

## КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ

Разработка классификационной многофакторной модели – это создание обобщенного образа детально изученного объекта (группы однородных объектов) на основе выявления и исследования взаимосвязанных геологических и технико-экономических параметров. Хибинские месторождения представляют эталонный объект для моделирования в связи с большим диапазоном качественных и количественных классификационных признаков – условий рудообразования, масштабов запасов и качества руд, морфологической индивидуальности залежей в зависимости от рудовмещающей среды, степени изученности и промышленной освоенности месторождений. В статье рассматривается пакет классификационных систем руд, рудных тел и месторождений хибинского типа.

Хибинские месторождения занимают ведущее место в отечественной сырьевой базе (более 50 %) и добыче фосфатных (75 %) и нефелиновых (30 %) руд. Анализ состояния и перспектив развития этих отраслей показывает, что приоритетное положение Хибин как надежного сырьевого источника сохранится и в будущем, что подтверждается благоприятным сочетанием ряда факторов: весьма крупными масштабами освоенных и резервных месторождений, высоким качеством и комплексным составом легкообогащаемых руд, сравнительно удобными условиями разработки и выгодным размещением по отношению к потребителям.

Различная степень изученности Хибинских месторождений до недавнего времени значительно затрудняла разработку моделей из-за невозможности соблюдения условий аналогии (подобия) отдельных объектов и присущих им признаков. Ныне все месторождения детально разведаны, большая их часть длительное время разрабатывается, что обеспечивает достаточную информационную базу для моделирования.

Генетическая классификация учитывает специфику минерального состава ранне- и позднемагматических апатит-нефелиновых руд, внутри- и пострудных брекчий, возникших на последовательных этапах рудообразования. Минералого-химическая классификация основана на анализе тесных корреляционных связей между главными рудообразующими минералами и содержащимися в них основными и попутными полезными компонентами, успешно реализованная при комплексной переоценке запасов.

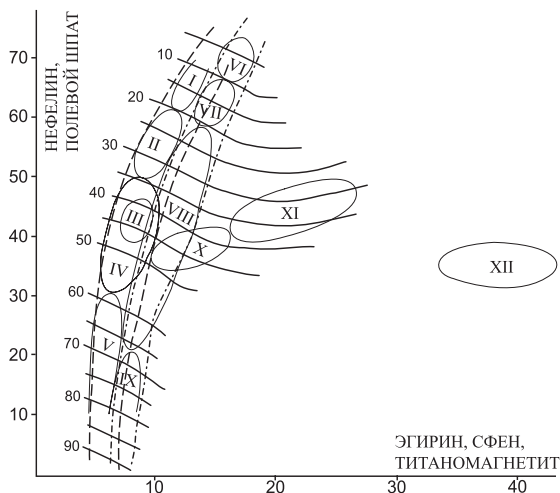


Рис. 1. Диаграмма минерального состава генетических и природных типов руд (римские цифры соответствуют таблице 1).

Структурно-морфологическая классификация апатитовых залежей, слагающих месторождения простого и сложного (1 – 3 группы) строения, определяет принадлежность их к рудоконтролирующим структурам, многоярусность оруденения, характер взаимоотношений с рудовмещающими породами, наличие-отсутствие связи с подводящим каналом.

Геолого-промышленная классификация основана на различии месторождений по масштабам запасов, качеству руд и степени их подготовленности для освоения. Она позволяет объективно учитывать изменения в оценке месторождений, возникающие при добыче, разведке или переоценке (погашение-прирост запасов, изменение качества).

Геолого-экономическая модель месторождений базируется на денежной оценке как функции от количества и качества запасов, технико-экономических показателей горного и обогащенного производств и может быть использована при оценке любых видов минерального сырья.

### Генетическая классификация руд

Комплексные апатит-нефелиновые руды представляют эндемичную минеральную ассоциацию апатита, нефелина, сфена, титаномагнетита и эгирина, не имеющую аналогов в мире. Не случайно поэтому типизация руд разрабатывалась и совершенствовалась только применительно к Хибинам и не могла быть заимствована или распространена на другие объекты.

В рудничной практике по текстурным признакам выделяются пятнистые, пятнисто- и линзовидно-полосчатые, крупно- и мелкоблочные, сетчатые руды, апатитовая брекчия с уртитовым или ийолитовым цементом, сфен-apatитовые руды. Эта классификация имеет описательный характер, не включает количественных признаков для однозначной диагностики. Обычно в каждом типе руд сочетаются текстурные элементы (пятна, линзы, блоки), присущие другим типам, поэтому их визуальная диагностика достаточно субъективна.

Рудообразующий апатит представлен двумя генетическими генерациями. Раннемагматический апатит-1 слагает основную массу пятнистых, линзовидно-полосчатых, блоковых и сетчатых руд. Позднемагматический апатит-2 развивается по нефелину и образует неравномерную вкрапленность, прожилково-гнездовые агрегаты в уртите, в цементе рудной брекчии. Апатит-2 диагностируется как визуально (по формам развития, зернистости, цвету), так и по химическому составу (повышенному содержанию стронция, редких земель).

В связи с широкими масштабами развития апатита-2 (вплоть до образования мономинеральных агрегатов) внесены дополнения в номенклатуру природных типов руд. По содержанию  $P_2O_5$  выделяются: уртиты с апатитом (2 – 4 %); апатитовые уртиты (4 – 8 %), массивные (8 – 24 %) и сплошные (более 24 %) апатитовые руды, образующие непрерывную серию позднемагматических руд, Рис. 1. По прежним кондициям (бортовое содержание более 8-12%  $P_2O_5$ ) руды с апатитом-2 имели ограниченное распространение в объёме запасов и относились к забалансовым. С учетом новых требований к балансовым рудам (борт  $P_2O_5$  4 %) их доля увеличилась до 15 – 35 %.

Брекчиевые руды по составу цемента подразделяются на две группы: внутриформационная брекчия с уртитовым цементом и ксенолитами раннемагматических руд (брекчия коашвинского типа) и пострудная брекчия с ийолитовым цементом и с ксенолитами как ранне-, так и позднемагматических руд (брекчия ньоркпахкского типа).

В кровле рудных тел залегают сфен-apatитовые руды, характеризующиеся тесным парагенезисом (%) сфена (10–50), апатита (10–40), титаномагнетита (5–10) и ильменита (3–5) с нефелином (20–40) и эгирином (15–25), крайней структурной неоднородностью и пространственно-генетической связью с пострудными ийолитами. Многие геологи указывают на поисковое значение “сфеновой зоны” (Вировлянский и др., 1963). Обсуждая вопрос о структурном контроле и природе сфеновой минерализации, необходимо учитывать надёжно установленные факты:

а) сфеновая зона приурочена только к той части рудных тел, которая перекрыта пострудными ийолитами, и отсутствует там, где кровля представлена дорудными вмещающими породами; б) в многоярусных рудных зонах (Коашва, Ньоркпахк) сфеновая зона размещается только в кровле верхних апатитовых залежей и не ассоциирует с рудными телами, находящимися внутри многоярусной зоны; в) в ксенолитах пострудных брекчий ньоркпахкского типа представлены все типы руд за исключением сфено-apatитовых; г) ассоциация Ti-содержащих минералов с апатитом закономерно приурочена к эндоконтактам интрузивных комплексов массива (хибинитам, лявочорритам и др.) вне зависимости от состава вмещающих пород.

Поэтому приуроченность сфеновой зоны к кровле рудных тел не является ни необходимым, ни достаточным критерием для поисков скрытых залежей, но служит косвен-

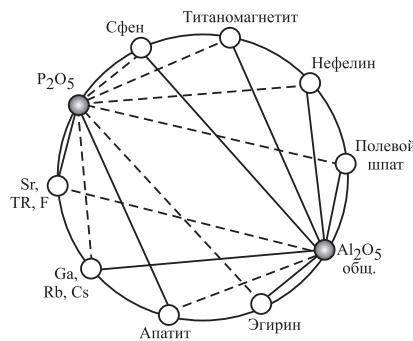


Рис. 2. Схема корреляционных связей между минералами и основными компонентами апатито-нефелиновых руд. Линии: сплошные - прямые связи, пунктирные - обратные связи; толщина линий: жирные - сильные связи ( $r > 0,6$ ), обычные - слабые связи ( $r < 0,6$ ).

ным положительным признаком.

Сфен-apatитовые руды, ранне- и позднемагматические апатит-нефелиновые руды, брекчии коашвинского и ньоркпахкского типов обособились на диаграмме минерального состава, связывающей содержание апатита (в изолиниях через 5 %) с соотношением сумм нефелин + полевой шпат и эгирин + сфен + титаномагнетит. На диаграмме руды с апатитом 1-й и 2-й генераций образуют параллельные серии: повышенное содержание Ti-минералов в позднемагматических рудах при одинаковом содержании апатита связано с замещением нефелина апатитом-2.

Все генетические группы и природные типы руд в разном соотношении представлены на каждом месторождении, однако их распространённость меняется по простиранию и, особенно, по падению апатитовых залежей. На месторождениях Юго-Западного рудного поля (Юкспор, Кукисвумчорр, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр) внутреннее строение залежей зональное: от кровли к подошве сфен-apatитовые руды сменяются пятнистыми, линзовидно-полосчатыми с маркирующим прослоем блоковых, сетчатыми, массивными рудами, апатитовыми уртитам.

Первичная зональность нарушается жильными телами рудной брекчии. На месторождениях Юго-Восточного рудного поля (Коашва, Ньоркпахк, Олений Ручей) зональность нарушена поздними инъекциями ийолит-уртитов, но проявляется при палеоструктурных реконструкциях (Каменев, 1975).

Наряду с первичной месторождений зональностью, обусловленной упорядоченным размещением природных типов руд в разрезе залежей, на всех месторождениях отчетливо выражена тенденция к снижению интенсивности оруденения (мощности, содержания  $P_2O_5$ ) по падению, т.е. от апикальной к корневой зоне, вследствие чего концентрация запасов сокращается на 30-40 отн. % на 100 м глубины (Каменев, 1999). Выявленные закономерности пространственного размещения генетических групп и природных типов руд в целом по всем месторождениям и каждого отдельно являются отражением их вещественной и структурной зональности.

### Минералого-химическая классификация руд

Руды хибинских месторождения – комплексное минеральное сырьё. В их составе кроме основных компонентов (P и Al) концентрируются попутные полезные компоненты: Sr, PЗМ и F – в апатите, Ga, Rb и Cs – в нефелине, Ti – в сфене и титаномагнетите. Однако в ранние периоды разведки (1930 – 1970 годы) руды анализировались только на основные компоненты.

Генетические группы	Природные типы руд
5 группа. Сфен-apatитовые руды, генетически связанные с интрузией пострудных ийолитов	Существенно сфеновые, сфен-apatитовые, сфен-титаномагнетитовые руды (XII)
4 группа. Пострудная брекчия с ийолитовым цементом и ксенолитами ранне- и позднемагматических руд (ньоркпахкский тип)	Выделяется несколько морфологических типов по соотношению объёмов ксенолитов и цемента (XI)
3 группа. Позднемагматические руды с апатитом-2	Сплошные (IX), массивные (VIII) руды, апатитовые уртиты (VII), уртиты с апатитом (VI)
2 группа. Внутриформационная брекчия с уртитовым цементом и с ксенолитами раннемагматических руд (коашвинский тип)	Выделяется несколько морфологических типов по соотношению объёмов ксенолитов и цемента (X)
1 группа. Раннемагматические руды с апатитом-1	Пятнистые (V), линзовидно-полосчатые (IV), блоковые (III), сетчатые (II) и уртиты с апатитом (I)

Табл. 1. Генетическая классификация природных типов руд. Римские цифры соответствуют полям составов руд (Рис. 1).



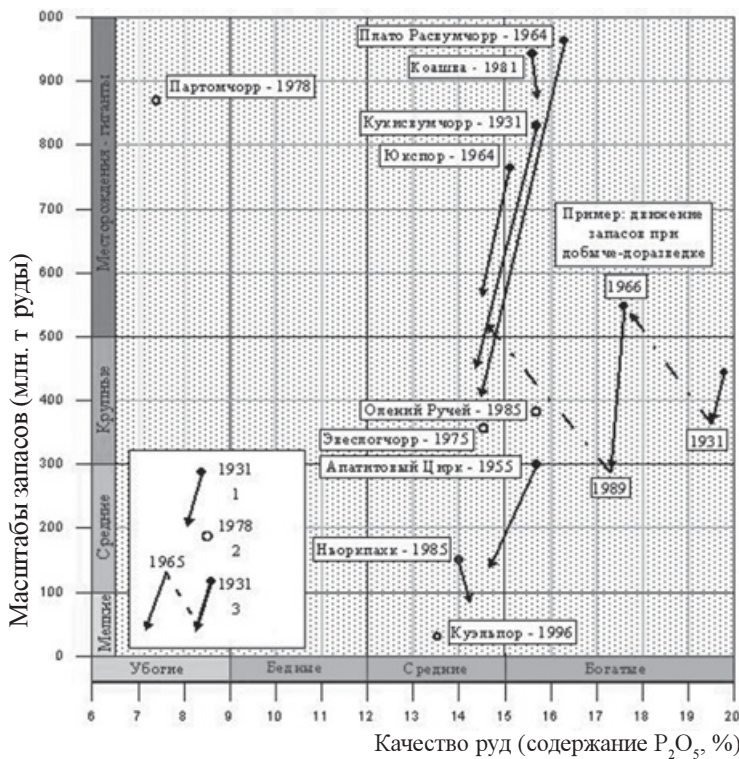


Рис. 3. Группировка Хибинских месторождений в системе «запасы-качество руд» за период их разведки (переоценки) и освоения (по состоянию на 01.01.2000г.). Месторождения: 1 - разрабатываемые (год - начало освоения); 2 - резервные (год - завершение); 3 - движение запасов в результате разведки добычи - доразведки (переоценки) - добычи (м-е Кукисвумчорр).

С целью восполнения отсутствующей информации автором разработана методика оценки содержания минералов и компонентов в рудах по корреляционным зависимостям с известными (базовыми) данными анализов на  $P_2O_5$  и  $Al_2O_3$ .

Сущность методики заключается в следующем: а) выявление корреляционных связей между известными содержаниями  $P_2O_5$  и  $Al_2O_3$  (базовые признаки) и минералами и популярными полезными компонентами (зависимые признаки) на совокупностях эталонных проб, представляющих все типы руд и внутрирудных пород (Рис. 2); б) создание минералого-статистических моделей по всем типам руд и по классам содержания  $P_2O_5$  на основе математической обработки результатов минералогических и химических анализов эталонных проб, представляющих каждое месторождение в отдельности; в) количественная оценка содержания минералов и компонентов для восполнения отсутствующих данных.

Принимая за базовые признаки содержания  $P_2O_5$  и  $Al_2O_3$ , т.е. компоненты апатита и нефелина, математическую модель связи базовых и зависимых признаков можно описать уравнением вида:

$$C = a_0 + a_1 P_2O_5 + a_2 Al_2O_3,$$

где C – содержание зависимого признака (минерала, компонента), %;  $P_2O_5$  и  $Al_2O_3$  – содержания базовых признаков, %;  $a_0, a_1, a_2$  – коэффициенты линейной регрессии.

Набор программ обеспечивает обработку статистических выборок для каждого типа руд и пород, а при необходимости и по классам содержания любого признака. Программа обработки эталонных проб предусматривает создание математической модели выделенной совокупности типов руд и пород, включающей статистические параметры: среднее содержание признака, дисперсию, коэффициент вариации, доверительный интервал, матрицы коэффициентов парной корреляции, уравнения парной и множественной линейной регрессии для заданных признаков, коэффициенты множественной корреляции.

Внедрение методики в практику коренной комплексной переоценки эксплуатируемых месторождений позволило получить крупный экономический эффект. Области применения нового метода: коренная комплексная геолого-экономическая переоценка запасов ранее разведанных месторождений, подсчет запасов комплексных руд при разведке новых месторождений, планирование и учет добычи и переработки руд на рудниках и обогатительных фабриках, прогнозирование минерального и химического составов руд перспективной добычи на заранее заданный период, прямые и обратные химико-минералогические пересчеты составов апатитовых руд.

### Структурно-морфологическая классификация месторождений

Существующие общие классификации месторождений апатита базируются на различных принципах, но ни одна из них не основана на анализе условий образования, морфологии, внутреннего строения месторождений и составляющих их рудных тел. В связи с отсутствием аналогов,

		Рудные тела в структурах:				
Структурные характеристики		течения	расслоенных комплексов	последовательных инъекций		
Морфологический тип		Многоярусные рудные зоны	Рудные залежи	Многоярусные рудные зоны		
Характер контактов с вмещающими породами		Полосчатые ассоциации	Постепенные переходы		Интрузивные контакты	
Наличие связи с рудоподводящим каналом		Срезанные поздними интрузиями			«пассивные»	«активные»
Отношение к первоначальному залеганию		Корневые			Бескорневые	Корневые
		Несмещённые (in situ)				
Размеры месторождений (масштаб запасов, млн. т руды)	Месторождения-гиганты (>500)	Лявочорр-Валепахкская рудная зона	Юкспор	Партомчорр	Коашва	-
	Крупные (500-300)	-	Кукисвумчорр, Плато Расвумчорр, Эвслогчорр	-	-	Олений Ручей
	Средние (300-100)	Вуоннемиок	Апатитовый Цирк	-	-	-
	Мелкие (<100)	-	-	-	Ньюрпахк Куэльпор	Снежный Цирк
Степень сложности геологического строения		1 группа (по классификации ГКЗ)		2 группа	3 группа	
		Увеличение степени сложности →				

Табл. 2. Структурно-морфологическая классификация хибинских апатитовых месторождений.

хибинские месторождения во всех общих классификациях образуют отдельную группу (класс, тип) без более дробных подразделений (Соколов, 1984; Файзуллин и Панских, 1984). Вместе с тем, они различаются между собой многообразием морфологических типов залежей, зональностью, масштабами оруденения и характером взаимоотношений руд с вмещающими породами.

Пространственно-генетическая ассоциация «руда-уртит», одинаковый набор и соизмеримая распространённость природных типов руд, широкое развитие внутри- и пострудных брекчий, позднемагматической апатитизации и приуроченность к главной рудоконтролирующей структуре – эти признаки, присущие всем месторождениям Хибин, являются следствием общности их условий образования.

Различия в структурной организации месторождений отражают многоэтапный механизм рудообразования и рудоотложения в процессе поступления фосфатно-силикатного расплава по подводящему каналу в рудовмещающую камеру. Большая подвижность фосфатного расплава по сравнению с силикатной частью обусловила опережение фронта его поступления, концентрацию рудного вещества во фронтальной зоне, раннюю его кристаллизацию. Контрастное разделение вещества на фосфатную и силикатную части возрастает в направлении от корневой к апикальной зоне, где происходило рудоотложение. Интенсивность оруденения (мощность, концентрация фосфора) последовательно возрастает снизу-вверх.

В том же направлении увеличивается временной интервал между внедрением и кристаллизацией руд и уртитов, следствием чего является кажущаяся противоречивость их возрастных взаимоотношений: широкое развитие апатитовых брекчий в апикальной части, совместное нахождение брекчий и полосчатых ассоциаций «руда-уртит» на промежуточном уровне и вкрапленная апатитовая минерализация уртитов в корневой части.

При разработке классификации в качестве основных (существенных) признаков приняты условия локализации апатитовых залежей в рудовмещающих структурах течения, расслоения и последовательных инъекций, в качестве производных (зависимых) – морфологические особенности месторождений (табл. 2).

К рудным телам в структурах течения относится Лявочорр-Валепакская зона, представляющая новый в Хибинах морфологический тип оруденения: апатитовая минерализация (10–15 %) в ийолитах локализуется в виде повторяющихся в разрезе слоев. В отдельных пунктах протяженной продуктивной зоны меняется количество (1–3) рудных прослоев, их суммарная мощность (10 – 120 м) и структурное положение в разрезе. Рудные тела в структурах расслоения представлены крупными апатитовыми залежами Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Эвеслогчорр и Партомчорр. В структурах последовательных инъекций пострудных ийолит-уртитов сформировались многоярусные рудные зоны месторождений Коашва, Ньюркапхк и Олений Ручей.

**Морфологический тип оруденения.** По этому признаку месторождения разделяются на два подтипа: а) рудные залежи большой протяженности и мощности простого строения с зональным распределением природных типов руд (Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Эвеслогчорр); б) многоярусные рудные зоны, в которых сосредоточено от 3 до 10 рудных тел, возникших в ре-

зультате магматической дифференциации (Лявочорр-Валепакх, Партомчорр), поздних внедрений ийолит-уртитов в первоначальную рудную залежь (Коашва, Ньюркапхк) или инъекций фосфатного расплава во вмещающие породы (Олений Ручей).

По характеру контактовых взаимоотношений с вмещающими породами рудные тела разделяются на три подтипа. а) Связанные зонами постепенных взаимопереходов (Кукисвумчорр, Юкспор, Расвумчорр) или переслаивающиеся с уртитам (Партомчорр) и с ийолитами (Валепакх-Лявочорр). Этот подтип соответствует рудным телам в структурах течения и расслоенных комплексов.

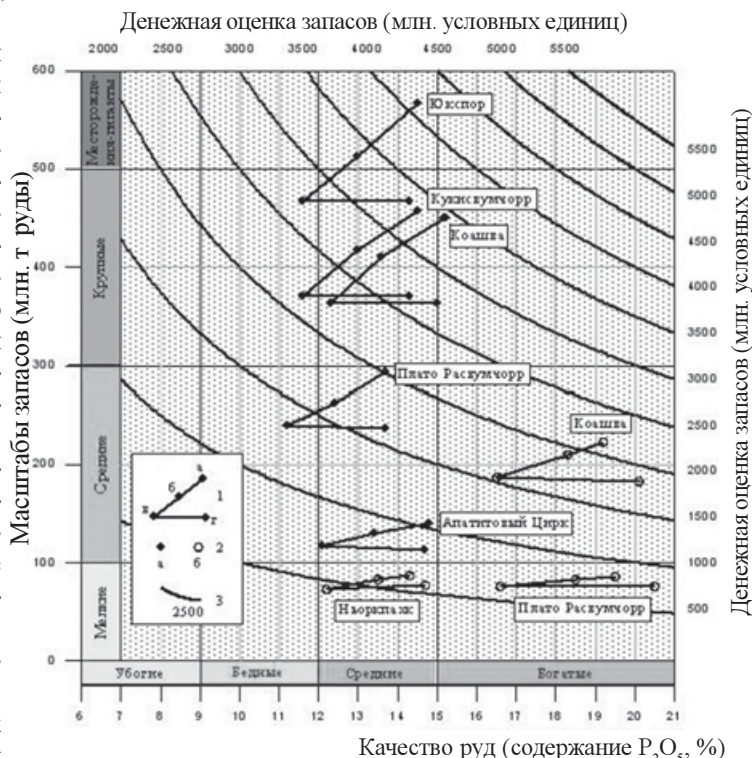


Рис. 4. Изменения денежной оценки запасов апатито-нефелиновых руд эксплуатируемых месторождений (по состоянию на 1.01.2000) в результате обогащения запасов при добыче. С учетом перспектив их комплексного использования: 1 – Денежная оценка запасов: а – запасы в недрах; б – запасы добытые (с учетом потерь), в – перерабатываемые запасы с учетом извлечения; г – те же с учетом уровня комплексного использования; 2 – запасы подлежащие подземной (а) и открытой (б) добыче; 3 – изоконтур равной стоимости запасов.

б) Имеющие «пассивные» контакты с вмещающими, более поздними по отношению к оруденению породами, т.е. такие внешние границы, которые присущи не самому рудному телу, а образованы поздними инъекциями уртитов (Коашва) или ийолитов (Ньюркапхк). Рудные залежи представляют собой фрагменты (отторженцы, останцы) ранее сформированных мощных рудных тел, нарушенных поздними внедрениями. Их внутренняя структура автономна по отношению к внешним границам.

в) Имеющие «активные» контакты с вмещающими, более ранними по времени образования породами (Снежный Цирк, Олений Ручей). Форма рудных тел жилеобразная, внутренняя структура (расслоенность) сопряжена с внешними, «активными» контактами.

По наличию связи с рудоподводящим каналом различаются: а) корневые рудные тела, имеющие непосредственную



Масштаб запасов (млн. т руды)	Качество руд (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %)	Подготовленность для освоения	
		Разрабатываемые	Резервные
Уникальные (месторождения – гиганты) 500 – 1000 млн. т	Богатые	<b>Коашвинское</b>	–
	Рядовые	<b>Юкспорское</b> <i>Вятско-Камское</i>	–
	Убогие	–	<b>Партомчорское</b> Селигдарское Ошурковское
Крупные 300 – 500 млн. т	Богатые	–	<b>Олений Ручей</b>
	Рядовые	<b>Плато Расвумчорр</b> <b>Кукисвумчорское</b>	<b>Эвслогчорское</b>
	Убогие	Ковдорское (АМР)	Белозиминское
Средние 100 – 300 млн. т	Богатые	–	–
	Рядовые	<b>Апатитовый Цирк</b> <b>Ньоркпахское</b>	–
	Убогие	<i>Егорьевское</i> Волковское <i>Кингисепское</i>	Кручининское
Мелкие (менее 100 млн. т)	Богатые	–	Ковдор (АШР)
	Рядовые	Ковдорское (АБР)	<b>Кузьпорское</b>
	Убогие	<i>Полнинское</i>	Татарское

Табл. 3. Геолого-промышленная классификация месторождений апатитов и фосфоритов России (по состоянию на начало 2000 г.).

связь с рудообразующим глубинным источником; б) бескорневые рудные тела в структурах инъекций в «слепом» залегании, пространственно изолированные в окружающем субстрате; в) рудные тела, «срезанные» по падению поздними крутопадающими интрузиями лавочорритов, пострудных ийолитов.

По отношению к первоначальному залеганию выделяются: а) рудные тела, несмещённые относительно места рудоотложения (расслоение при дифференциации или инъекции фосфатного расплава); б) рудные тела, смещённые в результате пострудных инъекций. В зависимости от амплитуды перемещения выделяются частично смещённые (I и II горизонты Коашвы) и смещённые на значительную величину (III и IV горизонты, брекчиевые залежи Ньоркпахка);

По размерам (масштабам запасов, млн т руды) подразделяются на месторождения-гиганты (более 500), крупные (500 – 300), средние (300 – 100) и мелкие (до 100); по качеству руд (содержанию P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, %) на богатые (более 15), рядовые (12 – 15), бедные (9 – 12) и убогие (до 9 %).

По сложности геологического строения (изменчивости морфологии залежей, состава руд, типов руд) выделяются: а) месторождения простого строения (1 группа) с выдержанными или закономерно изменчивыми параметрами морфологии, внутреннего строения и состава руд (м-ия ЮЗ рудного поля); б) многоярусные рудные зоны сложного строения (2 группа), в которых сочетаются рудные тела с неустойчивыми морфологическими и качественными характеристиками – раздувы-пережимы мощности, изменчивость состава руд (м-ия ЮВ рудного поля); в) многоярусные рудные зоны очень сложного строения (3 группа) с прерывистым залеганием рудных тел (Олений Ручей).

### Геолого-промышленная классификация месторождений

В связи с завершением детальных разведок хибинских месторождений стало возможным сопоставить их по масштабам запасов, качеству руд и степени подготовленности для комплексного промышленного освоения. По народнохозяйственному значению все месторождения фос-

фатов принято подразделять на пять групп: 1) имеющие большое значение (запасы руды более 200 млн. т, содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> свыше 15 %), расположенные в благоприятных географо-экономических и горно-геологических условиях; 2) крупные (>200 млн. т, >15 %) со сложными условиями разработки; 3) средние по запасам (150 – 200), в районах с дефицитным балансом сырья; 4) средние (150 – 100) и 5) мелкие (>50 млн. т) месторождения.

Большинство месторождений Хибин относится к 1–2 группам, что объективно отражает их ведущее место в отраслевом балансе запасов, но не позволяет различать их внутри этих групп по количеству запасов, качеству руд и степени подготовленности для комплексного освоения.

Предлагаемая геолого-промышленная группировка апатитовых и фосфоритовых месторождений (Табл. 3) основана на ранжировании их по величине запасов, качеству руд и степени подготовленности для промышленного освоения. Классификация имеет «временную» координату, т.е.

приведена по состоянию на заданный период. Она объективно учитывает изменения в оценке месторождений, связанные с погашением запасов в результате добычи (переход в более низкую группу) или с доразведкой (увеличение запасов), изменением кондиций, а также с комплексной переоценкой руд на попутные полезные компоненты.

На рис. 3 показаны изменения в геолого-промышленной оценке месторождений за период эксплуатации (1930 – 2000 годы): месторождения-гиганты Кукисвумчорр, Плато Расвумчорр перешли в группу крупных, Апатитовый Цирк - из крупных по масштабам запасов в средние, Ньоркпах - из средних в мелкие, а в результате переоценки по новым кондициям (снижение бортовых содержаний P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> от 12 – 8 до 4 %) все месторождения перешли из группы с богатыми рудами в группу рядовых по качеству.

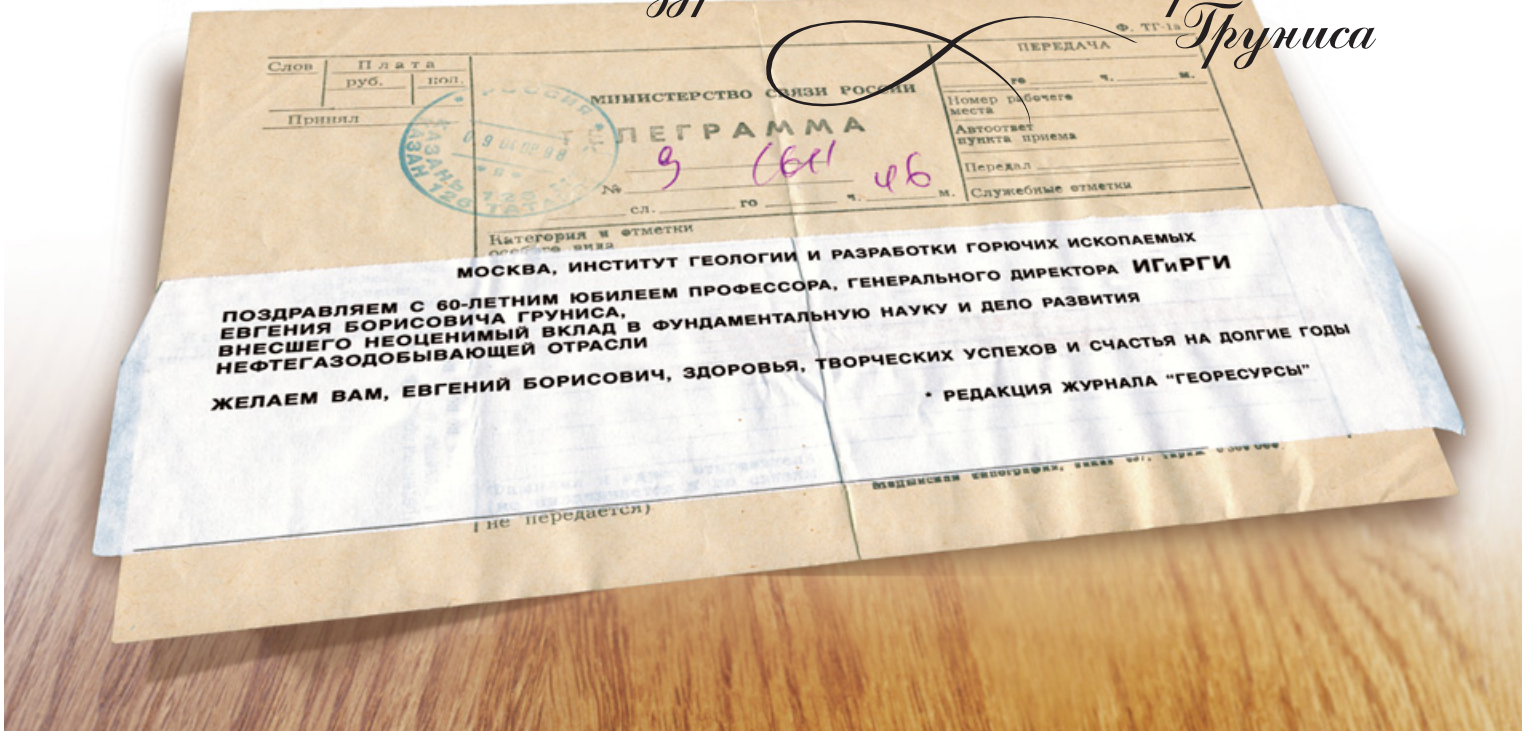
Для группировки рудных тел по величине запасов внутри многоярусных месторождений целесообразно применять оценочные критерии на порядок ниже, чем для месторождений.

Предлагаемая классификация служит ориентиром для сравнения других месторождений фосфатов по критериям, определяющим количественные и качественные характеристики разведанных запасов.

### Геолого-экономическая классификация

Вероятностный характер исходной информации, в частности, данных геологоразведочных работ, многовариантность влияния этих параметров на сравнительную оценку объекта, изменчивость некоторых из них во времени (экономические показатели) затрудняют разработку универсальной классификационной геолого-экономической модели. Очевидно, для достижения цели следует разработать пакет промежуточных классификаций (блоков), связывающих функционально зависимые переменные на уровне подсистем: а) запасы – категории – качество руд – комплексный состав – структура ценности единицы запасов; б) эксплуатационные запасы – система добычи – условия добычи – годовая производительность – себестоимость добычи; в) промышленный тип руды – технологические сорта – схемы обогащения – себестоимость добычи и переработки – цена реализации готовой продукции.

# Поздравляем Евгения Борисовича Груниса



Наличие функциональных связей между переменными в таких подсистемах дает возможность обрабатывать и оформлять фактический материал в графоаналитическом виде, следить за изменением данных во времени. Иерархически сопряженные подсистемные блоки, связанные логическим единством, должны использоваться на всех стадиях изучения и освоения месторождения. Конечным итогом обобщения материалов разведки и эксплуатации на эталонном объекте – хибинских месторождениях комплексных апатит-нефелиновых руд – явилась разработка геолого-экономической модели, основанной на их сопоставлении по величине ценности разведанных запасов, которая определяется на трех уровнях:

- *потенциальная ценность* запасов в недрах, зависящая от их количества и качества и от цены реализации единицы конечной продукции. В зависимости от уровня комплексного использования руд, ее величина может быть рассчитана по основному компоненту, по части или всей совокупности попутных ценных компонентов;

- *промышленная ценность* добытых запасов, учитывающая потери и разубоживание руды при добыче (при необходимости, величина промышленной ценности дифференцируется по способам отработки);

- *извлекаемая ценность* переработанных запасов, скорректированная на величину потерь ценных компонентов при обогащении и переделе на конечную продукцию.

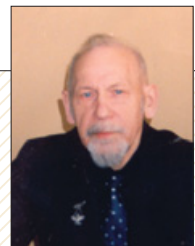
Для наглядного выражения различия месторождений по их ценности рекомендуется использовать номограмму (Рис. 4), кривые на которой отображают функциональную зависимость между потенциальной (промышленной, извлекаемой) ценностью единицы запасов и геологическими запасами. Точки на параллельных кривых соответствуют месторождениям с одинаковой ценностью их запасов.

Данная модель может быть применена также для решения ряда частных задач по анализу динамики изменения ценности запасов: а) на всех стадиях их трансформации и оценки (геологических, эксплуатационных, извлекаемых); б) по всей цепочке воспроизводства запасов (прирост – добыча); в) при введении новых цен на сырье и конечную продукцию; г) при изменении кондиций к разведанным запасам.

Предложенные геолого-промышленная и геолого-экономическая классификации апатитовых месторождений в полной мере удовлетворяют требованиям многофункциональности, динамичности и универсальности, поэтому приложимы к любым объектам минерального сырья.

## Литература

- Вировлянский Г.М., Благодетелева Ю.Н., Казакова М.П. О значении сфеновой минерализации для поисков скрытых апатитовых руд в Хибинском массиве. *Сб. науч.-тех. инф. ГИГХС*. Вып. 2-3. 1963. 4-11.
- Каменев Е.А. *Геология и структура Коашвинского апатитового месторождения*. Л. Недра. 1975.
- Каменев Е.А. *Поиски, разведка и геолого-промышленная оценка апатитовых месторождений хибинского типа*. Л. Недра. 1987.
- Каменев Е.А. Сырьевая база ОАО "Апатит": у России нет альтернативы. *Север и Рынок: формирование экономического порядка*. № 2. 1999. 46-52.
- Соколов А.С. Классификация и закономерности размещения месторождений фосфатов. *Докл. 27 Межд. геол. конгр.* М. Наука. 1984. 48-58.
- Файзуллин Р.М., Панских Е.А. Классификация апатитовых руд. *Сов. геология*. № 2. 1984. 48-53.



Евгений Арсеньевич  
Каменев

зав. сектором экономики минеральных ресурсов Севера ИЭП КНЦ РАН, к. г.-м. н., Лауреат премии СМ СССР, первооткрыватель месторождений Ньоркпахк и Олений Ручей (Хибины). Область научных интересов - поиск и разведка фосфатных месторождений, геолого-экономическая оценка минерального сырья. Автор 80 работ (5 монографий) и изобретения.