

УДК 622.014.2:502.76

*Г.В. Сабянин***МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ПОСТРОЕНИЯ ЭКОГЕОТЕХНОЛОГИЙ**

Семинар № 7

**В** отличие от традиционной бионики, реализующей стремление воссоздать приборы и устройства, которые копируют по своим функциям и возможностям определённые элементы биоты, построение экологически безопасных геотехнологий или целых природно-технических систем возможно на основе переноса и смысловой трансформации только принципов взаимодействия элементов биоты. Поэтому, учитывая антагонистический характер противоречий между техно- и биосферой, общую методологию решения проблемы целесообразно строить на основных положениях гомеостатики о способах поддержания жизненно важных параметров взаимодействующих систем путём управления противоречиями [1].

Гомеостатические механизмы при очень сильном упрощении можно представить как результат интеграции по определённым правилам двух антагонистов. Такая система в дальнейшем окажется устойчивой, несмотря на то, что каждый антагонист в системе может являться неустойчивым образованием. Основным условием устойчивости системы является паритет требований и ограничений каждой её составной части. Применительно к рассматриваемой нами проблеме экологической безопасности освоения недр в качестве "антагонистов" выступают естественная биота Земли (биота) и технократическая цивилизация людей (человек), извлекающая из литосферы Земли сырьё. Конечный результат гомеостатического регулирования - построение природно-технической системы, в которой за счёт применения технологий, ограниченных по внешнему воздействию условиями выжи-

вания и самовосстановления биологических систем, были бы разрешены противоречия между биотой и техносферой. То есть, негативное влияние Человека должно компенсироваться толерантностью нарушаемой части биоты.

Это означает, что в любой природно-технической системе единственная возможность достижения паритета интересов составляющих эту систему компонентов (в нашем случае - это Биота и Человек) заключается в целенаправленном создании и применении технологий, отвечающих по свойствам условиям толерантности биоты.

В общеметодологическом плане гомеостатический подход даёт возможность синтеза противоположностей. Применительно к проблеме взаимоотношений человека и природы это означает, что эти два антагониста не противопоставляются друг другу, а объединяются в единую систему, в которой управляемая гармония между обеими компонентами достигается за счёт ограничения уровня техногенных воздействий диапазоном толерантности структурообразующих элементов биоты этих экосистем.

Используя такой подход можно перенести биологическую информацию в техносферу путём поэтапного формирования геотехнологического гомеостата на основе структуры гомеостата биологического с заменой содержательных элементов на геотехнологические целевые аналогии.

Основой равновесного и стабильного существования экосистем является механизм гомеостаза, который регулируется посредством положительных и отрицательных обратных связей, быстрое чередование которых обеспечивает возвращение системы в

равновесное состояние. Экологические системы практически никогда не достигают статического равновесия, они могут лишь периодически проходить через равновесное состояние. Определение механизма гомеостаза для всех уровней организации экосистем имеет большое значение для прогноза поведения системы при каком-либо внешнем воздействии. Способность данной экосистемы противостоять различным внешним воздействиям принято характеризовать терминами локальная и глобальная устойчивость. Система, возвращающаяся в первоначальное состояние после незначительных внешних воздействий, обладает локальной устойчивостью. Если же система возвращается в равновесное состояние после сильных и длительных возмущений, то она обладает глобальной устойчивостью [2].

Из определения понятия системы вообще - как "единого целого, функционирующего благодаря взаимодействию определенным образом организованных элементов...", следует, что кроме структуры (...определенным образом организованных элементов...), жизнеспособность и экологичность биологических систем определяется также и характером взаимодействия входящих в нее элементов. Понимание этих особенностей биологических систем, обеспечивающих экологическую чистоту их функционирования, может подсказать пути развития геотехнологий в условиях экологического императива

**Первый принцип** функционирования природно-равновесных экосистем вытекает из понятия большого и малого круга биотического обмена - как безостановочного процесса закономерного циклического, но неравномерного во времени и пространстве, перераспределения вещества и энергии, многократно входящего в непрерывно обновляющиеся биосферные или элементарные биологические системы. Применительно к биогеоценозам, с учетом характера взаимодействия и предназначения основных категорий организмов в экосистеме, его можно сформулировать так: **использование ресурсов и переработка от-**

**ходов происходят в рамках замкнутого кругооборота всех элементов.**

Основная часть потока солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли, порождает физическую циркуляцию подвижных элементов абиоты, остальная энергия, усваиваемая фотосинтезирующими живыми системами, и порождает циркуляцию биогенов в природных экосистемах. Если расположить составляющие их организмы в соответствии с пищевыми взаимоотношениями, указав для каждого уровня «вход» и «выход» энергии и биогенов, то станет очевидно, что чем ниже трофический уровень, тем больше биомасса данной категории организмов. В этом заключается суть **второго принципа** функционирования биосистем: **на каждом трофическом уровне производится только новая биомасса**, количество которой обратно пропорционально длине пищевых цепей.

Поток энергии в природных экосистемах полностью соответствует началам термодинамики. Энергия солнечного света превращается в химическую энергию в результате фотосинтеза, а химическая - в другие формы при прохождении пищевых цепей. В этом направлении расходуется далеко не самая большая доля общего количества поступающей энергии Солнца, основное количество которой расходуется на нагревание поверхности планеты. Это тепло служит движущей силой циркуляции водных и воздушных масс и, в конце концов, рассеивается в космическом пространстве. Отсюда следует **третий принцип** функционирования экосистем: **они существуют за счёт не загрязняющей среду и практически вечной солнечной энергии**, количество которой относительно постоянно и избыточно.

Важнейшим свойством природных экосистем является их устойчивость, которая обеспечивается тем, что соотношения всех компонентов определяются динамическим равновесием между биологическим потенциалом популяций и сопротивлением окружающей их среды. Изменение внешних условий вызывает развитие сукцессии, которая завершается стадией климаксовой экоси-

системы. На этой стадии все виды, размножаясь, сохраняют относительно постоянную численность, а экосистема - видовое разнообразие. В сухопутных экосистемах роль продуцентов выполняют растительные сообщества - фитоценозы. При этом каждый из них имеет совершенно одинаковую внутреннюю структуру, состоящую из трёх систем видов растений, различных по своей ценогической значимости: эдификаторной, ассектаторной и адвентивной, из которых первая определяет видовой состав и направление циклической сукцессии всего фитоценоза [3, 4]. Потому **четвертый принцип** существования экосистем можно сформулировать ещё и так: **устойчивость и жизнеспособность экосистем определяется состоянием их фитоценоза**, структура и видовой состав которого зависят от эдификаторной синустии.

Как известно, все системы обладают пороговым состоянием, переход через которое ведет к резкому, качественному изменению протекающих в них процессов - к изменению их организации. Эта особенность пороговых (бифуркационных) механизмов играет совершенно особую роль в развитии биосистем. При переходе через бифуркационное состояние система как бы забывает (или почти забывает) свое прошлое. В этой точке происходит разветвление путей эволюции и, в силу вероятностного характера перехода через это пороговое состояние, обратного хода эволюции уже нет (точнее сказать, вероятность подобного события равна нулю). Это **положение о необратимом характере биологической эволюции** (известное как закон Л. Долло) составляет суть **пятого принципа** функционирования естественной биоты Земли.

Устойчивое функционирование биосистемы определяется одновременной реализацией всех приведенных принципов, нарушение даже одного из них может быть причиной деградации биосистемы.

Первый и второй из обозначенных выше принципов функционирования биосистем входят в состав биологического гомеостата, обеспечивающего поддержание динамиче-

ского постоянства такого жизненно важного параметра системы, как экологическая чистота протекающих в ней процессов. При этом первый принцип отражает характер использования ресурсов, а второй - качество этих ресурсов.

Трансформируя первый принцип в геотехнологию, можно легко сформулировать такое её свойство, как замкнутый цикл обращения твердых, жидких и газообразных отходов. Твердые отходы горного производства представлены отвальными породами, хвостами обогащения и пылью, выносимой на поверхность при проветривании горных работ. По степени воздействия на природную среду отвалы и хвостохранилища относятся к категории катастрофического ее нарушения, когда на площади, занятой ими, происходит полное уничтожение биоты. Достижение экологической безопасности горного производства по этому фактору потребует кардинальных горнотехнических решений, исключающих накопление твердых отходов на земной поверхности. Одним из наиболее реальных путей решения этой экологической проблемы при подземной и открытой разработке является перевод выработанного пространства из категории потенциального ресурса в категорию ресурса реального - путем изменения порядка разработки месторождения и перехода от прямого к обратному порядку выемки запасов (отработка снизу вверх). Для большинства геологических типов рудных месторождений (за исключением тонкожилых) в пустотах, образованных при отработке запасов одного горизонта, можно разместить весь объем пустых пород и около половины хвостов обогащения.

Трансформация в техносферу второго биотического принципа возможна на основе замены понятия "продуцированной биомассы" его целевым геотехнологическим аналогом - "полезное ископаемое". Тогда принцип построения геотехнологии формулируется как требование добывать и выдавать из шахты в чистом виде только то полезное ископаемое, ради которого создан техногенный объект. В практике горных

работ эта идея известна достаточно давно под названием избирательной (селективной) выемки. Общая концепция развития этого направления заключается в том, что уровень избирательности добычных работ, путем целенаправленного выбора или создания технологических решений, приводится в соответствие с характером и уровнем изменчивости естественного распределения полезного ископаемого в литосфере. При этом ключевым моментом является возможность сегрегации горной массы на руду и породу, по естественным или искусственным признакам, до выдачи её на поверхность.

Третий из обозначенных выше биологических принципов отражает тот факт, что ресурсы, получаемые извне и используемые биосистемой для своего развития, не нарушают первого принципа - экологической чистоты происходящих в этой биосистеме процессов. Перенос этой позиции в техносферу позволяет сформулировать не свойство геотехнологии, а обязательное требование к методологии экологической оценки результатов её применения. Эта оценка должна включать в себя не только прямой ущерб, наносимый природе горным предприятием по месту его размещения, но и ущерб, нанесенный другим регионам при производстве оборудования, энергии и материалов, которые используются в рамках применяемой геотехнологии добычи полезного ископаемого. Т.е. конечный продукт - наряду со стоимостными показателями, отражающими в денежном выражении трудо-, энерго- и материалоемкость производства - должен иметь характеристику (назовем её экологической ценой), отражающую прямой и привнесённый экологический ущерб. На современном уровне наших знаний измерение экологической цены можно производить в физических показателях, отражающих изменение состояния биоты (снижение продуктивности либо биоразнообразия; пло-

щадь поражения и т.п.), отнесенных к единице продукции производства.

Четвертый принцип функционирования биологических систем, в рамках рассматриваемой нами проблемы, относится не к внутреннему содержанию технологических решений, а представляет собой еще один, дополнительный, критерий, регулирующий их создание и выбор. Это означает, что наряду с экономической эффективностью и технической безопасностью применяемая горная технология должна обеспечивать уровень техногенного воздействия, находящийся в пределах диапазона толерантности автохтонных видов-эдификаторов фитоценоза той экосистемы, в границах которой расположено данное горное предприятие. Главной научной проблемой при реализации этого принципа является выявление общих методологических подходов к созданию системы биологически значимых ограничительных уровней техногенных воздействий с учетом индивидуальных особенностей экосистем, а также разработка ограничивающих критериев и методов их определения.

И последний из приведенных выше принципов функционирования биологических систем можно легко трансформировать в принцип превентивности при принятии технологических решений. Этот принцип давно реализован в горной промышленности в виде опережающего проектирования всех технологических процессов, видов горных работ и добывающих предприятий. Применительно к проблемам сохранения естественной биоты использование этого принципа означает обязательную опережающую количественную оценку изменений абиоты экосистем при использовании выбранных геотехнологий и приведение этих изменений в соответствие с биологически допустимыми их значениями. Биотехнологические принципы формирования экологически безопасной геотехнологии приведены в таблице.

**Биотехнологические принципы формирования экологически безопасной геотехнологии**

Принципы функционирования природно-равновесных экосистем	Принципы формирования экологически безопасных техногенных геосистем
Использование ресурсов и избавление от отходов в рамках замкнутого кругооборота элементов	Замкнутый цикл обращения твердых, жидких и газообразных отходов
На каждом трофическом уровне воспроизводится только новая биомасса, количество которой обратно пропорционально длине пищевых цепей	Избирательная добыча полезного ископаемого
Биомасса воспроизводится за счет экологически чистых компонентов абиоты и энергии Солнца	Минимизация экологической цены продукции
Устойчивость экосистем определяется видами первого трофического уровня	Ограничение уровня техногенного воздействия диапазоном толерантности видов-эдификаторов фитоценоза экосистемы
Однонаправленность эволюции	Принцип превентивности при принятии и реализации технологических решений

Большинство из сформулированных выше биогенных принципов функционирования горного производства в той или иной мере применяются на практике. При этом важно то обстоятельство, что в биологических системах экологическая чистота их функционирования достигается при одновременном действии всех функциональных принципов. Точно также и необходимый для сохранения биоты экосистемы уровень техногенного изменения горным производством её абиоты может быть достигнут только путем одновременного задействования в геотехнологии всех обозначенных выше функциональных биогенных принципов. Сформулированные выше эти принципы построения экотехнологии освоения недр сле-

дует рассматривать как те направления развития геотехнологии, реализация которых позволит снизить техногенное воздействие на внешнюю среду до неизбежного уровня, обусловленного самим фактом искусственного изъятия части материала литосферы в хозяйственных целях.

Так как основным фактором, определяющим выбор горной технологии, является геологическое строение месторождения, то дальнейшее развитие биоинженерных идей должно идти по пути поиска и создания конкретных вариантов систем разработки и технологии очистной выемки, соответствующих не только общим экосистемным требованиям, но и конкретным горно-геологическим условиям.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Горский Ю.М. Основы гомеостатики. Иркутск, изд. ИГЭА, 1988, 357 с.
2. Андерсон Дж.М. Экология и науки об окружающей среде. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. 165 с.
3. Сукачев В.Н. Основные понятия биогеоценологии. – М.: Наука, 1964, 574 с.
4. Сукачев В.Н. Основы лесной типологии и биоценологии. Избранные труды. Т.1. – Л.: Наука, 1972, 418 с.

**Коротко об авторах**

Сабянин Г.В. – горный инженер, ИПКОН РАН.