

## **БАЗОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ВОСПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

**А.Е. Воробьев**

Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела  
Российский университет дружбы народов  
*Ул. Миклухо-Макля, 6, Москва, Россия, 117198*

Дана классификация методов воспроизводства минерального сырья, показаны основные проблемы и перспективы в отработке техногенного и забалансового минерального сырья и возможности на этой основе восполнения минерально-сырьевой базы.

В качестве основы совершенствования геотехнологий в настоящее время должен быть признан концепт воспроизводства. Ранее его использование сдерживалось как отсутствием потребности в воспроизводстве минеральных ресурсов, так и некоторой инерцией научного мышления.

Имеющиеся фундаментальные наработки в области традиционной геологии и горных наук позволяют создать теоретическую базу для ресурсовоспроизводящих геотехнологий.

Воспроизводство минеральных ресурсов, как и живых биологических объектов, основано на процессах миграции и концентрации вещества, рассеянного в некотором объеме, а также изменении его качества.

Для выработки оптимальной стратегии ресурсовоспроизводящих технологий в горнодобывающем комплексе целесообразно первоначально разработать классификацию базовых методов ресурсовоспроизводства минерального сырья.

В качестве классификационных признаков, наиболее существенных в данной области, автором приняты месторасположение объектов; источник энергии геохимических преобразований; тип активного агента; факторы, определяющие ресурсовоспроизводство и вид полезного ископаемого.

При классификации ресурсовоспроизводящих геотехнологий необходимо учитывать расположение минерального объекта (рис.).

Первоначально были разработаны технологии (1) для уже находящихся на земной поверхности техногенных минеральных объектов — отвалов металлосодержащих пород и складов некондиционных руд.

Металлосодержащую горную массу было предложено складировать таким образом, чтобы обеспечить возможность природного выщелачивания металлов из слоя металлосодержащих пород, миграции их с растворами и переосаждения в слое некондиционных руд. В результате концентрация металлов повышается до промышленных кондиций, тем самым техногенные минеральные объекты переходят в категорию техногенного месторождения.

В дальнейшем были разработаны ресурсовоспроизводящие технологии для минерального сырья, расположенного в гидросфере (2).

Характерным примером может служить способ создания техногенного месторождения в зоне приобья, где с течением времени под воздействием волн происходит разделение минералов, входящих в состав заскладированного труднорастворимого сырья, по плотности и, следовательно, по содержанию полезного компонента.

Наиболее существенным аспектом стратегии воспроизводства минерального сырья является осуществление процессов улучшения его качества непосредственно в недрах Земли, что исключает необходимость извлечения вмещающих пород и некондиционной горной массы при освоении месторождения.

В качестве классификационного признака ресурсовоспроизводящих геотехнологий также были приняты источники энергии геохимических преобразований.

Для большинства техногенных минеральных объектов, расположенных на земной поверхности, и части объектов гидросферы основными источниками такой энергии служат солнечное излучение; живое вещество; гравитационные силы; экзотермические реакции, происходящие в породах и минералах; природный электрический ток, возникающий при контакте горной массы с различным электродным потенциалом; радиоактивный распад нестабильных изотопов (урановая смола, коффинит и др.), а для объектов, расположенных в недрах Земли, — горное давление и внутрипластовая энергия, температура недр, электрический ток и радиоактивность.

Основная масса этих источников энергии для геотехнологий являются нетрадиционными и могут использоваться только при наличии определенных условий. Так, горное давление и внутрипластовая энергия могут быть эффективно использованы для перераспределения вещества (полезных или технологически вредных компонентов) только в случае размещения месторождений полезных ископаемых вблизи подземного водного потока. Соединив в цепь подземный поток и массив месторождения, можно полезно использовать гидродинамическую энергию для создания техногенного месторождения в недрах Земли.

Природный электрический ток, создаваемый при контакте пород с различным потенциалом, является переносчиком ионов и может быть использован для селективного перераспределения катионов и анионов ценных металлов в различные зоны техногенного минерального объекта (3).

Ресурсовоспроизводящие геотехнологии необходимо также подразделять в соответствии с типом активного агента, применяемого для улучшения качества минерального сырья. Им могут служить минеральные кислоты, щелочи, высокоактивные соли металлов или комплексные соединения, образующиеся непосредственно в породном массиве, или специально вводимые растворы реагентов (4).

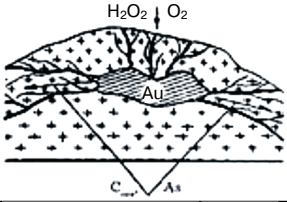
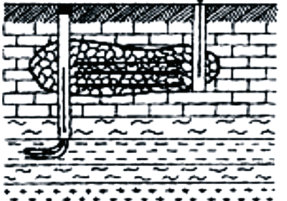
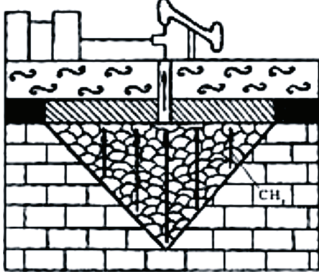
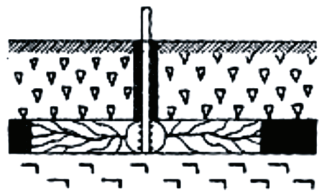
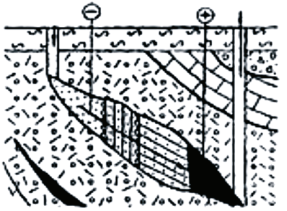

Поскольку процессы ресурсовоспроизводства имеют значительную продолжительность (достигающую нескольких десятков лет), природные химические реагенты предпочтительнее искусственных. Наиболее интенсивно они образуются при окислении сульфидов путем аэрирования (серная кислота), выщелачивания и обменной десорбции (сульфаты металлов) и т.д.

Расположение	Источник энергии преобразований	Тип активного агента	Определяющие факторы	Вид полезного ископаемого	Особенности ресурсо-воспроизводства	Иллюстрация осуществления метода	
На земной поверхности	Солнечная энергия	Химические соединения	Характеристика основного и сопутствующего полезного компонента	Металлы	Геометризация месторождений		
				Уголь	Подготовка забалансовых запасов к освоению		
	Энергия живого вещества	Живые организмы (бактерии, водоросли, грибы)	Характеристика вредных примесей	Горючие сланцы	Улучшение свойств полезных ископаемых	Физико-механических	
				Битум	Физико-химических		
В гидросфере	Силы гравитации	Живые организмы (бактерии, водоросли, грибы)	Характеристика месторождений полезных ископаемых	Асфальт	Химических		
				Нефть	Вскрытие тонкодисперсной минерализации		
	Горное давление и внутрипластовая энергия	Биохимические соединения	Рельеф местности	Нефть	Вскрытие тонкодисперсной минерализации		












Рис. Схемы воспроизводства

- Горные породы:
- почва; — источник воды; — мелкодробленые руды; — скважина; — заглушка
- тектонические нарушения (разлом); — руда; — рудное тело; — дегазированный минеральный объект; — техногенное месторождение; — обогащаемый слой; — вода; —
- ионный комплекс; — знак электродного потенциала; — перфорированная труба и полость; —

Продолжение

Расположение	Источник энергии преобразований	Тип активного агента	Определяющие факторы	Вид полезного ископаемого	Особенности ресурсо-воспроизводства	Иллюстрация осуществления метода
В гидросфере	Горное давление и внутрипластовая энергия	Биохимические соединения	Рельеф местности	Нефть	Окисление органического вещества	
				Горючий газ	Удаление вредных примесей	
В недрах	Температура недр и экзотермические реакции	Электроны и ионы	Климат	Химическое сырье	Перераспределение полезного компонента	
				Строительные материалы	Образование полезного компонента	
	Природный электрический ток	Электромагнитное и радиоактивное излучение	Геохимия окружающей среды	Облицовочный камень	Метаморфические превращения полезного компонента	
				Минеральные воды	Ядерные превращения полезного компонента	

минерального сырья:

-  скважины; 
  — крупнодробленая руда; 
  — угольный пласт; 
  — направление миграции; 
  — экран; 
  — трещины; 
  — выщелачиваемый слой; 
  — техногенный — зональность рудного тела; 
  — антифильтрационный слой; 
  — поверхностный газодобывающий участок; 
  — радиоактивное излучение

Различные группы микроорганизмов (бактерии, грибы и водоросли) также целесообразно использовать для улучшения качества минерального сырья (5). Их роль заключается в обеспечении не только необходимой скорости и степени растворения и последующего осаждения химических элементов, но и благоприятных условий для их миграции. Последнее достигается изменением кислотно-щелочных свойств среды и ее окислительно-восстановительного потенциала, переводом соединений в легкомигрирующую форму — коллоиды, хелатокомплексы и т.д.

При использовании микроорганизмов в качестве активных агентов необходимо создать благоприятные условия для их существования. Для этого целесообразно использовать или различные автотрофные микроорганизмы (получающие все необходимые им вещества непосредственно из минерального сырья) или заранее закладывать в массив питательные и поддерживающие жизнь смеси.

Что касается использования электрического тока, то его участие в ресурсовоспроизводящих процессах не ограничивается лишь транспортированием заряженных частиц. Во-первых, электрический ток изменяет свойства горных пород и минералов (диэлектрическую проницаемость, поляризуемость и т.д.). Во-вторых, он изменяет свойства природных вод (образуются анолиты с кислотными свойствами и католиты — со щелочными). В результате обрабатываемая система становится более реакционноспособной.

Не менее важным обстоятельством при использовании электрического тока в ресурсовоспроизводящих геотехнологиях является то, что в основе всех окислительно-восстановительных реакций выщелачивания и осаждения элементов лежит обмен электронами, а электрический ток как раз и служит непосредственным носителем и поставщиком электронов. Следовательно, электрический ток необходимо использовать более широко, в частности в качестве химического агента (6).

Основные факторы, определяющие условия использования ресурсовоспроизводящих геотехнологий, подразделяются на две большие группы: внутренние свойства компонентов и внешние характеристики (рельеф местности, климат, геохимия окружающей среды и техногенез). Если внутренние факторы характеризуют возможности осуществления геохимических процессов, направленных на преобразование качества горной массы, то внешние обеспечивают условия для их протекания (7).

Рельеф местности оказывает существенное влияние на тип процессов ресурсовоспроизводства и скорость их протекания. Например, в гористой местности наиболее целесообразно использовать имеющиеся перепады высот. Отсыпка металлосодержащей горной массы на наклонную плоскость протяженностью 100—500 м обеспечивает ее сегрегацию по крупности и, соответственно, по содержанию металлов с разделением на зоны техногенных мелкодробленых руд и крупнодробленых пород.

В подобных условиях целесообразно также производить перераспределение труднорастворимых металлов (золотин) путем воздействия водного потока, про-

пускаемого через отсыпанный на горном склоне отвал, с их последующим осаждением в зоне некондиционных руд, расположенной на прилегающем горизонтальном участке земной поверхности.

Климат (глобальный, региональный, микроклимат) также определяет условия ресурсовоспроизводства: в местности с сухим аридным климатом осаждение перераспределяемых химических элементов возможно на испарительном, в северных районах — на температурном геохимическом барьере и т.д.

Вид полезного ископаемого также имеет определяющее значение. В ресурсовоспроизводящих геотехнологиях наиболее полно изучено поведение цветных и благородных металлов.

Некондиционные уголь, горючие сланцы, битум, асфальт, нефть, горючий газ, горно-химическое сырье, строительные материалы, облицовочный камень и минеральные воды также могут быть облагорожены и переведены в категорию техногенного минерального сырья. Например, техногенная залежь метана в предварительно промышленно дегазированном угольном пласте может быть образована как вследствие перераспределения газа из техногенно нарушенных вмещающих пород (где метан содержится в концентрациях 3—5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>), так и путем его образования микробиологическим методом.

Ресурсовоспроизводящие геотехнологии позволили создать ряд принципиально новых способов улучшения качества природного и техногенного минерального сырья (8).

Одной из особенностей ресурсовоспроизводства является геометризация и подготовка забалансовых запасов к освоению. Например, при разработке открытым способом Лебединского железорудного месторождения вскрываются нижележащие запасы карбонатов, по всем показателям относимых к забалансовым. А так как категория (запасы) является экономико-технологической характеристикой, то попутное рациональное вскрытие и подготовка карбонатов к обработке способствует их переводу из разряда забалансовых в балансовые запасы.

Целенаправленное улучшение физико-механических и химических свойств полезных ископаемых достигается в результате изменения таких характеристик, как пористость, плотность, цвет, химический состав, валентность, вид связи элементов и др. Например, если количество ионов перераспределяемой меди в растворах по отношению к количеству ионов FeSO<sub>3</sub><sup>+</sup> составляет менее 0,65%, то техногенное рудообразование происходит в рыхлом состоянии.

Подобный рыхлый осадок образуется и при наличии в медьсодержащих водах ионов кремниевой кислоты. Наоборот, в более плотном состоянии техногенное рудообразование происходит при наличии в водах ионов Mg<sup>2+</sup> или Al<sup>3+</sup>.

Ресурсовоспроизводство может быть основано и на обеспечении процессов природного вскрытия тонкодисперсной минерализации. Например, в России около трети рудных месторождений золота характеризуется тонкодисперсной вкрап-

ленностью золотин. Значительная часть этих месторождений из-за отсутствия эффективной технологии переработки подобного сырья относится к резервным. Поэтому технологии, позволяющие с течением времени (под действием природных химических агентов, естественного электрического тока, физического выветривания и т.д.) обеспечить хотя бы частичное вскрытие руд для последующего их выщелачивания, следует отнести к классу ресурсовоспроизводящих.

Наряду с тонкодисперсными рудами значительную часть резервных месторождений России слагают золотосодержащие руды с повышенным содержанием органического вещества (углистые и др. руды) и технологически вредных примесей (мышьяка, меди, сурьмы и т.д.).

Технологии, позволяющие снизить содержание нежелательных примесей в минеральном сырье, также необходимо отнести к классу ресурсовоспроизводящих. Ядерные превращения, происходящие под действием ионизирующей радиации или продуктов ядерного деления урана и других природных радиоактивных элементов при совместном хранении многосортной горной массы, в настоящее время имеют в большей степени теоретический, нежели промышленный интерес. Более реально использовать различные радиоактивные эффекты для метаморфического изменения, например, углей, битумов, нефти и т.д. (9), что тоже дает основание для отнесения подобных технологий к ресурсовоспроизводящим.

#### ПРИМЕЧАНИЯ

- (1) Авторские свидетельства СССР и патенты РФ на изобретения: 1774015, 1774016, 1779751, 1789699, 1825012, 1832152, 1832153, 2009321. Эти и последующие технологии запатентованы автором.
- (2) Авторские свидетельства СССР и патенты РФ на изобретения: 16922278, 1717818, 1717820, 1724872, 1774012, 1779749, 1813905, 2002949, 2002957, 2027855, 2054548.
- (3) Авторские свидетельства СССР и патенты РФ на изобретения: 1723329, 1778305, 1779750, 1789690, 1792545, 1825013, 2002950, 2047770, 2053349.
- (4) Авторские свидетельства СССР и патенты РФ на изобретения: 1774017, 1818468, 1825668, 2002951, 2002948, 2002952, 2002953, 2002954, 2002958, 2002959, 2017964, 2017966, 2042819, 2054804, 2055204, 2062877, 2066759.
- (5) Авторские свидетельства СССР и патенты РФ на изобретения: 1717819, 1751326, 2013551, 2042820.
- (6) Авторские свидетельства СССР и патенты РФ на изобретения: 1802122, 2058483, 2059822, 2060391, 2068093.
- (7) Авторские свидетельства СССР и патенты РФ на изобретения: 1730454, 1742482, 1712628, 1730453, 2059820, 2059821, 2065048, 2061866, 2062878, 2065048.
- (8) Авторские свидетельства СССР и патенты РФ на изобретения: 2052116, 2065051, 2065052, 95104679, 96107711.
- (9) Авторские свидетельства СССР и патенты РФ на изобретения: 2002956, 2015333, 2019699, 2032073, 2035591, 2057936, 5015990, 93006278.

## **THE BASE CLASSIFICATION OF THE METHODS OF REPRODUCTION OF MINERAL RAW MATERIAL**

**A.E. Vorobiev**

Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklay str., 6, Moscow, Russia, 117198*

Classification of methods of reproduction of mineral raw material is given, the basic problems and prospects in working off technogenic and non-commercial mineral raw material and an opportunity on this basis of completion of a mineral resources base are shown.

**Воробьев А.Е.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела Российского университета дружбы народов, полковник Госгортехнадзора, автор более 700 публикаций в области горного и нефтяного дела, геоэкологии и экономики

