжение эксплуатации земных недр на основе реально существующей сегодня технологической парадигмы представляет собой очевидную угрозу для всего живого, содержание и масштабы которой пока до конца не осмыслены.

Анализ современного состояния проблемы взаимоотношений техно- и биосферы приводит к пониманию необходимости сохранения последней за счет регламентации системы потребления и кардинального изменения качественных характеристик используемой технологической парадигмы [1, 2]. Смена модели мышления отражается в концепции “Sustainable development”, которая представляет собой сложнейший конгломерат биологических, экологических, политических, экономических, социальных, моральных проблем и вопросов. Они тесно детерминированы друг с другом таким образом, что прекращение или резкое снижение всех видов нарушения природных экосистем становится основой критериальной базы создания методологии оценки эффективности недропользования.

В общем виде решение этой проблемы рассмотрено в работах академика Н. Н. Моисеева. Он выделил важную для процесса становления Человечества закономерность, при которой “постепенное, более или менее спокойное его развитие (дарвинский этап), в течение какого-то относительно короткого времени сменяется периодами катастрофических перемен самой парадигмы развития, когда потенциал формы эволюции, определяющей “спокойный” период, оказывается исчерпанным” [6]. Н. Н. Моисеев считал XX в. — веком предупреждения, когда основным фактором, формирующим экологический образ современной технократической цивилизации, стало антагонистическое противоречие хозяйствующего человека и живой природы. Дальнейшее существование антропосферы он связывал с принципом создания равных возможностей для развития техносферы и биосферы, который определен как “стратегия коэволюции двух антагонистических систем”, а также с реализацией ограничений и запретов экологического императива [6–9].

Применительно к физико-техническим проблемам разработки месторождения использование этого принципа связано с дополнением функций горной экологии [10], главной задачей которой становится не столько изучение факта техногенного воздействия горного производства на природу, сколько обоснование и поиск технологических возможностей устранения причин этого воздействия за счет развития трех методологических направлений исследований:

- источников техногенных воздействий на биоту и на абиоту природных экосистем с целью определения возможных направлений совершенствования горных технологий в соответствии с ограничениями экологического императива;
- техногенной деградации и постэксплуатационной демутации (восстановление сообщества прежнего состава в экосистеме) биологических объектов для создания биологически обоснованной системы технического нормирования внешних воздействий горного производства;
- механизмов формирования переходных зон между техногенно измененными и исходными биологическими системами для обоснования региональной функциональной структуры природно-технических систем как производственных кластеров разработки месторождений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Накопление глобального экологического ущерба, связанного с динамикой техносферы, неизбежно приводит к вынужденной экологизации общественного мышления. Основным итогом этого события стало все более широкое понимание, что ускорение и углубление кризисных явлений в природопользовании можно сдержать только посредством изменения целеполагания при экологической оценке результатов применения рыночной экономики. Академик Н. Н. Моисеев обозначил новую цель как “экологический императив” [7]. В соответствии с ней экономическая оценка результатов недропользования должна производиться после решения экологических задач, а не перед ними, как это происходит в настоящее время.

Трудность решения этой задачи заключается в том, что критерии, регулирующие взаимодействие техногенных и природных объектов, строятся на основе законов развития биологических систем, а возможности преодоления этих ограничений связаны исключительно с изменением применяемых горных технологий. Выход из такого положения возможен путем трансформации обозначенного общего антагонистического противоречия в цепь локальных противоречий между добывающими предприятиями и реальными экосистемами.

Применительно к горным наукам идею создания равных возможностей развития двух биологически несовместимых систем следует реализовывать на основе согласования уровня фактических техногенных нагрузок на конкретную биоту с порогом ее устойчивости. В этом случае экологическая задача сводится к определению принципов и условия коэволюции (параллельного неразрушающего развития) природных и горнотехнических геосистем на основе согласования уровня техногенных воздействий с диапазоном толерантности эдификаторной синусии (пространственная и экологически обособленная часть растительного сообщества с выраженной средообразующей способностью).

Используя для регулирования уровня техногенного воздействия биологически обусловленные ограничения, можно создать такие конструктивные элементы реальных геотехнологий, свойства которых обеспечат безусловное выполнение этих ограничений. Следует учитывать, что выполнение биологических принципов приведет к пропорциональному увеличению пост-эксплуатационных издержек производства. Однако такой подход позволяет создать технологическую основу для соблюдения экологической нейтральности добычи минеральных ресурсов на территориях, занятых естественной биотой.

Наиболее реальные инновационные перспективы связаны с поиском путей создания горных технологий, в которых экологическая сбалансированность является внутренним свойством, а не внешним, т. е. последствием применения. Впервые ноосферную задачу по встраиванию технологических процессов в циклы естественного оборота вещества в биосфере для обеспечения их неразрушающего взаимодействия сформулировал академик В. И. Вернадский [11]. Позже появились публикации, в которых нашел свое развитие фундаментальный тезис о том, что для сохранения человеческой популяции биосфера должна перейти в новое состояние — ноосферу, т. е. сферу Разума [12, 13].

Достижение этих глобальных целей в техносфере теоретически возможно только путем создания технологий, сохраняющих структуру природных циклов естественного оборота вещества, энергии и информации. На практике это означает, что технологические ответы на эти экологические вызовы следует искать в системах биологических, где решения найдены Природой. Именно такие природоподобные технологии должны составлять основу нового постиндустриального технологического уклада [14–19]. При этом научной базой целенаправленного

поиска, создания и развития этого класса технологий должно стать знание законов и принципов функционирования природных биологических систем различного уровня и применение этого знания в технологической сфере.

Исходя из функционального назначения создаваемых технологий, легко выделить две принципиально различные их группы:

- аналогичные биогенным процессам живой природы;
- сугубо антропогенные, не имеющие биогенных аналогов.

В первом случае подразумевается, что инновационное развитие технологического направления будет построено в форме дублирования уже существующих в живой природе процессов. Поиск новых идей и решений имеет очень длинную историю, связанную с формированием бионики, где отмечаются как серьезные результаты, так и очевидные перспективы дальнейшего развития по мере появления все новых знаний о материальном мире. Такие технологии можно назвать природовоспроизводящими и определить их как технологии, построенные на основе воспроизводства процессов, обеспечивающих существование живых существ в составе биоты природных экосистем.

Фундаментом технократической цивилизации, построенной на основе природных ресурсов, стали процессы и организационные структуры, у которых нет и не может быть прямых биологических аналогов. Эта группа включает практически все технологии, используемые при воссоздании искусственной среды обитания человека (техносферы): добыча и первичная переработка всех видов минеральных ресурсов, металлургия, обработка металлов, энергетика, строительство, машиностроение и т. д. Целью инновационного развития этой группы технологий становятся способы достижения экологической нейтральности при взаимодействии различных компонентов в единой природно-технической системе. Так как любое развитие — процесс имманентный, то и полезные свойства природно-технических систем в целом будут полностью определяться совпадением или различием принципов функционирования входящих в нее элементов [20]. Таким образом, создание технологий, входящих во вторую группу, включает поиск путей тождественной трансформации в техносферу тех элементов функциональной структуры биологических систем, которые обеспечивают их природную экологическую чистоту и безотходность. При этом форма переноса информации должна предусматривать и возможность изменения масштабного фактора при полном сохранении идентичности процесса или явления. В общем виде речь может идти о концепции создания технических систем с новыми качествами за счет функционального сближения (конвергенции) их с системами биологическими, которые уже обладают необходимыми нам свойствами.

Принимая во внимание высокую степень структурного соответствия схем движения биологического и литосферного вещества в природных и горнотехнических системах, при создании последних можно использовать биологические показатели с заменой их содержательных элементов на соответствующие по смыслу целевые технологические аналоги (рис. 3). Такая форма конвергенции биологических и технических знаний в технологической системе реализуется на основе теоретических положений гомеостатики о способах поддержания жизненно важных параметров взаимодействующих систем путем управления противоречиями при сохранении постоянства (саморегуляции) внутреннего состояния системы. Это обстоятельство с допустимым упрощением позволяет представить конвергенцию как результат соединения (склеивания [21]): по установленным правилам несовместимых по своему содержанию элементов. Функционирование такой гибридной системы в совокупности будет обладать устойчивостью, даже если каждый входящий в нее состав антагонист оказался неустойчивым образованием [21, 22].



Рис. 3. Схема формирования целевых аналогов для биологической и технической систем обращения вещества: продуценты — организмы, производящие органические вещества из неорганических составляющих; консументы — организмы, потребляющие органические вещества; редуценты — организмы (бактерии, грибы), превращающие органические остатки в неорганические; детритофаги — организмы, потребляющие разлагающиеся органические материалы

Совместное развитие техносферы и природы в гибридном исполнении представляет собой управляемую систему, в которой баланс между этими антагонистами достигается за счет ограничения уровня техногенной нагрузки диапазоном толерантности эдификаторной группы видов фитоценоза (устойчивое сообщество видов растений) этих экосистем. Посредством пошагового формирования геотехнологического гомеостата можно перенести в техносферу функциональную структуру биологического гомеостата с заменой его содержательных элементов на целевые технологические аналоги. Трансформация принципов функционирования равновесных биологических систем в функциональную структуру горных технологий позволяют устранить экологические последствия за счет баланса с локальной устойчивостью естественной биоты, воспринимающей техногенную нагрузку [23]. В такой постановке второй тип природоподобных технологий можно определить как конвергентный, т. е. антропогенные процессы взаимодействуют между собой в биоподобной функциональной структуре.

Известно, что в биологических системах экологическая нейтральность достигается одновременным действием всех общих принципов их функционирования [24, 25]. При создании конвергентных горных технологий необходимо задействовать одновременно все функциональные биогенные принципы.

На рис. 4 представлена иерархия функциональной дифференциации биотехнологических принципов конвергентных горных технологий, соответствующих природным и горнотехническим системам по их внутреннему содержанию. В правой колонке два первых принципа определяют необходимость превентивного устранения негативных факторов и обеспечение замкнутого цикла обращения добытого вещества. Формируется новый облик горной технологии, возникающей в результате гомеостатической трансформации в техносферу соответствующих принципов функционирования биологических систем, определяется изменение состояния вещества в этих системах.

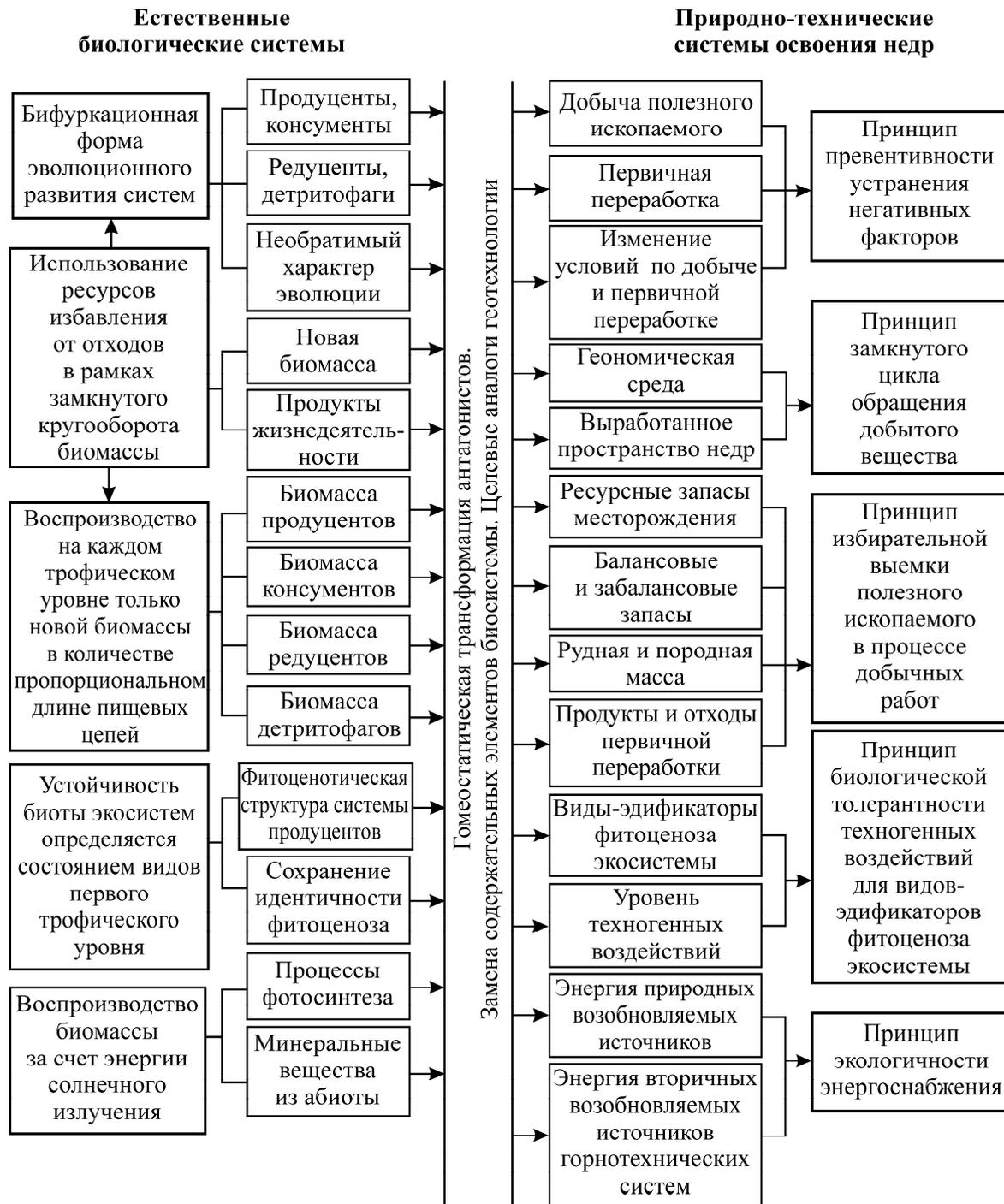


Рис. 4. Биотехнологические принципы формирования конвергентной горной технологии

Третий принцип отражает необходимость реализации избирательной выемки, позволяющий выдавать на поверхность только необходимые полезные ископаемые. Четвертый принцип обеспечивает биологическую толерантность уровню техногенного воздействия. Пятый принцип формирования конвергентной горной технологии определяет необходимость обеспечения экологически приемлемого энергоснабжения технической составляющей природно-технической системы освоения недр за счет возобновляемой энергии ее природной составляющей.

Одновременная реализация всех биогенных принципов позволит за счет конвергенции биологических и технических знаний структурировать во времени и пространстве процесс получения полезных ископаемых в полном соответствии с ограничениями экологического императива и устойчивого развития.

### ВЫВОДЫ

Разработанный биосистемный концепт инновационного развития горных технологий и обоснование необходимости перехода к конвергентным горным технологиям позволит сформировать новую, экологически сбалансированную технологическую парадигму развития недропользования, которая будет соответствовать требованиям экологического императива.

С помощью гомеостатических методов обоснована возможность замены аналогичных по внутреннему содержанию биологических показателей на соответствующие по смыслу целевые аналоги параметров горнотехнических систем, исходя из практически полного сходства структуры движения биологического и литосферного вещества в природных и горнотехнических системах.

Реализация сформулированных биотехнологических принципов формирования конвергентных горных технологий позволяет устранить локальные противоречия за счет баланса с естественной устойчивостью биоты, воспринимающей техногенную нагрузку, а также определить исполнительную структуру основного объекта технологических исследований — природно-технической системы освоения запасов полезных ископаемых, локализованных в литосфере Земли в зависимости от конкретных горно-геологических условий разработки месторождений и географического положения территорий освоения недр.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция перехода Российской Федерации на модель устойчивого развития // Зеленый мир. — 1995. — № 7.
2. State in the World 1994, New York, London, Norton and Company, 1995. — 265 p.
3. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П. Геоэкология освоения недр Земли и экотехнологии разработки месторождений. — М.: Научтехиздат, 2005. — 360 с.
4. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Бурцев Л. И. Охрана окружающей среды при освоении земных недр // Вестн. РАН. — 1998. — Т. 68. — № 7. — С. 629–637.
5. Реймерс Н. Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). — М.: Молодая гвардия, 1994. — 367 с.
6. Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера. — М.: Молодая гвардия, 1990. — 352 с.
7. Моисеев Н. Н. Природный фактор и кризисы цивилизации // Общественные науки и современность. — 1992. — № 5. — С. 84–85.
8. Моисеев Н. Н. Быть или не быть... человечеству? — М.: КРНТР, 1999. — 288 с.
9. Моисеев Н. Н. Судьба цивилизаций. Путь разума. — М.: Языки русской культуры, 2000. — 223 с.

10. Освоение и сохранение недр Земли / под ред. К. Н. Трубецкого. — М.: Академия горных наук, 1997. — 478 с.
11. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. — М.: Айрис-пресс, 2007. — 576 с.
12. Ткаченко Ю. Л. Какие технологии являются природоподобными? Новая тема для концептуальной дискуссии // Успехи современной науки. — 2016. — Т. I. — № 3. — С. 101–107.
13. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С. Природоподобные технологии — новые возможности и новые угрозы // Индекс безопасности. — 2017. — Т. 22. — № 3–4 (118–119). — С. 103–108.
14. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П. Природоподобные горные технологии — перспектива разрешения глобальных противоречий при освоении минеральных ресурсов литосферы // Вестн. РАН. — 2017. — Т. 87. — № 7. — С. 643–650.
15. Загидуллина Г. М., Соболев Е. А. Технологические уклады, их роль и значение в развитии инновационной экономики России // Изв. КГСАУ. — 2014. — № 4 (30). — С. 9–18.
16. Koval'chuk M. V., Naraikin O. S., and Yatsishina E. B. Naturelike technologies: new opportunities and new challenges, Bull. Russ. Acad. Sci., 2019, No. 2. — P. 157–166.
17. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Калабин Г. В. Особенности методологии создания и применения природоподобных геотехнологий при освоении минеральных ресурсов Арктики // ФТПРПИ. — 2019. — № 3. — С. 53–61.
18. Калабин Г. В. Количественная экологическая оценка техногенных воздействий на территорию размещения горнодобывающих предприятий по ответной реакции биоты // ФТПРПИ. — 2018. — № 3. — С. 168–177.
19. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П. Методология оценки перспективной парадигмы развития минерально-сырьевого комплекса // ФТПРПИ. — 2015. — № 2. — С. 177–188.
20. Голубенко А. Л., Петров А. С., Кашура А. Л. Теория технических систем. — Киев: Арютей, 2005. — 420 с.
21. Горский Ю. М. Основы гомеостатики. — Иркутск: ИГЭА, 1988. — 357 с.
22. Горский Ю. М., Степанов А. М., Теслинов А. Г. Гомеостатика: гармония в игре противоречий. — Иркутск: Репроцентр АИ, 2008. — 634 с.
23. Иосс Ж., Джосеф Д. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций. — М.: Мир, 1983. — 301 с.
24. Одум Ю. Экология. Т. 1. — М.: Мир, 1986. — 328 с.
25. Андерсон Дж. М. Экология и наука об окружающей среде: биосфера, экосистема, человек. — Л.: Гидрометиздат, 1985. — 165 с.

*Поступила в редакцию 05/V 2023*

*После доработки 22/VI 2023*

*Принята к публикации 15/IX 2023*