

ГОРНАЯ ЭКОЛОГИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 622.502

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПАРАДИГМЫ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

К. Н. Трубецкой, Ю. П. Галченко

*Институт проблем комплексного освоения недр РАН, E-mail: krasavin_08@mail.ru,
Крюковский тупик, 4, 111020, г. Москва, Россия*

В результате анализа этимологической иерархии подсистем, обеспечивающих функционирование всей сложной системы, обосновано и предложено понятие метода освоения недр, структурированного по степени комплексности этого освоения. Выдвинута и разработана гипотеза о содержательной аналогии схем движения вещества в процессе развития биологических и геотехнологических систем и предложена методика количественной оценки комплексного освоения недр через соотношение вещества литосферы, поступающего на каждый технологический уровень и переходящего на следующий, построенная на основе гомеостатической трансформации закономерностей движения продуцированного биологического вещества с заменой содержательных элементов на технологические целевые аналоги.

Минерально-сырьевой комплекс, развитие, комплексное освоение недр, критерии, методика, целевые аналоги, эффективность использования, вещество литосферы

В ходе эволюционного развития Человек кардинально изменил свою экологическую нишу и перестал довольствоваться только потоком солнечной энергии, поступающей на поверхность нашей планеты. Он освоил и начал со все возрастающей интенсивностью использовать литосферные запасы низкоэнтропийного вещества в виде минерального топлива и сырья. Количественный и качественный рост созданной технократической цивилизации сопровождается опережающим ростом темпов добычи вещества литосферы и адекватным увеличением разнообразия потребностей в самых различных видах минерального сырья. Эти потребности до последнего времени удовлетворяются исключительно на основе экстенсивных методов развития минерально-сырьевого комплекса [1].

Быстро нарастающий на нашей планете экологический кризис можно смело назвать “кризисом отходов”, которые все более активно заполняют собой жизненное пространство человека и поглощают значительные территории природных и сельскохозяйственных экосистем. Не последнее место в этом процессе занимает и минерально-сырьевой комплекс, который дает исходные материалы для производства более чем 70 % всей номенклатуры конечной продукции современного общества и обеспечивает почти 90 % его энергетических потребностей [2].

Добывая из литосферы около триллиона тонн твердого вещества, мы в среднем используем в последующих технологических цепочках только около трети исходного количества горной массы, размещая все остальное на земной поверхности в виде хранилищ твердых отходов. (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Структура добычи и полнота использования твердого вещества литосферы (оценка)

Класс минерального сырья	Объем добычи, 10 ¹² т/год			Использованный объем, 10 ¹² т/год		
	Полезные ископаемые	Попутные породы	Горная масса	Конечный продукт	Отходы переработки	Всего твердых отходов
Руды металлов	0.072	0.342	0.414	0.030	0.042	0.184
Энергоносители	0.111	0.122	0.233	0.072	0.039	0.161
Стройматериалы	0.288	0.207	0.495	0.259	0.029	0.236
Неметаллические полезные ископаемые	0.024	0.041	0.065	0.013	0.012	0.053
Итого	0.495	0.712	1.207	0.374	0.121	0.834
%	41	59	100	31	10	69.1

Долгое время решение проблем, возникающих при таком распределении добытого вещества, связывали с реализацией концепции “безотходных технологий”, под которыми понимались такие технологии, где снижение интенсивности энтропийного потока обеспечивалось в основном за счет повторного использования того или иного материала [3]. Применительно к особенностям развития минерально-сырьевого комплекса можно утверждать, что возможности этого пути снижения антропогенного давления на природу весьма ограничены. Наиболее существенная составная часть сырьевого потока из литосферы — нерудное сырье (в основном стройматериалы) используется таким образом, что повторное его использование в первоначальном качестве практически невозможно. Поэтому любое увеличение потребления этих видов сырья требует пропорционального увеличения антропогенного нарушения литосферы и соразмерной с ним нагрузки на биосферу. Точно так же обстоят дела и с энергетическим сырьем в силу полной невозобновимости энергии, полученной из него. Перспективы ограничения техногенного давления на биоту в этом секторе добывающей индустрии связаны с повышением эффективности потребления энергии, с применением энергосберегающих технологий, с ограничением неконтролируемого использования энергии и со стимулированием эксплуатации более “чистых” альтернативных источников энергии.

Возможности снижения экологических последствий развития минерально-сырьевого комплекса за счет регенерации использованного сырья существуют главным образом для сырья рудного, занимающего всего 14.6% в общей добыче полезных ископаемых и 42.5% в годовой добыче горной массы. Однако возможности регенерации металлов ограничены технологическими и экономическими условиями, а также сроком существования изделий из этих металлов. Несложный расчет показывает, что если потребление металла растет на 3% в год, а средний возраст 1 т утилизируемого металла 10 лет, то даже полный возврат металла в промышленный оборот позволит удовлетворить не более 3/4 роста потребности [3]. Одновременно следует учитывать, что “регенерация” металлов требует дополнительного расхода энергии, поэтому экологический эффект от повторного их использования будет существенно ослаблен. Это означает, что данный способ ресурсосбережения может играть определенную роль в решении экологических проблем, но не сможет полностью решить их.

На современном этапе развития горных наук единственным реальным средством вывода добывающей промышленности из порочного круга экстенсивного развития, приводящего в конечном итоге к бесконечно ускоряющемуся извлечению всевозможных ресурсов из земных недр, можно считать изменение давящей ныне парадигмы развития минерально-сырьевого комплекса и переход от разработки месторождений полезных ископаемых к комплексному освоению недр.

Поставленная акад. Н. В. Мельниковым в конце 1960-х годов эта обширная научная проблема [4] получила свое дальнейшее развитие в ИПКОН АН СССР в известных трудах акад. М. И. Агошкова [5]. Содержание этой проблемы было определено им как экономически эффективная полнота использования многообразных видов ресурсов земных недр на основе сочетания различных способов и технологий их освоения. Основной акцент здесь сделан именно на использовании ресурсов, хотя термин “освоение” имеет гораздо более широкое содержание, включающее в себя весь спектр процессов, связанных с идентификацией месторождений и их разработкой. И тем не менее эта терминологическое противоречие в формулировке проблемы привело к тому, что долгое время решение интегральной проблемы комплексного освоения недр Земли фактически рассматривалось через призму эффективности получения и последующей реализации преимущественно продуктов переработки извлеченного вещества литосферы. Возможности преодоления этого смыслового противоречия были детально рассмотрены в работе [6], где показано, что комплексное освоение недр следует рассматривать как систему взаимодополняющих действий, обеспечивающую максимально полное вовлечение в хозяйственный оборот, как всего извлеченного из литосферы вещества, так и всего пространственного ресурса, образованного при этом в неизвлеченном веществе литосферы.

В общетеоретическом плане это означает, что изучение структуры и развития процесса комплексного освоения недр необходимо рассматривать в терминах и понятиях теории систем [7]. Согласно основным положениям этой теории, освоение недр — система последовательных действий, которую можно рассматривать как сложную систему, состоящую из определенного числа подсистем, функционирующих в режиме постоянного взаимодействия. Каждую из подсистем, в свою очередь, можно расчленить на конечное число более мелких подсистем — вплоть до получения подсистем первого уровня, именуемых исходными элементами сложной системы. Последние либо объективно не подлежат расчленению, либо относительно их дальнейшей неделимости имеется определенная договоренность. Таким образом, каждая подсистема является, с одной стороны, сложной системой, состоящей из нескольких исходных элементов нижнего уровня, а с другой — элементом систем старшего уровня. В нашем случае — **это система освоения недр.**

Рассматривая последовательно всю систему освоения недр, можно выстроить этимологическую иерархию названий подсистем различного уровня в направлении от простого к сложному:

- технология выполнения производственных процессов;
- система разработки участка рудных тел;
- геотехнология выемки вещества из литосферы;
- способ разработки месторождения.

Тогда для определения системы старшего уровня, включающей в себя все эти подсистемы, можно предложить термин “**метод освоения недр**” (рис. 1).

Известно, что в каждый момент времени каждый элемент сложной системы находится в одном из возможных состояний, обусловленных действием внешних и внутренних факторов, что в свою очередь изменяет состояние всей системы. Изучение отношений между элементами и подсистемами, определение роли и места каждой подсистемы в общем процессе функциони-

рования системы в целом составляют предмет структурного анализа сложных систем. При этом возможно решение и обратной задачи, когда, фиксируя изменения состояния исходных элементов или подсистем, можно определить возможное состояние старшей системы. В нашем случае — системы действий по освоению недр.

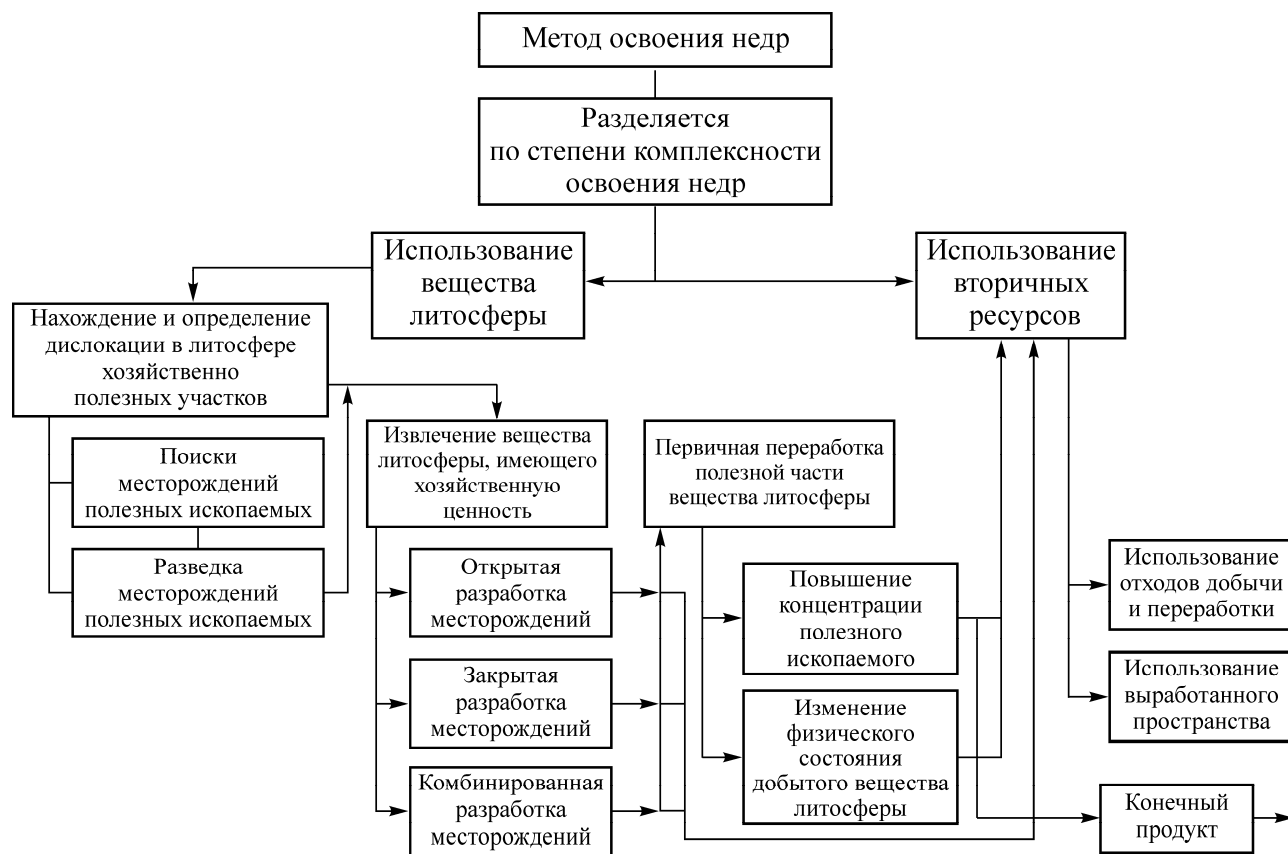


Рис. 1. Структура системы освоения недр

Однако необходимым условием для реализации этих возможностей является наличие критериев и методов количественной оценки состояния системы, что позволит превратить понятие **комплексного освоения недр** из качественно оформленной целевой установки по развитию минерально-сырьевого комплекса в количественно измеряемый интегральный показатель, пригодный для сравнительного анализа уровня развития решений, применяемых на разных этапах освоения недр.

Рассматривая определения и трактовки содержания понятия **комплексного освоения недр**, нетрудно заметить, что во всех случаях речь идет о степени хозяйственного использования вещества, извлеченного из недр, и возможности использования образовавшихся при этом пустот в литосфере. В качестве главной целевой функции выступает максимальная степень использования не только добытого вещества литосферы, но и сформированного в процессе добычи выработанного пространства.

Полностью замкнутые системы обращения вещества и энергии существуют только в живой природе. Для количественной и качественной оценки эффективности функционирования этих систем в биологии создана система необходимых критериев и методов их определения [8, 9]. Однако возможность применения этих показателей и подходов для оценки функционирования технических систем требует специального обоснования.

В биологической системе движение вещества и энергии начинается с уровня продуцентов, где из исходного вещества абиоты за счет использования солнечной энергии производится биомасса роста и размножения, а также свободный кислород, поступающий в атмосферу (рис. 2). На следующем трофическом уровне за счет деятельности фитофагов воспроизводится биомасса консументов, которая служит исходным материалом для развития редуцентов, продукты жизнедеятельности которых через систему детритофагов возвращаются в основание “пищевой пирамиды” и снова становятся частью исходного вещества абиоты.

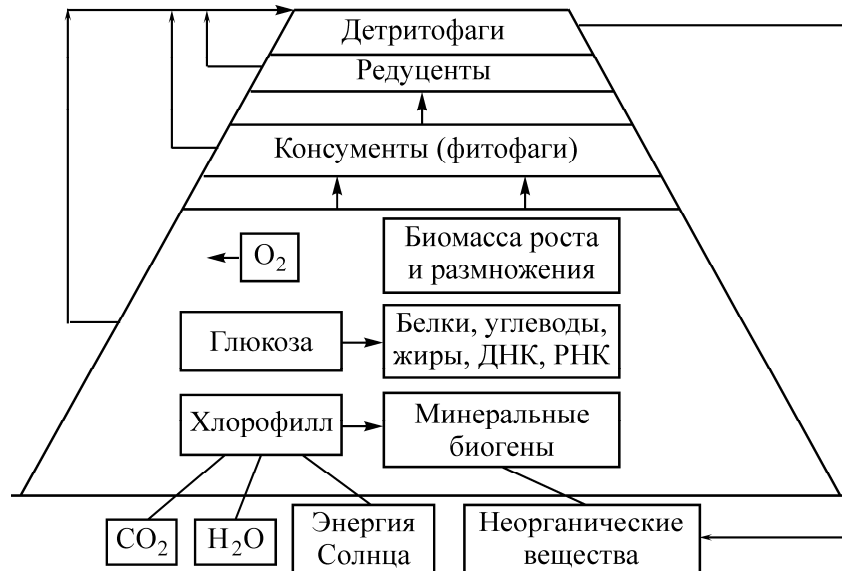


Рис. 2. Схема движения продуцированного вещества в процессе развития биологической системы

Фундаментальным законом, регулирующим этот процесс, является закон убывания масс, известный как закон Линдемана. Согласно этому закону, на каждом трофическом уровне биомасса, переходящая на следующий уровень, меньше биомассы, поступившей с предыдущего, на величину, определяемую внутренним потреблением организмов. При наличии небиотических загрязнений действует правило накопления токсических веществ, концентрация которых возрастает пропорционально снижению объема биомассы от уровня к уровню (рис. 2).

Для количественной оценки процессов изменения и потребления продуцированной биомассы на каждом уровне принято использовать два основных показателя [8, 9]: валовая (первичная) продукция, произведенная на данном трофическом уровне B_{vi} ; чистая (переходящая на следующий уровень) продукция B_{ci} .

В каждый момент времени суммарная чистая продукция всего сообщества, называемая чаще “наличной” биомассой B_n , определяется как сумма чистой продукции всех трофических уровней:

$$B_n = \sum_{i=1}^n B_{ci}.$$

Для количественной оценки интенсивности изменения продуцированной на каждом трофическом уровне биомассы принято использовать текущий показатель экологической эффективности $K_{ээi}$:

$$K_{ээi} = \frac{B_{ci}}{B_{vi}}.$$

Сумма этих показателей определяет величину общей экологической эффективности системы $K_{\text{э}}$:

$$K_{\text{э}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{э}i}$$

В системе освоения недр исходное вещество литосферы также превращается в конечный продукт хозяйственного использования, проходя несколько уровней своего изменения (**технологических уровней**).

На первом уровне, в результате проведения поисковых работ, в объеме литосферы определяют положение участков с аномальными (по отношению к кларковым) содержаниями тех или иных полезных компонентов [10]. На стадии общих поисков производится выделение, оконтуривание и геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов по категории P_3 . В результате дальнейшего поискового освоения перспективных территорий определяются прогнозные ресурсы категории P_2 . При этом их количество, в результате уточнения первичной информации, несколько уменьшается по отношению к категории P_3 . При дальнейшем развитии этих работ определяются ресурсы категории P_1 (рис. 3).



Рис. 3. Схема движения вещества литосферы в процессе освоения недр

Так же, как и в биологической системе, на этой стадии из литосферы за счет труда человека выделяется та ее часть, которая имеет потенциал использования на последующих стадиях движения литосферного вещества в техносфере.

В пределах установленных контуров прогнозных ресурсов, в основном категории P_1 , проводят комплекс разведочных работ, задачами которого становятся выявление месторождений и выяснение их промышленного значения. По содержанию полезных компонентов разведываемые запасы подразделяются на балансовые и забалансовые. Балансовые запасы, по увеличению дос-

товерности информации об их качестве, в свою очередь делятся на категории C_2 , C_1 , В, А. При этом количество запасов в каждой последующей категории по мере повышения качества и роста достоверности разведки уменьшается (рис. 3), так же как и в схеме функционирования биологической системы (см. рис. 2).

Специфика процесса освоения недр заключается в том, что между технологическими уровнями разведки и разработки месторождения существует промежуточный уровень, на котором в результате выполнения комплекса проектных работ производится идентификация месторождения как объекта разработки. На этом технологическом уровне в результате обоснования и выбора геотехнологических решений, а также оценки их возможностей по обеспечению полноты выемки геологические запасы трансформируются в запасы промышленные и эксплуатационные [11] (рис. 3).

В результате ведения добычных работ при разработке месторождения формируется следующий технологический уровень движения вещества, где производится добытая горная масса, состоящая из дезинтегрированного материала литосферы и включающая в себя рудную и породную массу. Рудная масса поступает на следующий уровень — первичную переработку, а породная остается и по аналогии с небиотическими загрязнениями биоты накапливается в отвалах. Наконец на стадии первичной переработки рудная масса разделяется на концентрат, который уходит для дальнейшего использования в другой технологической системе, и на отходы (хвосты) обогащения, которые так же, как и пустые породы, остаются на месте переработки в виде хранилищ различной конструкции. То есть на каждом технологическом уровне поступившее вещество литосферы делится на две части. Одна часть, несущая основное количество полезного компонента, переходит на более высокий уровень, а другая остается на прежнем уровне.

Так же, как и в биологической системе, вещество, проходящее на более высокий уровень, уменьшается по массе, а оставшееся вещество накапливается от уровня к уровню и формирует нарастающий объем отходов. Единственное отличие заключается в том, что “биологическая пирамида” функционирует за счет энергии Солнца, а “технологическая” — за счет труда Человека. В остальном качественная идентичность процессов совершенно очевидна. Это позволяет воспользоваться одним из фундаментальных положений гомеостатики о способах поддержания параметров взаимодействующих систем за счет управления противоречиями [12].

Биотическая и абиотическая части экосистемы связывает в единую систему непрерывный обмен материалом (кругооборот питательных веществ), энергию для которого поставляет Солнце. При освоении минеральных ресурсов недр Земли литосферная и техносферная части так же связываются в единую систему освоения недр непрерывным обменом веществом литосферы в виде кругооборота хозяйственно значимых компонентов и отходов за счет постоянного использования труда Человека.

Применительно к проблеме комплексного освоения недр все это показывает практически полное сходство структуры движения биологического и литосферного вещества в природных экосистемах и в системах освоения недр, что позволяет использовать для количественной оценки эффективности этих систем аналогичные по внутренней структуре выражения с заменой входящих в них показателей на соответствующие по смыслу целевые аналоги (табл. 2) [12].

По аналогии с текущим показателем экологической эффективности для каждого трофического уровня биологической системы эффективность использования вещества литосферы на различных этапах его движения в технической системе освоения недр можно оценить величиной локального (или текущего) коэффициента эффективности использования вещества литосферы $K_{эв}$, который представляет собой отношение количества вещества, которое было использовано для получения продукта, переходящего на следующий технологический уровень, к количеству вещества, поступившему с предыдущего уровня.

ТАБЛИЦА 2. Формирование целевых аналогов для методики количественной оценки эффективности использования вещества литосферы

Показатель для биологической системы	Целевой аналог для технической системы
Валовая биомасса продуцентов	Ресурсные запасы категории P_3
Чистая биомасса продуцентов	Ресурсные запасы категории P_1
Валовая биомасса консументов	Запасы балансовые и забалансовые
Чистая биомасса консументов	Балансовые запасы всех категорий
Первичная биомасса редуцентов	Добытая горная масса
Чистая биомасса редуцентов	Рудная масса
Валовая биомасса детритофагов	Конечная продукция и отходы первичной переработки
Чистая биомасса детритофагов	Конечная продукция первичной переработки

Согласно схеме, приведенной на рис. 3, основная задача этапа поисковых работ — обнаружение и предварительная оценка потенциальных аномалий концентрации полезных компонентов путем выполнения комплекса работ, обеспечивающих превращение металлогенического потенциала территории в прогнозные ресурсы категории P_3 и перевод этих ресурсов в более высокие категории P_2 и P_1 [10].

Показателем результативности стадии поисковых работ является оконтуривание перспективных разведочных участков и оценка их ресурсов по категории P_1 , подлежащих реализации в запасы при дальнейших геологоразведочных работах [10]. Поэтому поисковые работы стоит рассматривать как первый этап вовлечения вещества литосферы в хозяйственный оборот и как начало процесса комплексного освоения недр.

Локальный (текущий) коэффициент эффективности использования вещества литосферы определяется как отношение объема прогнозных ресурсов высшей категории P_1 к объему ресурсов категории P_3 :

$$K_{п.эф} = \frac{P_1}{P_3}, \text{ ед.}$$

Следующий этап развития процесса комплексного освоения недр — разведка месторождения, целью которой является определение количества и качества заключенного в месторождении полезного ископаемого. Завершающая операция разведки месторождения — подсчет запасов. По экономическому значению запасы подразделяются на балансовые (экономические) и забалансовые (потенциально экономические).

В соответствии с общей логикой построения, коэффициент эффективности использования вещества литосферы на этом технологическом уровне освоения недр $K_{гр.эф}$ может быть определен как отношение геологических запасов месторождения $\sum Z_{геол}$ к объему ресурсов категории P_1 :

$$K_{гр.эф} = \frac{\sum Z_{геол}}{P_1}.$$

В целом разведочные работы дают геологическую основу для последующего проектирования разработки месторождения в качестве следующего технологического уровня. На этом уровне в результате обоснования, выбора и учета особенностей применения технологических решений определяются эксплуатационные запасы месторождения [11], величина которых $\sum Z_{экс}$ является продуктом, переходящим на следующий технологический уровень:

$$\sum Z_{экс} = (\sum Z_{бал} - P_k)(1 - K_{ск}),$$

где Π_k — конструкционные потери для рассматриваемых условий разработки; $K_{ск}$ — коэффициент снижения качества за счет разубоживания полезного ископаемого при использовании проектных технологических решений. Так как обязательным элементом проектирования любого горнодобывающего предприятия для открытой или подземной разработки месторождения является решение вопроса о его вскрытии, то в состав исходного объема вещества литосферы необходимо кроме эксплуатационных запасов включить общий объем этих работ, выполняемых по вмещающим породам $V_{вс}$. Тогда коэффициент эффективности использования вещества литосферы $K_{п.эф}$ на этом уровне составит

$$K_{п.эф} = \frac{\sum Z_{экс} + V_{вп}}{\sum Z_{геол}} = \frac{(\sum Z_{бал} - \Pi_k)(1 - K_{ск}) + V_{вс}}{\sum Z_{геол}}.$$

Если проектом предусмотрена добыча забалансовых запасов с последующим их складированием на поверхности, то коэффициент $K_{п.эф}$ определяется по формуле

$$K'_{пр.эф} = \frac{(\sum Z_{геол} - \Pi_k)(1 - K_{ск}) + V_{вс}}{\sum Z_{геол}}.$$

Поскольку любое горное предприятие имеет ограниченный срок существования, а основной его характеристикой является годовая добыча руды, то для определения коэффициента эффективности использования вещества литосферы на этапе разработки месторождения и последующих этапах появляется методическая необходимость учета фактора времени через изменение размерности всех объемных показателей и использование их в годовом выражении.

На технологическом уровне разработки месторождения коэффициент эффективности использования вещества литосферы

$$K_{р.эф} = \frac{V_{рм} + V_{вс}}{\sum Z_{экс} + V_{вс}} = \frac{\sum Z_{экс}(1 - K_{п.э}) + V_{вс}}{\sum Z_{экс} + V_{вс}},$$

где $V_{рм}$ — количество добытой рудной массы; $K_{п.э}$ — коэффициент эксплуатационных потерь руды при используемой геотехнологии.

Если имеет место попутная добыча забалансовых руд, то это обстоятельство учитывается в приведенном выше выражении путем корректировки объема эксплуатационных запасов $\sum Z_{экс}$ на объем добытых забалансовых руд $\sum Z_{зб}$.

На следующем технологическом уровне — первичной переработки — происходит разделение общего потока вещества литосферы на рудную массу, поступающее обогащение и породную массу, складированную в отвалах. Породная масса на этом технологическом уровне становится самостоятельным ресурсом, который можно использовать либо в других технологических системах, либо в системе комплексного освоения недр. В любом случае коэффициент эффективности использования этой части вещества литосферы ($K_{д.эф}$) составит

$$K'_{пп.эф} = \frac{V_{пи}}{V_{рм} + V_{вс}},$$

где $V_{пи}$ — объем породы, нашедшей хозяйственное применение.

В процессе обогащения добытую рудную массу разделяют на концентрат, с которым основное количество полезного компонента уходит из системы освоения недр в другие технологические системы для дальнейшего хозяйственного использования, и на отходы переработки, которые остаются в системе комплексного освоения недр в виде хранилищ различных видов и конструкций. Коэффициент эффективности использования основного вещества литосферы $K'_{пп.эф}$, по аналогии со всеми предыдущими уровнями его движения, запишется в виде

$$K''_{\text{пп.эф}} = \frac{V_{\text{рм}} K_{\text{вк}}}{V_{\text{рм}} + V_{\text{вс}}},$$

где $K_{\text{вк}}$ — выход вещества в концентрат.

Точно так же, как и в случае с породами, отходы переработки можно считать вторичным ресурсом, который может быть использован в других технологических системах. Коэффициент эффективности использования этой части вещества литосферы $K'''_{\text{пп.эф}}$ находится из выражения

$$K'''_{\text{пп.эф}} = \frac{V_{\text{от.и}}}{V_{\text{рм}} + V_{\text{вс}}},$$

где $V_{\text{от.и}}$ — количество отходов первичной переработки, которое нашло применение в хозяйственной деятельности.

Общий коэффициент для рассматриваемого технологического уровня $K_{\text{пп.эф}}$ рассчитывается как сумма локальных коэффициентов:

$$K_{\text{пп.эф}} = K'_{\text{пп.эф}} + K''_{\text{пп.эф}} + K'''_{\text{пп.эф}}.$$

Согласно приведенным определениям, комплексное освоение недр предполагает максимальную полноту использования не только извлекаемого вещества литосферы, но и образующегося при этом выработанного пространства как вторичного техногенного ресурса [6]. Это означает, что в методику количественной оценки эффективности использования вещества литосферы при освоении месторождения необходимо включить показатель, отражающий степень использования вещества, не только извлеченного на поверхность, но и оставшегося в недрах, рассматривая его как вместилище техногенных пустот, которые могут быть использованы для решения тех или иных хозяйственных проблем. Так как общий объем выработанного пространства $V_{\text{вп}}$ равен объему добытой горной массы $V_{\text{гм}}$, то коэффициент полезного использования невынутого вещества литосферы $K_{\text{вл.эф}}$ определится как отношение

$$K_{\text{вл.эф}} = \frac{V_{\text{впх}}}{V_{\text{гм}}},$$

где $V_{\text{впх}}$ — объем выработанного пространства, использованного в хозяйственных целях, м³/год; $V_{\text{гм}}$ — общий объем горной массы, выданной на поверхность, м³/год.

При закладке выработанного пространства пустыми породами или хвостами обогащения заполненный таким образом объем этого пространства, а также размещенные в нем объемы хвостов или пород включаются в состав использованных в хозяйственных целях. В случае применения систем разработки с обрушением вмещающих пород весь объем, соответствующий объему выданной горной массы, также можно считать использованным в хозяйственных целях. В этом качестве он учитывается при определении соответствующих локальных коэффициентов.

Интегральный коэффициент использования вещества литосферы для месторождения в целом находится как сумма локальных коэффициентов, полученных для каждого технологического уровня (см. рис. 3):

$$K_{\text{вл.эф}} = K_{\text{п.эф}} + K_{\text{гр.эф}} + K_{\text{пр.эф}} + K_{\text{д.эф}} + K_{\text{пп.эф}} + K_{\text{вл.эф}}.$$

По величине общего коэффициента использования вещества литосферы можно определять уровень комплексного использования ресурсов недр для действующего горно-обогатительного предприятия, а также проводить сравнительный анализ вариантов, рассматриваемых на стадии проектирования.

ВЫВОДЫ

Постоянное увеличение темпов роста общественного потребления происходит исключительно на основе экстенсивных методов развития минерально-сырьевого комплекса, при которых количество отходов обычно соизмеримо с количеством добытого вещества литосферы, использованного в хозяйственных целях.

Единственным реальным средством вывода добывающей промышленности из состояния экстенсивного развития, приводящего в конечном итоге к опережающему росту объемов добычи всевозможных ресурсов из земных недр, является изменение парадигмы развития минерально-сырьевого комплекса и перехода от разработки месторождения полезных ископаемых к комплексному освоению недр.

Практически полная качественная идентичность структуры движения продуцированного вещества в природных экосистемах и добытого литосферного вещества в системах освоения недр позволяет применить фундаментальные положения гомеостатики и использовать для количественной оценки степени комплексного освоения недр выражения, аналогичные по своей внутренней структуре биологическим, но с полной заменой входящих в них показателей на соответствующие по смыслу целевые аналоги.

Предложенная методика количественной оценки степени комплексного освоения недр по величине общего коэффициента эффективности использования вещества литосферы обеспечивает возможность как текущего контроля за работой горно-обогатительного предприятия, так и сравнительного анализа вариантов при проведении проектных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Горные науки.** Освоение и сохранение недр Земли / под ред. К. Н. Трубецкого. — М.: Изд-во Академии горных наук, 1997.
2. **Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Бурцев Л. И.** Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. — М.: Науктехлитиздат, 2003.
3. **Экономика США в будущем** / под ред. В. И. Данилова-Данильяна. — М.: Прогресс, 1982.
4. **Мельников Н. В.** Проблемы комплексного использования минерального сырья // Горная наука и рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов. — М.: Наука, 1978.
5. **Агошков М. И.** Развитие идей и практики комплексного освоения недр. — М.: ИПКОН АН СССР, 1982.
6. **Трубецкой К. Н.** Развитие новых направлений в комплексном освоении недр. — М.: ИПКОН АН СССР, 1990.
7. **Бусленко Н. П., Калашников В. В., Коваленко И. Н.** Лекции по теории сложных систем. — М.: Наука, 1971.
8. **Реймерс Н. Ф.** Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). — М.: Изд-во Россия Молодая, 1994.
9. **Бродский А. К.** Общая экология: учебник для студентов вузов. — 2-е изд., стер. — М.: Изд. центр “Академия”, 2007.
10. **Авдонин В. В., Ручкин Г. В., Шатагин Н. Н., Лыгина Т. И., Мельников М. Е.** Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов / под ред. В. В. Авдониной. — М.: Академ. Проект; Фонд “Мир”, 2007.
11. **Городниченко В. И., Дмитриев А. П.** Основы горного дела. — М.: Горная книга, 2008.
12. **Чаплыгин Н. Н., Галченко Ю. П., Папичев В. И., Сабянин Г. В., Прошляков А. В.** Экологические проблемы геотехнологий: новые идеи, методы и решения. — М.: Науктехлитиздат, 2009.

Поступила в редакцию 10/VI 2014