

АКАДЕМИЯ НАУК КАЗАХСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА

А. А. ЛИСЕНКОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТУРОВ РАЗРАБОТКИ
РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ НА ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКАХ

Издательство «НАУКА» Казахской ССР
АЛМА-АТА. 1987

УДК 622.34.342:553.045

Лисенков А.А. Оптимизация контуров разработки рудных залежей на подземных рудниках. - Алма-Ата: Наука, 1987. - 171 с.

Рассматриваются теоретические и практические вопросы, связанные с решением одной из актуальных задач горной науки - установлением оптимальных пространственных границ разработки запасов полезных ископаемых. Дан критический анализ существующих способов обоснования кондиций, с помощью которых оконтуриваются и оцениваются запасы на действующих рудниках. Доказывается необходимость применения идей и методов системного анализа для оптимизации контуров разработки рудных залежей. Предложен ряд экономических моделей и методов оптимального оконтуривания и оценки запасов на рудниках.

Для научных и практических работников в области горного дела.

Библиогр. 84 назв. Ил. 24. Табл. 4.

Ответственный редактор:

доктор технических наук З.А. Терпогосов

Рецензент:

доктор технических наук А.Е. Ергалиев

Л 1904050000 - 044 I04.87

407(05)-87

© Издательство "Наука" Казахской ССР, 1987

ПРЕДИСЛОВИЕ

Рациональное использование запасов полезных ископаемых - одна из наиболее актуальных проблем горной науки и практики. Необходимость ее скорейшего решения отмечалась на последних съездах КПСС, а также в специальных постановлениях партии и правительства. Требование бережного отношения к невозобновляемым минерально-сырьевым ресурсам возведено в ранг закона соответствующими положениями Конституции СССР и Основами законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах.

Однако при практическом решении этой проблемы возникают большие трудности, связанные с ее недостаточной теоретической и методической проработкой, а также отсутствием эффективных организационных форм, регламентирующих и стимулирующих деятельность предприятий по рациональному использованию богатств недр.

Одна из проблемных и до конца нерешенных задач в этой области - задача определения пространственных границ разработки рудных залежей на действующих рудниках. В настоящее время она решается с помощью постоянных геологических кондиций, обеспечивающих возможность градации разведанных запасов на две категории - балансовые, предназначенные к разработке, и оставляемые в недрах забалансовые.

Практика, однако, свидетельствует о невысокой точности определения выемочных контуров рудных тел с использованием постоянных геологических кондиций. При тщательных расчетах в составе балансовых запасов нередко обнаруживаются убыточные, а в забалансовых, наоборот, прибыльные. Длительные промежутки времени между очередными пересмотрами кондиций тоже не способствуют повышению точности оконтуривания рудных залежей.

Одни и те же критерии и методы используются для промышленной оценки запасов месторождений высокоценных руд и недефицитных видов полезных ископаемых. Недостаточно учитываются специфические особенности установления границ выемки запасов из недр на действующих горных предприятиях.

Не разрабатываются и не реализуются мероприятия по предотвращению безвозвратных потерь забалансовых руд и их своевременному вовлечению в эксплуатацию.

Отсутствует необходимая взаимоувязка кондиций, действующих на разных объектах, вследствие чего на одних участках и рудниках производится продукция с неоправданно высокими затратами, в то время как на других безвозвратно теряются запасы, на базе которых ее можно получить с гораздо меньшими издержками.

Указанные недостатки - серьезное препятствие в решении проблемы рационального использования минерально-сырьевых ресурсов. Поэтому над их устранением усиленно работают многие научные коллективы и специалисты.

Важным направлением исследований в данной области является создание научно обоснованной методики определения эксплуатационных кондиций, позволяющей учитывать непостоянство горно-геологических условий, комплексный состав руд, изменение систем, технологии разработки, себестоимости добычи, разубоживания на различных участках месторождения /1/.

Идея установления и применения параметров эксплуатационных кондиций, которые бы дополняли постоянные геологические кондиции и служили бы инструментом для оперативного переоконтуривания запасов на действующих предприятиях, получила в последние годы широкое распространение. В результате исследований, выполненных в ряде организаций, составлен проект /2/, в котором нашло отражение современное представление многих специалистов о том, как следует обосновывать кондиции и выемочные контуры залежей полезных ископаемых в процессе разработки месторождений. Однако исключительная сложность и многогранность рассматриваемой проблемы требуют продолжения работ в данной области. Здесь предпринимается попытка осмыслить фактическое положение дел в теории и практике установления параметров кондиций и соответствующих им пространственных границ разработки рудных залежей на действующих рудниках цветной металлургии. Обсуждаются возможные пути системного решения рассматриваемой проблемы.

В основу исследования положено представление о месторождении как о большой системе, состоящей из значительного числа объектов промышленной оценки и эксплуатации. Эта система - неотъемлемая часть системы более высокого уровня, представленной месторождениями одного и того же вида полезного ископаемого. Каждый ее объект описывается количественными, качественными и экономическими характеристиками запасов, которые можно менять в определенном диапазоне посредством совокупности управляемых параметров - кондиций.

В зависимости от текущих и долговременных целей, стоящих перед производством, разного рода ограничений и требований, предъявляемых к конечным результатам оконтурившим и оценки запасов, устанавливаются оптимальные значения кондиций. На этой основе определяются оптимальные контуры разработки рудных залежей,

Постоянное воздействие внутренних и внешних факторов на производство приводит к необходимости гибкого реагирования на них системы промышленной оценки запасов. В результате меняются границы разработки рудных залежей, т.е. осуществляется непрерывное и целенаправленное управление выемочными контурами во времени и пространстве.

Таким образом, принципиальная новизна данного исследования заключается в том, что впервые выдвигается и прорабатывается идея подойти к обоснованию промышленных контуров запасов полезных ископаемых как к задаче оптимального управления параметрами большой системы. На наш взгляд, такой подход позволит решать на качественно новом научном уровне многочисленные и сложные вопросы повышения полноты и эффективности разработки месторождений полезных ископаемых.

Для практической реализации выдвинутой идеи предлагается несколько экономико-математических моделей, с помощью которых можно проводить согласованное оконтуривание и комплексную оценку запасов заданных объектов в различных горно-геологических условиях. Рассмотрены различные вопросы информационного обеспечения решаемых задач. Предложен ряд алгоритмов и

методов, позволяющих выполнять необходимые расчеты вручную и на ЭВМ.

Разумеется, что охватить в одной работе все аспекты решаемой проблемы невозможно. Требуется ее дальнейшие глубокие исследования. Автор надеется, что эта книга будет полезна специалистам, работающим в данной области, и позволит им по-новому взглянуть на некоторые вопросы, связанные с обоснованием выемочных контуров рудных залежей на действующих рудниках.

Глава 1. ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ КОНДИЦИЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ КОНТУРОВ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ РУДНИКАХ

§ 1. Кондиции в системе горнорудного производства

В настоящее время промышленные контуры запасов полезных ископаемых на действующих рудниках устанавливаются посредством так называемых постоянных геологических кондиций, которые разрабатываются геологоразведочными организациями, проектными институтами или геологическими службами предприятий. Как правило, они утверждаются в установленном порядке в ГКЗ СССР.

В работе /58/ они определены как совокупность экономически обоснованных требований к качеству и количеству полезных ископаемых, горно-геологическим и иным условиям разработки месторождений.

Там же отмечается, что постоянные кондиции должны обеспечивать комплексную геолого-экономическую оценку запасов полезных ископаемых в недрах и максимальную полноту экономически эффективного для данного района или народного хозяйства страны использования этих запасов. Постоянные кондиции должны соблюдаться при разработке проектов строительства (реконструкции) добывающих и перерабатывающих предприятий, планировании и проведении горно-эксплуатационных работ, решении вопросов, связанных с охраной недр и окружающей среды.

Важнейшими параметрами кондиций являются минимальное промышленное содержание полезного компонента в блоке, бортовое содержание полезного компонента в краевых пробах, максимальная мощность прослоев пустых пород или некондиционных руд, включаемых в подсчет запасов, минимальная мощность рудных тел, минимальный метропроцент (метрограмм) и др.

С помощью этих и некоторых других показателей выделяются контуры залежей полезного ископаемого, в которых можно вести экономически оправданную выемку запасов из недр.

Кондиции играют исключительно важную роль в системе горнорудного производства (рис. 1.1). Они во многом определяют количественные, качественные и экономические характеристики добываемых руд, влияют на размеры и форму рудных тел, вовлекаемых в разработку, их внутреннюю структуру, мощность. Физико-механические свойства руд и вмещающих пород также зависят от положения, которое занимает пространственная граница между промышленными и непромышленными запасами.

В результате изменения предельных требований к качеству руд коренным образом может меняться технология добычи руды, в некоторых случаях возникает необходимость замены системы разработки. Так, на Джекказганском месторождении снижение бортового содержания привело к резкому увеличению мощности рудных тел, что послужило предпосылкой для массового применения в подземных условиях высокопроизводительного самоходного оборудования.

Кондиции существенно влияют на качество руды, поступающей в переработку, а также на технологию и показатели обогащения. В свою очередь, совершенствование технологических схем и оборудования на фабриках создает возможности для понижения действующих кондиций и вовлечения в эксплуатацию забалансовых запасов. Наглядным примером такой взаимосвязи служит опыт работы Лениногорского полиметаллического, Зырянского свинцового, Белогорского горно-обогатительного и других комбинатов.

При назначении различных вариантов оконтуривания очень часто существенно изменяются линейные размеры и количество промышленных

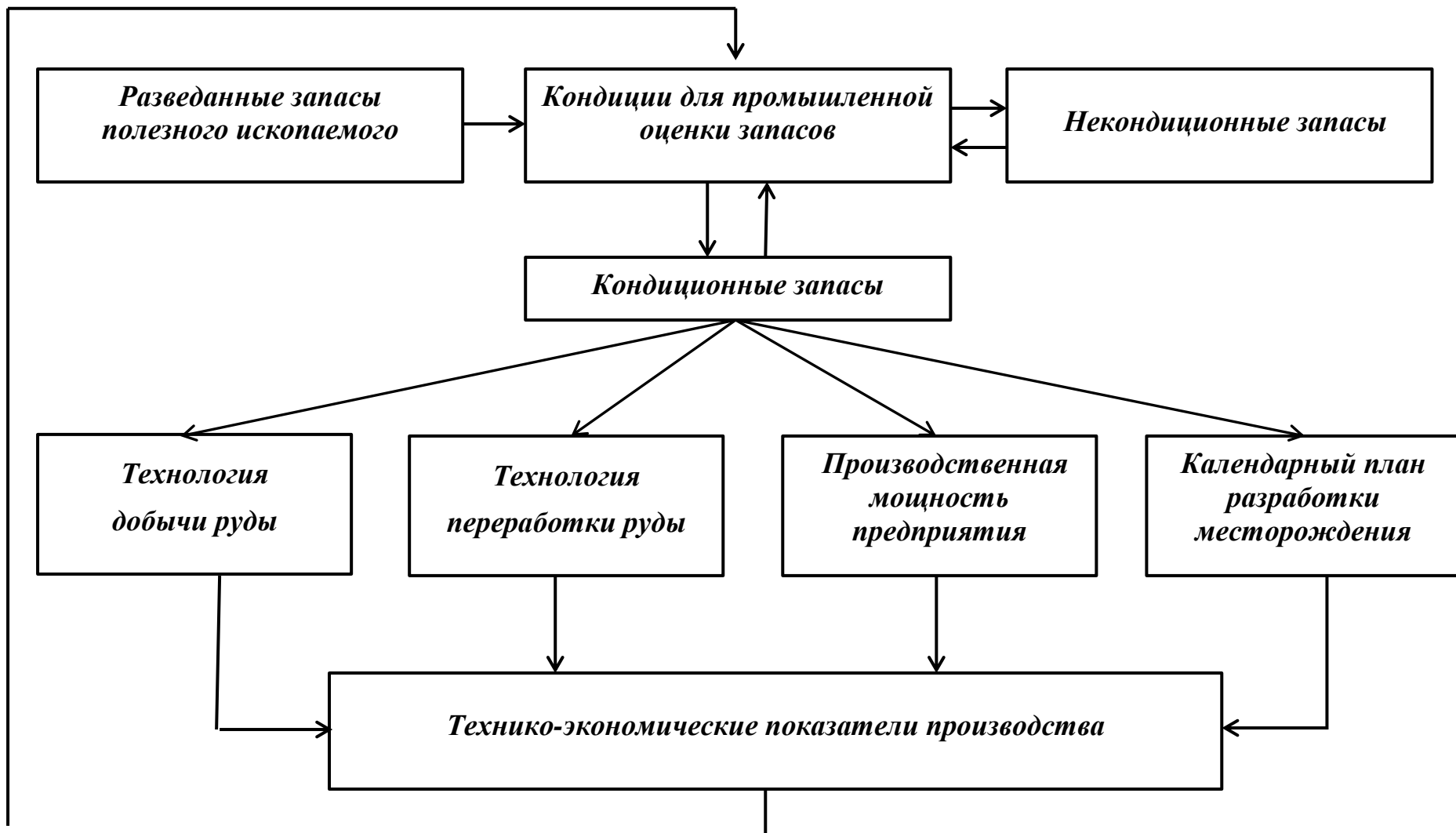


Рис. 1.1. Кондиции в системе горнорудного производства

залежей. В результате меняются горные возможности предприятия и его производительность по добыче руды и металлов.

Пространственно-временная очередность и полнота извлечения разведанных запасов месторождения также зависят от параметров кондиций. Те запасы, которые при одном варианте оконтуривания являются некондиционными, при другом вводятся в промышленный контур и подлежат обязательной разработке.

Таким образом, кондиции - это тот фундамент, на котором должны строиться проекты рудников, выбираться способы и системы разработки, технология обогащения, формироваться планы производства. Именно они во многом определяют конечные результаты работы горнодобывающих предприятий и отраслей. С их помощью можно практически решать вопросы, связанные с установлением оптимальной полноты и эффективности извлечения разведанных запасов из недр.

Вместе с тем сами кондиции зависят от результатов деятельности предприятий - чем они лучше, тем ниже могут быть кондиции, и наоборот. Поэтому между ними должна существовать обратная связь, посредством которой можно осуществлять гибкое регулирование проектных контуров разработки рудных залежей, т.е. приводить их в соответствие фактическому состоянию производства и требованиям, предъявляемым к текущим и конечным показателям работы рудников.

К сожалению, уровень научного обоснования этих важнейших параметров горного производства еще не соответствует их огромному значению в экономике предприятий и отрасли в целом. Многочисленные примеры из практики работы рудников свидетельствуют о серьезных просчетах в оценке реальной промышленной ценности запасов полезных ископаемых.

Большой недостаток существующего порядка обоснования и применения кондиционных требований к минеральному сырью заключается в крайней неоперативности и инерционности процедуры их пересмотра и утверждения.

Работа горных предприятий характеризуется большой нестабильностью во времени. Постоянные изменения качества и технологических свойств добываемого

сырья, условий разработки, действующих цен и других факторов приводят к частым колебаниям объемов выпускаемой продукции, ее себестоимости, получаемой прибыли и рентабельности производства. Поэтому данные, принятые за основу при расчете кондиций, могут заметно отличаться от их действительных значений в тот или иной отрезок времени.

Периодические пересмотры кондиций, хотя в некоторой степени и улучшают показатели работы предприятий, но выполняются очень редко, нерегулярно и не решают проблемы непрерывной текущей оценки запасов исходя из существующего состояния производства и перспектив его дальнейшего развития.

Отмеченный недостаток особенно сильно проявляется в условиях быстрого развития комплексного использования добываемых руд при обогащении. За счет совершенствования технологии переработки руд на обогатительных фабриках сокращаются потери ценных компонентов, осваивается выпуск новых видов продукции, увеличиваются объемы переработки сырья на тех же площадях. Прямым следствием этого является улучшение экономических показателей предприятий. Тем не менее эти изменения не влияют на промышленные контуры месторождений до очередного пересмотра геологических кондиций. Это свидетельствует об отсутствии эффективной обратной связи между конечными результатами производства и пространственными границами выемки запасов из недр, в связи с чем имеют место неоправданные потери полезных ископаемых, сокращаются сроки службы рудников, преждевременно вводятся производственные мощности.

Недостаточный учет специфики решения задач оконтуривания и оценки залежей полезных ископаемых в условиях действующих рудников проявляется также в отсутствии необходимой детализации кондиций по выемочным единицам. Границы, в которых ведется добыча руд, устанавливаются по результатам детальной, промышленной и эксплуатационной разведки по кондициям, разработанным для месторождения в целом на основе усредненных технико-экономических показателей.

Между тем любое месторождение - объект неоднородный в геологическом и

экономическом плане, что предопределяет существенный разброс численных значений величин, участвующих в расчетах кондиций. Степень этой неоднородности раскрывается не сразу, а постепенно по мере доразведки месторождения. При этом постоянно уточняются условия залегания рудных тел, их морфология и внутреннее строение, более определенными становятся данные о качественных и количественных характеристиках запасов, с большей достоверностью устанавливаются технологические и экономические показатели добычи и переработки руд на отдельных участках месторождения. Пользуясь этой информацией, можно точнее рассчитать параметры кондиций и, следовательно, правильнее решать вопросы, связанные с обоснованием пространственных границ разработки полезных ископаемых.

На практике, однако, этого не происходит. Проекты и планы добычи составляются и реализуются в контурах, соответствующих действующим геологическим кондициям, т.е. только на базе балансовых запасов. На производстве чаще всего не предпринимают попыток проверить правильность отнесения разведанных запасов в балансовую и забалансовую категории. По этой причине отбойка руды ведется в границах, условно считающихся экономически оправданными. Нередко определенная часть балансовых запасов убыточна, в то время как в составе забалансовых обнаруживаются прибыльные участки.

Таким образом, можно сделать вывод о необходимости постоянного уточнения выемочных контуров в процессе разработки месторождений.

Недостатком действующей методики следует считать и то, что она предназначена для оконтуривания и оценки всех видов твердых полезных ископаемых - дефицитных и недефицитных, широко распространенных и редко встречающихся в природе. Однако состояние сырьевой базы для производства, например, строительных материалов и редких металлов далеко не одинаково. Их промышленное значение, условия залегания и эксплуатации тоже несопоставимы между собой. Поэтому экономические результаты производства, ущерб от потерь запасов в недрах или снижения выпуска продукции также будут совершенно разные. Следовательно, нужен дифференцированный подход к промышленной

оценке запасов полезных ископаемых в различных подотраслях, который бы полностью учитывал их специфические особенности.

До сих пор на рудниках очень плохо налажен учет забалансовых запасов, не разрабатываются и не реализуются мероприятия по их сохранению и сокращению потерь, не проводятся их своевременная переоценка и вовлечение в добычу. К этой категории запасов принято относиться как к чему-то второстепенному, мало-важному, несмотря на то, что именно некондиционные участки залежей - главный резерв расширения сырьевой базы действующих предприятий.

Положение усугубляется тем, что рудникам довольно часто планируется завышенное содержание ценных компонентов в добываемой руде. Это приводит к первоочередной выемке обогащенных участков месторождений обеднению оставшихся запасов, большая часть которых долго не разрабатывается, а затем списывается с баланса предприятий, так как попадает в зону обрушения и безвозвратно теряется.

Казалось бы, кондиции должны служить надежным заслоном для этой порочной практики, немедленно реагируя на любые отклонения планового содержания металлов в руде относительно его среднего уровня в запасах промышленного контура. Однако этого не происходит. Следовательно, и с этих позиций они не выполняют своей главной функции - быть регулятором и инструментом рационального использования богатств недр.

Таким образом, существующий порядок установления и практического применения параметров кондиций имеет целый ряд серьезных недостатков как в методическом, так и организационном плане, принципиальный характер которых не позволяет правильно решать на практике вопросы, связанные с определением оптимального уровня полноты и эффективности извлечения запасов из недр. Большинство из этих недостатков известно. Над их устранением работали и работают многие специалисты. И основная причина того, что все еще имеют место серьезные просчеты в оконтуривании и оценке запасов, кроется не в отсутствии внимания к ним, а в большой сложности проблемы в целом.

Чаще всего исследователи работают над каким-то одним ее аспектом и

получают при этом определенные результаты, которые могут считаться правильными только в узком смысле. Для эффективного же решения проблемы ее следует рассматривать и оценивать с самых разных позиций - теоретических, практических, геологических, производственных, технологических, экономических, хозрасчетных, ведомственных, народнохозяйственных, социальных и т.д.

Попыток применения такого комплексного, системного подхода в рассматриваемой области исследований сделано мало. Очевидно, нужно объединить усилия разных научных коллективов и специалистов, работающих над этой проблемой, координировать и направлять их деятельность, проводить взаимный обмен и согласование получаемых результатов, широко апробировать их в производственных условиях. Только при такой организации можно рассчитывать на быстрое и эффективное решение проблемы создания научных основ системной оптимизации кондиций и контуров разработки месторождений полезных ископаемых.

В настоящее время необходимо провести детальный анализ работ, выполненных в данной области, и на этой основе наметить пути дальнейшего развития исследований. Для лучшего понимания проблемы в целом и связанных с ней задач полезно проследить процесс создания современной научной базы для расчетов параметров кондиций,

§ 2. Обзор развития методологии установления и применения кондиций на действующих рудниках

До сравнительно недавнего времени вопросам повышения точности и обоснованности параметров кондиций и пространственных границ разработки запасов полезных ископаемых не уделялось должного внимания. Только эпизодически появлялись работы, в которых так или иначе затрагивалась эта проблема.

Однако по мере повышения требований к рациональному, бережному

отношению к богатствам недр резко возросли масштабы исследований, направленных на развитие и совершенствование научных основ и методов определения кондиций. Постепенно специалисты начали осознавать исключительную важность и необходимость правильного решения этой задачи в условиях действующих горных предприятий, так как любая ошибка в определении выемочных контуров неизбежно влечет за собой большой экономический ущерб или от неоправданных потерь полезного ископаемого в недрах либо от непроизводительного расходования материальных, трудовых и финансовых ресурсов.

В послевоенный период опубликовано большое количество работ в этой области. Их анализ дает возможность проследить эволюцию взглядов исследователей на то - как должны проводиться оконтурившие и оценка запасов на рудниках.

Многие положения статьи К.Л. Пожарицкого /3/ близки современной концепции научного обоснования кондиций. Насколько известно, именно он впервые достаточно четко сформулировал принцип учета предстоящих затрат при установлении минимального промышленного содержания металла в руде. Он указывает, что возврат капитальных вложений в строительство предприятия должен обеспечиваться при эксплуатации заведомо промышленных запасов, а при разработке убогих, критических руд достаточно оправдать только те расходы, которые возникнут при их добыче и переработке. По свидетельству автора, уже в то время этот принцип широко применялся на практике при решении вопроса о целесообразности попутной добычи руд с низким содержанием металлов.

Предлагалось также рассчитывать кондиции не по оптовым ценам, а по предельно допустимой себестоимости конечной продукции. Этот показатель должен быть плановым и единым для всех предприятий, чтобы получать продукцию из граничных запасов с одинаковыми удельными затратами,

При обосновании минимального промышленного содержания металла численные значения коэффициентов разубоживания руды, ее отсортировки при добыче и извлечения металла при обогащении должны соответствовать этому

содержанию, в противном случае неизбежны ошибки.

На этих же положениях построена другая статья автора /4/, в которой указывается на две возможные формы выражения промышленного минимума для комплексных руд: через суммарную ценность отдельных компонентов в руде и путем приведения их содержания к одному по принципу равноценности.

Очень близки к идеям К.Л. Пожарицкого взгляды С.Я. Рачковского /5/, который отмечает, что для покрытия потребности в металле вполне допустима и имеет место разработка убыточных месторождений. Вместе с тем он считает оправданной практику первоочередной выемки обогащенных участков месторождений для ускорения темпов роста производства металла и его удешевления при условии, что при этом не нарушится нормальный порядок эксплуатации месторождения. Предельно допустимые издержки производства определяются по затратам, необходимым для получения металла из наименее рентабельных участков разрабатываемых месторождений. Промминимум для действующих предприятий должен рассчитываться без учета затрат на проведение горно-капитальных и горно-подготовительных выработок, водоотлив, освещение и др. Кроме того, нужно иметь в виду возможное снижение себестоимости конечной продукции за счет более полной загрузки производственных мощностей рудника, обогатительной фабрики и металлургического завода при вовлечении в отработку руд с пониженным содержанием.

В своей статье М.И. Агошков и Д.М. Бронников /6/ изложили научную базу расчета кондиций методом вариантов, до сих пор широко применяемую на практике. Они предложили по нескольким значениям бортового содержания строить контуры рудных тел, подсчитывать соответствующие запасы, устанавливать схемы их вскрытия и системы разработки, определять годовую производительность предприятия. Для каждого такого варианта должны рассчитываться технико-экономические показатели производства. В результате их сравнения и анализа устанавливается наиболее приемлемое значение искомого параметра.

За широкое применение такого подхода на практике высказался Д.М. Рура

/7/. Он пишет, что обоснование промышленного минимума является задачей, требующей комплексного решения, которое может быть обеспечено лишь методом вариантов. Вместе с тем он категоричной форме отвергает расчеты промминимума по аналитической формуле и высказывается против предложений К.Л. Пожарицкого и С.Я. Рачковского оценивать запасы по предельно допустимой себестоимости.

На наш взгляд, с такой позицией Д.М. Рура согласиться нельзя. Он противопоставляет метод вариантов аналитическому, расчетному, хотя они должны не исключать, а дополнять друг друга. Свои возражения против оценки запасов по предельной себестоимости автор мотивирует тем, что такая практика ориентирована на низкий уровень производительности труда, в то время как необходимы максимально возможные темпы ее роста. Однако он упускает из виду отрицательные последствия, к которым может привести неоправданное форсирование производительности труда за счет ускоренной отработки лучших запасов и безвозвратных потерь сравнительно бедных участков месторождений.

Специфика горнодобывающих отраслей состоит в том, что сегодняшний выигрыш завтра может обернуться большим ущербом, во много раз перекрывающим полученный эффект. Это обстоятельство следует учитывать при установлении граничных требований к качеству минерального сырья. Именно на максимальную экономию труда и средств при удовлетворении существующих и перспективных потребностей в металлах нацелено предложение специалистов, выступающих за необходимость применения предельно допустимых затрат для оконтуривания и оценки запасов в недрах. Поэтому позиция Д.М. Рура по своей сути противоречива и не может быть признана правильной. С другой стороны, в его статье важным представляется то, что касается необходимости комплексного подхода к обоснованию кондиций.

Детальный анализ влияния кондиций на технико-экономические показатели горного производства провел В.М. Здоров /8/. Он доказал, что максимум прибыли от разработки запасов месторождения достигается при таком бортовом содержании, при котором стоимость металла, получаемого из бортовой руды,

окупает только прямые затраты на его добычу и переработку. Установлено также несовпадение оптимальных значений бортового содержания, соответствующих максимуму прибыли и минимуму себестоимости металла.

Н.В. Володомононов /9/ отмечает, что любое месторождение полезных ископаемых качественно неоднородно по своей структуре, так как его участки характеризуются разной степенью концентрации ценных компонентов и большой дифференциацией горно-геологических условий разработки. Поэтому на разных добычных участках получают неодинаковое количество готовой продукции с каждой единицы затраченных средств. Автор раскрывает причины образования и сущность горной ренты, предлагает проводить экономическую классификацию запасов разрабатываемых месторождений, выступает за необходимость введения нового директивного показателя - бортовой себестоимости металла, с помощью которого должны определяться промышленные запасы месторождений. Эти вопросы актуальны и в настоящее время.

Большую роль в упорядочении составления проектов кондиций, их рассмотрения и утверждения сыграла инструкция ГКЗ СССР /10/, которая начала действовать в 1965 г. В качестве главного инструмента для обоснования параметров кондиций был рекомендован метод вариантов. Наряду с этим предлагалось рассчитывать минимальное промышленное содержание полезного компонента в блоке по формуле

$$C = \frac{3 \cdot 100}{Ц \cdot И \cdot Р} \quad (1.1)$$

где C - минимальное промышленное содержание полезного компонента, %; 3 - затраты на добычу и переработку 1 т минерального сырья, руб.; $Ц$ - оптовая цена 1 т готовой продукции, руб.; $И$ - коэффициент извлечения ценного компонента при обогащении, доли ед.; $Р$ - коэффициент, учитывающий разубоживание руды при добыче, доли ед.

В инструкции, однако, не уточнялось - как должны увязаться друг с другом результаты оконтуривания и оценки запасов двумя указанными способами. Не был в ней реализован и принцип учета предстоящих затрат.

Предписывалось оценивать запасы по действующим оптовым, в некоторых

случаях - расчетным ценам, а о предельно допустимых затратах даже не упоминалось. Размеры подсчетных блоков без какого бы то ни было обоснования ограничивались величиной полугодового объема добычи полезного ископаемого. Коэффициенты разубоживания при добыче и извлечения при обогащении принимались постоянными и не зависимыми от качественных характеристик добываемого сырья.

Инструкция предназначалась для применения как на стадии, детальной разведки месторождений, так и в процессе их эксплуатации. Однако в ней в должной мере не учитывалась специфика решения задач установления кондиций и промышленных контуров на действующих предприятиях.

Отмеченные недостатки инструкции снижали ее практическую ценность. Поэтому после ее выхода в свет исследования по совершенствованию теории и практики обоснования кондиций были продолжены.

Так, М.К. Абрамов /11/ акцентирует внимание на том, что формула (1.1) содержит зависимые друг от друга переменные: коэффициент извлечения металла при обогащении и искомую величину промминимума. Без учета их взаимосвязи результаты расчетов оказываются некорректными. Значительная ошибка вносится также в переводные коэффициенты, предназначенные для пересчета концентраций ценных компонентов в содержание условного металла. При поблочной оценке эти величины должны устанавливаться отдельно для каждого блока в соответствии с качественными характеристиками его запасов, что очень трудоемко. Поэтому М.К. Абрамов предложил оценивать запасы комплексных руд не по содержанию условного металла, а по стоимостным показателям: извлекаемой ценности руды и себестоимости ее добычи и переработки. Такую оценку удобно проводить посредством графиков, отражающих влияние содержания металлов на извлекаемую ценность. Ее минимальное промышленное значение устанавливается по затратам, приходящимся на 1 т руды. Затем оно сравнивается с суммарной (по всем компонентам) извлекаемой ценностью. Если первая величина не превышает вторую, то делается вывод о целесообразности разработки рассматриваемого блока.

Е.О. Погребицкий, В.Л. Терновой /12/, так же как и К.Л. Пожарицкий /3,4/, выступают за необходимость обоснования кондиций с использованием предельно допустимой (бортовой) цены на выпускаемую продукцию. Однако они не согласны с его предложением учитывать в расчетах промминимума только прямые затраты на добычу и обогащение руды, считая, что это приведет к разубоживанию богатых и средних руд бедными. Более того, они предлагают определять минимальное промышленное содержание (или другие кондиции), руководствуясь принципом гарантированной минимальной рентабельности каждого подсчетного блока запасов. Это означает, что предприятие должно получать прибыль даже при эксплуатации граничных запасов. Но в таком случае добыча внутриконтурных запасов может приносить ему сверхприбыль, а за пределы промышленного контура будут полностью выведены все безубыточные и частично прибыльные запасы, что не может быть оправдано, особенно на месторождения дефицитных видов полезных ископаемых. Вместе с тем, важным представляется тезис авторов о необходимости контроля и согласования уровня промминимума по отдельным месторождениям с позиций отрасли в целом. Правильно отмечается тот факт, что наряду с высокорентабельными существуют плано-убыточные предприятия, совместная работа которых обеспечивает в той или иной мере покрытие потребностей в продуктах переработки минерального сырья. Поэтому никогда не ставился вопрос о переводе запасов, разрабатываемых убыточными предприятиями, в забалансовую категорию. В то же время на прибыльных предприятиях за промышленным контуром зачастую остаются и, как правила, безвозвратно теряются запасы, эксплуатация которых могла бы позволить получать металлы с гораздо меньшими затратами, чем на плано-убыточных рудниках. Устранить это можно только в том случае, если запасы всех месторождений оконтуривать по кондициям, основанным не на оптовых, а на предельно допустимых ценах.

Следует заметить, что в одной из своих работ /13/ Е.О. Погребицкий и В.И.Терновой высказываются в пользу дифференцированного подхода к оценке запасов различных участков месторождения, Они предлагают при определении минимального промышленного содержания по основным рудным телам учитывать

все затраты, а по попутным - не принимать во внимание расходы на амортизацию основных средств, капитальных выработок и т.д. Однако при этом авторы по-прежнему высказываются за применение принципа гарантированной рентабельности.

Такую же позицию занимает А.М. Сиразутдинов /14/, который считает, что на действующих предприятиях минимальное промышленное содержание металла в оцениваемых блоках должно рассчитываться при рентабельности не ниже 15% для обеспечения возможности платы за производственные фонды, отчисления в бюджет и на материальное стимулирование. Но такой подход приводит к более быстрому исчерпанию сырьевой базы предприятий. Вследствие этого необходимо преждевременное вложение средств в строительство новых рудников.

Т.Л. Гатов /15/ обращает внимание на то, что в литературе недостаточно отражены вопросы, связанные с "пространственно - геометрической интерпретацией" минимального промышленного содержания. Это объясняется тем, что геологические блоки, в которых ведутся подсчет и оценка запасов, совершенно не увязываются с общим порядком разработки месторождения. Размеры этих блоков чаще всего произвольны, отсутствует аналитическое обоснование минимального объема запасов, в пределах которого возможна шихтовка богатых и бедных руд, обеспечивающая ежемесячную добычу со средним содержанием металла не ниже минимального промышленного. Однако какие-либо конкретные рекомендации, направленные на устранение этих недостатков, отсутствуют.

Руководствуясь предположением о непрерывном изменении геологических функций запасов руды и металла от его минимального содержания, по которому ведется оконтуривание месторождения, он выражает его как производную запасов металла по запасам руды

$$m = \frac{dQ_M}{dQ_P}, \quad (1.2)$$

где m - минимальное содержание металла в запасах; Q_M и Q_P - соответственно запасы металла и руды.

Кроме того, он вводит понятие дифференциальной себестоимости металла из

запасов, залегающих в междуконтурной полосе. Необходимость определения и контроля этого показателя при переходе от одного варианта оконтуривания к другому объясняется тем, что максимальный экономический эффект от промышленного использования всех запасов месторождения можно получить только в случае, если вошедшие в контур руды с наименьшим содержанием не будут характеризоваться отрицательной эффективностью. Другими словами, исключив из промышленного контура нерентабельные запасы, можно повысить общую прибыль, получаемую от разработки месторождения.

В последующих исследованиях дальнейшее развитие и признание получил принцип учета предстоящих затрат. Наметилась тенденция к постепенному переходу от обобщенной, усредненной оценки запасов полезных ископаемых к дифференцированной, поблочной оценке. Решению этой задачи в условиях Джекказгана посвящена работа О.А. Байконурова и Н.Х. Баязитова /16/. Значительная часть рудных залежей на этом месторождении отнесена в забалансовую категорию. Однако если провести дифференцированную оценку, то некоторые из них могут оказаться промышленными. С этой целью анализировалось влияние мощности и условий залегания рудных тел, устойчивости вмещающих пород на себестоимость добычи руды и производительность труда горнорабочих, учитывались дополнительные объемы вскрывающих выработок, расстояния откатки и др. Промминимум определяли для каждой залежи отдельно. Как показали расчеты, 36 из 40 рассмотренных залежей могут разрабатываться с содержанием меди ниже минимального среднего, установленного по месторождению в целом.

Покамерная оценка запасов руд этого месторождения явилась предметом изучения А.Р. Ахметова /17,18/. Расчетным путем были прокалькулированы индивидуальные значения себестоимости добычи руды по более чем 200 камерам и выявлены множественные линейные корреляционные уравнения, связывающие ее с различными горно-геологическими и горнотехническими факторами. Это позволило определить для каждой камеры соответствующую величину минимального промышленного содержания металла. Установлено, что в условиях

Джезказгана промминимум может меняться в широких пределах - от 0,74 до 2,01%. Это подтверждает необходимость проведения дифференцированной оценки запасов на рассматриваемом объекте.

О.А. Байконуров и З.К. Каргажанов /19/ рассматривают вопрос о снижении промминимума на действующих предприятиях, разрабатывающих полиметаллические месторождения Казахстана и Киргизии. Так как себестоимость добычи и обогащения руды из разных блоков и участков неодинакова, необходимо проводить поблочную оценку их запасов. Детальный анализ влияния условий эксплуатации на величину промминимума позволяет установить границы его изменения и определить соответствующую межконтурную полосу запасов. В пределах этой полосы целесообразность выемки тех или иных блоков решается специальным технико-экономическим расчетом. Критерием оценки служит равенство себестоимости добычи и переработки 1 т руды ее извлекаемой ценности, которая рассчитывается по единой предельно допустимой себестоимости металлов.

В работе /20/ принципам поблочной оценки запасов посвящен целый раздел. Приведены конкретные цифровые данные, характеризующие разный уровень издержек производства по блокам полиметаллического месторождения и рассчитанные по этим издержкам значения минимального промышленного и бортового содержания металла, которые меняются в довольно широких пределах. Установлено, что на Джезказганском месторождении в зависимости мощности рудных тел, принимающей значения от 0,5 до 10 м, расчетная величина минимального промышленного содержания колеблется от 0,4 до 1,2%. На промминимум значительно влияет также пространственное расположение оцениваемых блоков запасов, физико-механические свойства руд и вмещающих пород, применяемая технология добычи и обогащения.

Автор ссылается на положительный опыт реализации идей поблочной оценки запасов в условиях Зыряновского месторождения /21/, где соответствующая методика использовалась в локальных проектах отработки блоков для определения экономической эффективности их вовлечения в

эксплуатацию.

Несколько иначе определяют дифференцированные кондиции А.М. Марголин и Л.П. Бурдо /22/. Они считают, что лимитов на содержание должно быть столько, сколько существует стадий промышленного освоения запасов месторождения, а кондиционность руд предлагают оценивать путем сравнения цены извлекаемого металла с его себестоимостью, установленной по предстоящим затратам. Посредством бортового содержания, окупающего только прямые затраты, выделяются "потенциально-балансовые запасы", которые могут переводиться в балансовую категорию только в том случае, если среднее содержание металла в оконтуренных запасах будет не ниже минимального промышленного, рассчитанного по предстоящим издержкам производства.

Л.Г. Каждан и Л.П. Кобахидзе /23/ предлагают проводить регулярную геолого-экономическую оценку запасов на действующих горных предприятиях и на этой основе осуществлять оперативное, текущее и перспективное планирование производства.

В.М. Гурецкий и В.А. Копаев /24/ формулируют ряд принципов дифференцированного определения минимального промышленного и бортового содержания металла в руде по этапам разработки месторождения и его отдельным участкам. Нужно учитывать, что руда конкретного участка месторождения на каждом этапе его освоения приобретает новую стоимость, так как в нее вкладывается труд и производятся необходимые затраты. Соответствующим образом должны меняться кондиции и границы выемки запасов из недр.

Несмотря на то, что содержание металла в руде - один из важнейших факторов, влияющих на себестоимость конечного продукта, эксплуатация обогащенных участков еще не гарантирует низких удельных затрат на производство этого продукта.

В работе /24/ на практических примерах показано, как в резко дифференцированных горно-геологических условиях нивелируются различия в затратах, определяемых применяемой системой разработки. При этом себестоимость добычи руды "дешевой" системой нередко выше, чем "дорогой",

применяемой на участках со сравнительно легкими условиями эксплуатации.

По мнению авторов, ни один из факторов, влияющих на величину затрат при рассмотрении конкретного участка месторождения, нельзя считать главным: в одном случае им может быть содержание металла, в другом - угол падения, в третьем - мощность рудного тела и т.д. Поэтому они рекомендуют учитывать все факторы и при оценке запасов использовать синтезирующий показатель - себестоимость конечного продукта.

В отличие от большинства других исследователей В.М. Гурецкий и В.А. Копаев считают, что при обосновании кондиций нельзя учитывать только предстоящие затраты, так как на каждом этапе производства конечного продукта (разведка, вскрытие, подготовка и т.д.) создается новая стоимость, входящая в его полную стоимость, и поэтому не может быть исключена из расчетов. В связи с этим они предлагают принимать решение о целесообразности продолжения работ на любом этапе исходя из уже произведенных средних (по группе объектов) и индивидуальных предстоящих (для данного объекта) затрат.

Обоснование параметров кондиций и выбор технологии ведения горных работ рекомендуется проводить совместно, применяя критерий "максимум условной прибыли", которая рассчитывается по

$$d = \frac{M_n}{M_p} (\Pi - K \cdot C_{cp} - C_{пр}), \quad (1.3)$$

где M_n - проектируемое количество извлекаемого металла при разработке участка (эксплуатационного блока); M_p - погашаемое количество запасов металла; Π - допустимые (максимальные) эксплуатационные затраты на 1 т извлекаемого металла; K - коэффициент готовности продукции, показывающий удельный вес средних затрат при выполнении данного этапа работ относительно всех средних затрат, необходимых для производства единицы продукции ($0 \leq K \leq 1$); C_{cp} - средние эксплуатационные затраты на 1 т извлекаемого металла; $C_{пр}$ - необходимые предстоящие (при рассмотрении запасов на данном этапе работ) эксплуатационные затраты на 1 т извлекаемого металла. Из-за сложной взаимосвязи между величинами, входящими в формулу (1.3), оптимизацию параметров кондиций и технологии разработки предлагается проводить методом

вариантов.

В несколько видоизмененном виде критерий условной прибыли описан в работе /25/

$$D = M_k \cdot C_3 - Q_p \cdot (C_p + I_{\text{эт}}), \quad (1.4)$$

где M_k - количество получаемого конечного продукта; C_3 - предельная себестоимость 1 т конечного продукта; Q_p - количество руды, подлежащей извлечению; C_p - предстоящие затраты, отнесенные на 1 т извлекаемых запасов руды; $I_{\text{эт}}$ - затраты прошлых работ, выполненных к данному этапу.

Таким образом, автор по-прежнему считает, что при оценке запасов нужно учитывать как уже произведенные, так и предстоящие затраты. Вместе с тем, под оптимальными он понимает такие запасы, которые обеспечивают минимум удельных приведенных затрат на производство 1 т полезного компонента. Предельные же затраты определяются как эксплуатационные затраты на прирезаемую часть запасов. Они могут быть выше или, ниже оптовой цены. Их численное значение рассчитывается по формуле

$$C_3 = \frac{Z_{\text{опт}} S_{1\text{опт}} - Z_x S_{1x}}{Z_{\text{опт}} - Z_x}, \quad (1.5)$$

где C_3 - предельная себестоимость конечного продукта; $Z_{\text{опт}}$, Z_x - запасы полезного компонента по оптимальному и смежному с ним варианту оконтуривания; $S_{1\text{опт}}$, S_{1x} - эксплуатационные затраты на 1 т полезного компонента по указанным вариантам.

Предельные затраты предлагается определять по каждому отдельному месторождению и даже участку вне связи с отраслью, что не совсем верно. Не ясно также и то, почему оценка и оконтуривание запасов отдельных участков должны выполняться по критерию "максимум условной прибыли", тогда как оптимальными считаются запасы месторождения, обеспечивающие минимум удельных приведенных затрат на производство 1 т полезного компонента

Хороший пример высокой эффективности дифференцированной оценки запасов руд по их технологическим свойствам приведен в работе /26/. По расчетам в условиях Качкарского ГОКа часть горных пород (~ 4 млн. т, вывозимых в отвал) целесообразно направлять в переработку, а около 0,5 млн. т руды, поступающей на

обогажительную фабрику, считать пустой породой. Решение этой задачи стало возможным после выявления четких зависимостей показателей обогащения от типа руд и содержания в них полезных компонентов. На их основе была проведена локальная оценка участков месторождения по критерию удельной прибыли.

В.Р. Рожков /27/ выступает за более частые пересмотры кондиций, а также обоснование специальных их параметров для различения медных и медно-свинцовых руд Джекказганского месторождения. Последняя задача возникает в связи со значительной (почти в 2 раза) разницей в уровне затрат на переработку указанных руд, а также потому, что медь и свинец в разноименных концентратах являются вредными примесями, содержание которых влияет на сортность выпускаемой продукции и ее цену.

В.А. Симаков /28,29/ вводит в расчеты кондиций вместо оптовых цен на металлы замыкающие затраты, названные им себестоимостью компенсации. Он отмечает, что важным условием правильного экономического сопоставления разных вариантов оконтуривания залежей должно быть равенство количества готового продукта по всем намечаемым вариантам, а в качестве критерия оптимальности предлагает принять минимум народнохозяйственных затрат на получение этого количества продукта.

Практическое подтверждение этот вывод получил в работе /30/ где проведен анализ соответствия величины промминимума требованию окупаемости затрат на добычу и переработку руды на рудниках Хрустальненского ГОКа. Установлено, что в ряде случаев себестоимость металла, получаемого из руд с минимальным промышленным содержанием, в 2-3 раза превышает оптовую цену. Часто значение промминимума на объектах с высокой себестоимостью металла меньше, чем на месторождениях с низкой себестоимостью, и наоборот. Вследствие этого за баланс неоправданно выводятся запасы, эксплуатация которых могла обеспечить получение более дешевого металла.

Авторы высказываются за необходимость упорядочить на рудниках действующие кондиции при условии, что это не приведет к сокращению запасов по комбинату в целом. Кроме того, требуется подтвердить возможность реализации

этого мероприятия перспективным планом развития производственных мощностей действующих и премируемых рудников. С этой целью предлагается решать соответствующую оптимизационную задачу.

П.Л. Хрущов /31/ считает, что факт принятия оптовых цен за экономическую основу кондиций для многих видов минерального сырья противоречит основному принципу социалистического хозяйствования цель которого - наиболее полное удовлетворение потребностей общества при наименьших затратах. Для устранения этого противоречия кондиции должны рассчитываться на основе предельной себестоимости, устанавливаемой по результатам работы ряда нормально функционирующих предприятий с наибольшей себестоимостью готовой продукции в отрасли. При существенном различии в уровне удельных капвложений по отдельным месторождениям вместо замыкающей себестоимости нужно использовать предельные приведенные затраты. Такой подход позволит избежать оставления в недрах таких запасов, разработка которых могла быть эффективнее, чем на замыкающей предприятиях.

С системных позиций подходит к задаче обоснования кондиций Н.М. Тестер /32/, который предлагает устанавливать браковочные содержания металла на рудниках при одновременном рассмотрении деятельности всех взаимосвязанных предприятий и отраслей, вплоть до народного хозяйства. В такой постановке трудности решения задачи резко возрастают. Выход из положения он видит в поэтапной оптимизации кондиций на разных уровнях управления. Предлагаемый подход к установлению параметров кондиций был апробирован в условиях Кривбасса. По каждому руднику разрабатывалось несколько вариантов отработки шахтного поля с разными значениями бортового содержания металла. В результате решения задачи выбраны те из них, которые обеспечивают с наибольшей эффективностью суммарный объем добычи руды и ее качество по бассейну, необходимые для выплавки заданного количества чугуна при выделенном лимите капвложений.

Такова суть наиболее интересных с позиций данного исследования работ, выполненных к середине 70-х годов по проблеме обоснования предельных

показателей качества полезных ископаемых, вовлекаемых в добычу на горных предприятиях.

Их анализ показал, что к тому времени еще не были до конца решены многие вопросы, стоящие в этой области. Разные авторы по-разному формулируют и трактуют принципы, на которых должны строиться расчеты параметров кондиций. Противоречивые мнения высказываются в отношении учета предстоящих, прошлых и замыкающих затрат, правомерности и экономической целесообразности первоочередной выемки из недр обогащенных участков залежей, уровня рентабельности эксплуатации граничных запасов. Вместе с тем наряду с натуральными начинают применяться стоимостные показатели кондиций, чаще проводится дифференцированная, поблочная оценка запасов на рудниках, отмечается стремление увязать кондиции с планами развития производства, учесть состояние сырьевой базы отраслей, а также с наименьшими затратами удовлетворить потребности в продуктах переработки минерального сырья.

Отсутствие единства мнений специалистов по многим вопросам, связанным с рассматриваемой проблемой, мешало скорейшему внедрению новых, прогрессивных идей, направленных на повышение научной обоснованности параметров кондиций. Давно уже назрела необходимость создания общепризнанной методической базы для оконтуривания и оценки запасов полезных ископаемых. По заданию ГКНТ СССР к решению этой задачи были привлечены многие институты горного профиля, которые в течение 1976-1980 гг. выполнили обширные исследования по выявлению и устранению имеющихся недостатков в данной области. Ниже проведен обзор работ, опубликованных в этот период, и дан анализ существующего положения в деле создания научных основ определения и применения эксплуатационных кондиций, предназначенных для оконтуривания и оценки запасов полезных ископаемых на действующих горных предприятиях.

§ 3. Современное состояние теории и практики обоснования эксплуатационных кондиций

В последние годы отмечается тенденция к резкому росту числа публикаций, посвященных различным аспектам рассматриваемой проблемы. Большой вклад в ее решение внесли академик М.И. Агошков, З.А. Терпогосов, А.М. Сиразутдинов, Н.В. Дронов, Ю.А. Агабелян, В.К. Плеханов, М.Б. Естаев, З.К. Каргажанов, М.А. Яковлев и др.

Широкое распространение получил термин "эксплуатационные кондиции", Так называется система предельных величин, которые должны дополнить постоянные геологические кондиции и обеспечить контроль за рациональным использованием разведанных запасов на стадии эксплуатации месторождений. Часто применяется другое их название – "дифференцированные кондиции".

В результате исследований вскрываются все новые и новые факты, подтверждающие недостатки существующей методической оконтуривания и оценки запасов полезных ископаемых посредством постоянных геологических кондиций, раскрывается сущность и определяется состав эксплуатационных кондиций, предлагаются методы их расчета, формируются принципы их практического применения.

Так, З.А. Терпогосов /33,37,38/ указывает на значительные различия минимального промышленного и бортового содержания на разных объектах вольфрамо-молибденовой промышленности, а также на длительные промежутки времени между очередными пересмотрами действующих кондиций. Он отмечает, что огромные потери полезных ископаемых допускаются при системах с блоковым обрушением вследствие того, что выпуск руды часто прекращается при содержании металла, в 1,5-2 раза превышающем минимальное промышленное. В связи с этим на действующих горных предприятиях рекомендуется применять следующие параметры эксплуатационных кондиций (так называемые предельные показатели качества): а) минимальное среднее качество (содержание) запасов полезного ископаемого в выемочной единицы; б) бортовое содержание для оконтуривания запасов выемочной единицы; в) максимально допустимое содержание вредных примесей г) минимальное качество (содержание) в дозе добытой массы полезного ископаемого.

В основу их расчетов положено равенство предстоящих затрат на добычу и переработку 1 т полезного ископаемого и извлекаемой ценности конечной продукции, исчисленной по предельным (замыкающим) затратам.

В целях увязки требований рационального использования запасов с планом по качеству добываемого сырья вводится дополнительный показатель кондиций - минимальное качество (содержание) добытого полезного ископаемого в плановом периоде. Он определяется исходя из условия обеспечения заданной рентабельности работы предприятия с учетом полных приведенных затрат на добычу и переработку 1 т руды.

А.Е. Танделов /34/ также считает, что при эксплуатации месторождения необходимо оценивать добытую руду по минимальному среднеквартальному или годовому содержанию металла, которое обеспечивает заданную рентабельность работы предприятия. Это объясняется тем, что в начальный период работы предприятия требуется полностью окупить капиталовложения. Поэтому, если концентрация металла в добываемой руде ниже необходимого уровня, следует вывести из отработки блок с низким содержанием металла и ввести с более высоким. После того как капиталовложения полностью окупятся, в отработку могут вовлекаться все блоки, среднее содержание металла в которых окупает предстоящие затраты (приведенные или эксплуатационные в зависимости от того, нужны дополнительные капитальные затраты или нет).

Как отмечалось, при таком подходе на первом этапе работы предприятия возможны большие потери запасов рядовых руд из-за их подработки в результате выемки более богатых участков месторождения.

Л.А. Гусев /35/ анализирует особенности установления эксплуатационных кондиций на жильных месторождениях, для которых характерны резко дифференцированные горно-геологические условия.

Значительные колебания мощности и углов падения жил, устойчивости руд и вмещающих пород, изменчивость контакта между ними существенно влияют на технологию добычи. При разработке тонких жил допускается высокое разубоживание, в результате чего резко снижается качество руды, поступающей на

переработку. Эти факторы определяющие и поэтому должны обязательно учитываться при обосновании границ выемки запасов жил из недр.

По мнению З.К. Каргажанова /36,43/, на стадии эксплуатации месторождений должны действовать два вида кондиций. Первые - так называемые единые кондиции предназначаются для разделения балансовых и забалансовых запасов по месторождению в целом. По своему составу они не отличаются от постоянных кондиций, но при их расчете учитываются только предстоящие затраты и не принимаются во внимание капвложения в строительство рудника, а также стоимость горно-капитальных и горно-подготовительных выработок. Вторые - дифференцированные эксплуатационные кондиции служат для разграничения балансовых и забалансовых запасов отдельных участков или блоков месторождения. В их состав входят минимальное промышленное содержание полезных компонентов в выемочной единице, рудной массе и забалансовой руде, промминимум на контуре выемки.

Основной принцип определения единых и дифференцированных эксплуатационных кондиций - достижение максимального экономического эффекта от промышленного использования запасов месторождения. В качестве измерителя ценности принимаются замыкающие затраты или единая предельно допустимая себестоимость конечного продукта.

Представляет интерес вопрос об обосновании промминимума на контуре выемки по мощности, простиранию и падению залежей. В то же время положение о том, что между мощностью рудного тела, себестоимостью добычи и кондициями нет строгой обратной зависимости, противоречит данным практики и результатам исследований. Эта зависимость особенно сильно проявляется на месторождениях тонких жил, а при разработке мощных залежей она также имеется, хотя и не в столь явной форме.

В работах /39,40/ приведены конкретные примеры, когда изменение кондиции благоприятно повлияло на технико-экономические показатели работы предприятий. Кроме того, рекомендуется следующий состав эксплуатационных кондиций: бортовое содержание на контуре выемки, минимальное среднее

содержание в выемочной единице, минимальное содержание в дозе добытой смеси и изолированном блоке. В основу методики положен принцип учета предстоящих затрат. Ввиду отсутствия узаконенных замыкающих затрат на продукцию цветной металлургии допускается применение оптовых цен.

Н.В. Дронов /41,42/ предлагает дифференцировать минимальное промышленное и бортовое содержание по этапам разработки, а также ввести специальный регулирующий показатель кондиций минимальное выемочное содержание на плановый период. Он подчеркивает, что наряду с выполнением функции по разделению запасов на кондиционные и некондиционные необходимо посредством эксплуатационных кондиций регулировать очередность отработки балансовых запасов разного качества.

По его мнению, существует принципиальная несогласованность между результатами повариантного определения бортового содержания и аналитического расчета минимального промышленного содержания. Ее причину он видит в том, что в первом случае в основу оценки положен принцип окупаемости предстоящих (приростных) затрат, а во втором учитываются полные затраты. Поэтому балансовые запасы, оцененные этими способами, не совпадают.

Н.В. Дронов выступает за введение на действующих горных предприятиях двух видов кондиций - поэтапно уточняемых геологических и эксплуатационных и указывает на необходимость создания единого аппарата их оптимизации. В его основе должен лежать принцип максимизации суммарного (за период отработки месторождения) народнохозяйственного эффекта от промышленного использования запасов. Количественная оценка этого эффекта представляется в виде дисконтированной за период эксплуатации месторождения дифференциальной горной ренты. Повариантные расчеты позволяют определить оптимальные (по данному критерию) кондиции.

Однако при такой укрупненной оценке запасов невозможно определить кондиционность отдельных выемочных единиц. Поэтому автор пытается найти простую аналитическую форму представления кондиций, которая бы не противоречила исходному условию получения максимального эффекта от

отработки запасов месторождения.

Исходя из того, что максимум эффекта достигается при нулевой эффективности эксплуатации граничных запасов, Н.В. Дронов выводит следующее обобщенное выражение для расчета любых кондиций

$$C_r = \frac{C_{pr} + R_{31} \left[1 - \frac{1}{(1+E)^{w \cdot T_1}} \right]}{0.01 \cdot \Pi_3 \cdot K_k \cdot E_r}, \quad (1.6)$$

где C_r - качество (содержание) граничных запасов; C_{pr} - прямые и сопряженные предстоящие затраты, связанные с использованием 1 т граничных запасов; R_{31} - недисконтированная выравненная рента при варианте без включения в выемку граничных запасов; E - норматив дисконтирования эффекта; T_1 - срок отработки запасов месторождения при варианте без включения в выемку граничных запасов; w - постоянный коэффициент, принимающий значения 1; 0,5 и 0 в зависимости от того, когда отрабатываются граничные запасы: в начале, в течение всего срока или в конце эксплуатации месторождения; Π_3 - замыкающие затраты на производство 1 т металла (конечного продукта); K_k - коэффициент изменения качества полезного ископаемого при добыче; E_r - извлечение металла при переработке граничных запасов.

Второе слагаемое в числителе формулы (1.6) вводится для учета снижения кругооборотного эффекта в результате того, что при добыче граничных запасов получение ренты R_{31} смещается на более поздние годы эксплуатации месторождения.

Если отработку таких запасов намечается производить в конце периода эксплуатации, то $w = 0$ и указанное слагаемое также обращается в нуль, поскольку рента в полном объеме будет получена в течение всего периода T_1 . При добыче граничных запасов в начале разработки, месторождения $\omega = 1$ и отрицательный эффект недополучения ренты проявляется в наибольшей степени. Это находит отражение в том, что величина кондиционных показателей, рассчитанных для данного случая, максимальна. Промежуточным является вариант с равномерным погашением граничных запасов, когда коэффициент $\omega = 0,5$.

Таким образом, Н.В. Дронов считает, что кондиционное содержание должно

окупать не только предстоящие затраты, но и предстоящее снижение кругооборотного эффекта в результате добычи руды с предельно допустимым качеством вместо руды со средним качеством.

Насколько известно, его работа - первая попытка учета фактора времени при обосновании параметров кондиций с целью соизмерения текущих и долгосрочных народнохозяйственных интересов. При таком подходе целесообразно поэтапное снижение кондиций в период эксплуатации месторождения, производится их увязка с пространственным расположением граничных запасов, оценивается возможность сохранения этих запасов и целесообразность вовлечения в отработку в тот или иной момент времени. Эти достоинства предлагаемой методики требуют соответствующей проверки на практике.

К.А. Яковлев /44/ обосновывает состав кондиций при разработке месторождений с неравномерным оруденением. На этих объектах в периферийных частях промышленного контура часто остаются невыявленные запасы, в то время как часть самой зоны оказывается некондиционной. Наблюдается завышение кондиций, приводящее к сокращению балансовых запасов. Поэтому предприятия проектируются на небольшую мощность. Отмечается необходимость составления кондиций для забалансовых запасов. При обосновании кондиций для небольших рудных тел нужно учитывать их зависимость от величины запасов, так как это приводит к существенному изменению затрат на горнопроходческие работы и добычу.

В отличие от других авторов М.А. Яковлев считает, что в составе кондиций должна фигурировать максимальная величина безрудного прослоя, включаемого в контур отработки. Кроме того, он предлагает применять такие показатели, как минимально допустимое содержание полезных компонентов в блоке, граничном контуре при отбойке, в последней дозе добываемой руды, в руде попутной добычи при горнопроходческих работах, поступающей в переработку, а также направляемой в отвалы забалансовых руд.

Автор учитывает реально существующую связь между параметрами кондиций и показателями качественных и количественных потерь при добыче и

предлагает проводить их оптимизацию на основе "Типовой методики экономической оценки последствий потерь" с использованием критерия максимума прибыли (или дифференциальной горной ренты), получаемой с 1 т запасов. Анализ показал, что равенство извлекаемой ценности конечной продукции и предстоящих затрат на производство обеспечивает получение максимального народнохозяйственного эффекта.

М.Б. Естаев /45,46/ обращает внимание на то, что в себестоимости конечной продукции предприятий цветной металлургия преобладают затраты на добычу руды. Их доля для золота и редких металлов составляет не менее 80%, а по многим видам цветных металлов - около 70%. Поэтому колебания себестоимости добычи существенно влияют на экономическую эффективность производства и уровень кондиций.

Он считают, что индивидуальные кондиции по выемочным единицам должны устанавливаться исходя из принципа обеспечения максимального народнохозяйственного эффекта от промышленного использования запасов полезного ископаемого на основе методики оценки экономических последствий от потерь полезных ископаемых при разработке месторождений. Кроме таких показателей кондиций, как минимальное промышленное содержание полезных компонентов в запасах выемочной единицы, прирезка к балансовым запасам, руде попутной добычи, бортовое содержание полезных компонентов на контуре балансовых запасов и другие, вводится нормативное содержание полезных компонентов по запасам выемочных единиц, извлекаемых в плановый период. Под нормативным понимается такое среднее содержание в запасах всех выемочных единиц, намечаемых к извлечению в плановый период, извлекаемая ценность которого обеспечит не только возврат произведенных затрат на его производство, но и нормативную эффективность. Указанные показатели должны определяться и утверждаться по всем включенным в план выемочным единицам одновременно с годовым планом ведения горных работ.

В работе /47/ приведен пример обоснования промминимума на одном из разрабатываемых месторождений. Его величина рассчитывалась исходя из

усредненных предстоящих затрат и применялась не к отдельным мелким эксплуатационным блокам, а к их группе, объединенных в так называемый условный подсчетный блок размером не более полугодового объема добычи. Этот блок может включать ряд даже разрозненных выемочных единиц с однородным вещественным составом руд, одинаковой степенью разведанности в пределах одного или нескольких рудных тел с общими вскрывающими выработками. Во всех случаях себестоимость металла из прирезаемых запасов (по мощности, падению, простиранию) должна быть ниже действующей цены.

Помимо прочих в состав эксплуатационных кондиций для жильных месторождений предлагается ввести максимальный размер по простиранию некондиционного участка, включаемого в подсчет запасов /48/. Этот показатель определяется путем сравнения ущерба, связанного с добычей и переработкой пустых пород или некондиционных руд, и дополнительных затрат от изменения схем подготовки.

Кроме того, необходимо указывать нижние пределы учитываемых содержаний попутных компонентов и коэффициенты их приведения к основному металлу.

Ю.А. Агабалян /49/ критикует сложившуюся практику установления кондиций с использованием оптовых цен и выступает за проведение промышленной оценки запасов по замыкающим и предстоящим затратам. Он обращает внимание на то, что проекты кондиций составляются без учета основных положений методики определения экономической эффективности капиталовложений, в них не решаются задачи выбора оптимальных вариантов технологии добычи и переработки руды, интенсивности разработки, полноты извлечения и др.

Исследование базируется на эквивалентности задачи минимизации приведенных затрат при условии выравнивания возможных вариантов решений по объемам выпускаемой продукции, ее качеству и срокам производства и задачи безусловной максимизации дифференциальной ренты, получаемой при отработке каждого месторождения. В результате преобразований функций, связывающих между собой важнейшие показатели эксплуатации месторождения, он приходит к

стоимостному выражению минимального промышленного содержания и на его основе делает вывод о том, что при определении этого параметра кондиций должны учитываться только предстоящие затраты, приходящиеся на 1 т приращиваемых запасов.

В работе доказывается необходимость определения минимального промышленного содержания в зависимости от значений мощности рудного тела в отдельных выемочных единицах, устанавливается аналитическая зависимость между стоимостными выражениями промминимума и бортового содержания. Так как для разных систем разработки должны быть разные значения минимального промышленного содержания, предлагается выбирать экономически целесообразную систему по наименьшей величине промминимума.

В отличие от многих авторов, которые исходят из того, что максимум ренты от эксплуатации месторождения достигается при нулевой эффективности разработки граничных запасов, Ю.А. Агабалян считает необходимым и достаточным максимизировать дифференциальную ренту при отработке каждого отдельного блока.

В.К. Плеханов /50/ под средним минимальным промышленным содержанием металла понимает содержание, извлекаемая ценность которого обеспечиваем получение нормативной прибыли. Оно относится ко всему месторождению или его части с запасами, обеспечивающими производственную мощность рудника в течение месяца, квартала, года. Введение этого показателя необходимо для оценки запасов, намечаемых к погашению в плановом периоде.

Минимальное промышленное содержание относится к отдельному блоку и обеспечивает возврат всех затрат на добычу и переработку руды. Бортовое содержание в краевых пробах и минимальное в последней дозе выпуска определяются исходя из условия окупаемости предстоящих затрат, приходящихся на 1 т руды.

Эти кондиции устанавливаются по следующей схеме: отбор конкурирующих систем разработки, нахождение зависимости балансовых и извлекаемых запасов выемочной единицы от бортового содержания, расчет параметров

эксплуатационных кондиций, определение соответствующих балансовых и извлекаемых запасов, а также нормативного уровня извлечения руды для конкурирующих вариантов систем и вариантов оконтуривания, проверка на допустимость расхождения между предыдущим (принятым при расчете кондиций) и последующим (расчетным) значениями коэффициента извлечения руды. Если расхождение превышает допустимую ошибку, то расчет повторяется с определения кондиций. В противном случае производятся экономическая оценка и выбор оптимальной системы разработки и извлекаемого количества запасов. Соответствующий уровень извлечения руды принимается за нормативный.

Такая постановка задачи совместного обоснования кондиций, систем разработки и нормативов качественных и количественных потерь очень важна и актуальна. Это объясняется тем, что существующие инструктивные материалы ориентированы на решение частных задач и недостаточно увязаны между собой. Поэтому проводить на их основе комплексную оптимизацию взаимообусловленных параметров эксплуатации запасов полезных ископаемых невозможно.

Авторы работы /51/ предлагают, варьируя бортовым содержанием и системой разработки, добиваться наименьшего значения величины минимального промышленного содержания в эксплуатационном блоке. И их трактовке бортовое содержание на стадии эксплуатации - это наименьшее содержание полезного компонента в пробе (группе проб), обеспечивающее наибольший дифференциальный горный доход (ренту) от отработки запасов эксплуатационного (выемочного) блока. В этом плане данная точка зрения совпадает с мнением Ю.Д. Агабаляна.

Авторы считают, что при определении минимального промышленного содержания для выемочного блока нужно учитывать полные эксплуатационные расходы, а бортовое содержание рассчитывать по предстоящим затратам. Стремление к получению прибыли с наихудшего блока и использование в расчетах кондиций приведенных затрат может быть оправдано, на их взгляд, только для месторождений бедных руд, в которых среднее содержание близко к минималь-

ному промышленному.

А.П. Попов /52/ акцентирует внимание на необходимости учета при обосновании кондиций реально существующей зависимости коэффициента извлечения полезного компонента в концентрат от его содержания в руде. Как отмечалось, игнорирование этой зависимости приводит к завышению или занижению минимального промышленного содержания и неправильной оценке запасов. Предлагается графический метод решения уравнений, связывающих указанные величины.

М.А. Белов /53/ в качестве основополагающих принципов, которыми следует пользоваться при решении широкого круга задач горного производства (в том числе и рассматриваемых здесь), называет безопасное ведение горных работ, охрану окружающей среды, достижение максимального народнохозяйственного эффекта и рациональное использование запасов полезных ископаемых.

Он считает, что народнохозяйственный эффект наиболее полно отражается разновидностью дифференциальной горной ренты - расчетной денежной оценкой месторождения. Понятие "рациональное использование запасов" требует конкретизации в зависимости от степени дефицитности полезного ископаемого. Так, при разработке руд цветных, черных металлов, асбеста, графита, слюды вполне оправдано стремление к их максимальному и экономически обоснованному извлечению из недр. В то же время выдвигать такое требование для повсеместно распространенных видов полезных ископаемых (стройматериалы, граниты и др.) он считает излишним.

В статье приведена классификация полезных ископаемых по степени дефицитности и для каждого вида сформулированы условия их рационального использования. Для дефицитных полезных ископаемых таким условием является требование полной окупаемости предстоящих затрат, приходящихся на 1 т руды, извлекаемой ценностью руды, исчисленной в замыкающих затратах, а для малодефицитных - использование наилучших запасов в целях обеспечения потребности не менее чем на 30 лет или окупаемость (по замыкающей себестоимости) прямых приведенных затрат. Для недефицитных видов полезного

ископаемого предлагается ориентироваться на достижение максимального народнохозяйственного эффекта при обеспечении потребности на минимальный планируемый период.

Такой дифференцированный подход к решению горно-экономических задач вполне оправдан, так как позволяет учесть фактическое состояние сырьевой базы различных видов полезных ископаемых, степень их дефицитности, уровень потребности в конечной продукции и обеспечивает возможность существенной экономии народно-хозяйственных средств.

М.С. Суменков, В.М. Кисляк, Н.Я. Еремин /54/ анализируют возможности снижения бортового содержания металла в руде при формировании производственной программы работы горно-обогатительного комбината. Для решения этой задачи разработана экономико-математическая модель определения оптимальных объемов добычи различных типов руд. В качестве целевой функции используется показатель годовой прибыли предприятия. В оптимальном плане фигурируют не только объемы добычи различных типов руд на каждый планируемый период, но и объемы добычи некондиционных и труднообогатимых руд по участкам месторождения.

Главный недостаток разработанной модели - большая сложность и размерность. Поэтому авторы предлагают статическую постановку решаемой задачи, реализуемую методом направленного перебора. К сожалению, ничего не говорится о практической апробации этой методики.

В работе Ш.Ш. Байбусинова /55/ встречается положение о том, что бортовое содержание должно давать возможность оконтуривать запасы блока так, чтобы промминимум принимал наименьшее значение при выборе систем разработок. Величина промминимума должна окупать все расходы на добычу и переработку полезного ископаемого и устанавливаться по замыкающим затратам. На примере показано, что применение индивидуальных лимитов содержания по блокам обеспечило рост прибыли от эксплуатации запасов месторождения на 21% за счет уменьшения количества и повышения качества запасов. В данном случае в зависимости от поблочных затрат на добычу и обогащение руды и применяемой

системы разработки величина промминимума колебалась от 1,6 до 2,5% условного свинца, а бортового содержания - от 1 до 1,4%, т.е. в довольно широких пределах.

В работе /56/ указывается на необходимость определения минимального промышленного содержания для небольших рудных тел в зависимости от величины запасов.

Интересный подход к решению задач оптимизации полноты извлечения из недр запасов пластообразных рудных залежей предлагается в работе /57/, где рассматривается идея о представлении технико-экономических показателей добычи и переработки руды в виде изолиний.

Исходной информацией служат планы изомощности и изосодержания полезного компонента. Кроме того, устанавливается эмпирическая функция, отражающая влияние мощности рудного тела на себестоимость добычи 1 т руды. На этой основе строятся планы изолиний себестоимости, извлекаемой ценности руды и удельной прибыли, которые используются для решения указанных задач.

Такое представление основных экономических характеристик запасов может быть весьма полезно при установлении эксплуатационных кондиций и обосновании пространственных границ разработки рудных тел в данных условиях.

Подводя итог обзору работ по совершенствованию теории и практики обоснования кондиций на стадии эксплуатации месторождений полезных ископаемых, следует, прежде всего, отметить несомненный прогресс исследований, выполненных в этой области. В центре внимания специалистов находятся вопросы повышения точности установления экономически целесообразных границ выемки запасов из недр. Это достигается за счет большей детализации расчетов при определении параметров кондиций. Укрупненная оценка минеральных ресурсов по средним технико-экономическим показателям уже не удовлетворяет современным требованиям, предъявляемым к рациональному использованию сырьевой базы действующих предприятий. Нужна поблочная оценка, основанная на учете индивидуальных качественных, количественных и экономических характеристик запасов выемочных единиц.

Для этого в практику работы горных предприятий должны быть введены

эксплуатационные кондиции, которые бы дополняли геологические и служили инструментом для уточнения и корректировки промышленных контуров, установленных на предыдущих этапах оценки запасов. Рекомендуемый разными авторами состав кондиций в деталях отличается друг от друга. Многие считают, что кроме запасов в недрах должны оцениваться полезные ископаемые, добытые в очистных и проходческих забоях. Как правило, в основу расчетов кондиций положен принцип полной окупаемости предстоящих затрат извлекаемой ценностью, установленной по предельной (замыкающей) себестоимости конечной продукции.

Предпринимаются попытки увязать кондиции с плановыми показателями работы предприятий, учесть фактор времени, проводить их совместное обоснование с параметрами системы разработки и т.д.

Несмотря на очевидные достижения в рассматриваемой области, существует еще много нерешенных вопросов. Исследование и учет взаимосвязи между бортовым и минимальным промышленным содержаниями полезных компонентов в оцениваемых запасах; согласование и взаимоувязка параметров постоянных геологических и эксплуатационных (дифференцированных) кондиций; учет фактора времени и регулирование очередности, интенсивности и полноты разработки запасов разного качества; совместная оптимизация кондиций, систем разработки и нормативов качественных и количественных потерь полезного ископаемого; связь основных положений по обоснованию эксплуатационных кондиций с Типовой методикой определения экономической эффективности капиталовложений и Типовыми методическими указаниями по экономической оценке потерь твердых полезных ископаемых при их добыче; отсутствие нормативов замыкающих затрат на многие продукты добычи и переработки минерального сырья; согласование результатов оценки запасов по замыкающим затратам с хозрасчетными интересами предприятий и многие другие вопросы требуют проведения дальнейших исследований по созданию теоретических основ установления и применения кондиций в деятельности горных предприятий. Однако это не означает, что практическая реализация некоторых идей

дифференцированной оценки запасов полезных ископаемых должна отодвигаться на неопределенное время. Крайне необходимо их скорейшее и повсеместное распространение на действующих рудниках и шахтах для уточнения и детализации промышленных контуров, установленных по постоянным геологическим кондициям.

По результатам выполненных исследований в ИПКОН АН СССР при широком участии других организаций был разработан проект Типовых методических положений (ТМП) применения кондиций на твердые полезные ископаемые в процессе разработки месторождений /2/. Здесь в наиболее общей и доступной форме отразилось современное представление специалистов о методологии оконтуривания и оценки запасов минерально-сырьевых ресурсов на горных предприятиях. Рассмотрим его основные положения.

В ТМП главным объектом промышленной оценки является не геологический блок (как в методике ГКЗ СССР /58/), а выемочный участок, т.е. определенная часть запасов месторождения, заключенная во вскрываемом горизонте, этаже, подэтаже, изолированной залежи, эксплуатационном блоке, уступе, панели, заходке, а также в их отдельных частях. Такое понимание объекта оценки открывает большие возможности для детализации расчетов кондиций и уточнения экономически целесообразных границ выемки запасов из недр.

Оконтуривание и оценка запасов выемочных участков производятся с использованием следующих параметров: предельно допустимого качества запасов на контуре выемочного участка – $C_{б.э.}$ а также выемочного участка месторождения – $C_{м.э.}$

Эти величины определяются исходя из условия равенства извлекаемой ценности конечной продукции, получаемой из единицы запасов, и предстоящих затрат на ее получение. Они рассчитываются по единой формуле

$$C_{эк} = \frac{З_{д.об.пр.}}{0,01k_k \cdot I_{об} \cdot I_{м}(Ц-Змм)}, \quad (1.7)$$

где $З_{д.об.пр.}$ - суммарные предстоящие затраты на добычу, транспортирование до обогатительного предприятия и обогащение 1 т добытого полезного ископаемого; k_k - коэффициент изменения качества полезного ископаемого при добыче; $I_{об}$,

I_m -коэффициенты извлечения полезного компонента (основного для комплексных руд) соответственно при обогащении и металлургическом переделе; C - оптовая цена (закрывающие затраты) единицы конечной продукции; Z_{mm} - сумма затрат на транспортирование продукта обогащения до металлургического завода и металлургический передел в себестоимости 1 т конечной продукции.

Кондиционность запасов выемочного участка оценивается путем сравнения фактического качества (содержания) его запасов C_ϕ с минимально допустимым $C_{m.э.}$, рассчитанным по формуле (1.7). Если выполняется неравенство $C_\phi \geq C_{m.э.}$, то участок признается кондиционным и может вовлекаться в разработку. При $C_\phi < C_{m.э.}$ его эксплуатация экономически не оправдана. Для комплексных руд величина C_ϕ характеризует условное содержание основного компонента, рассчитанное с использованием переводных коэффициентов.

В состав эксплуатационных кондиций входит также показатель предельно допустимого качества ископаемого, добытого из очистного и подготовительного забоев. С его помощью определяется экономическая целесообразность направления в переработку добытой горной массы. Он рассчитывается по формуле

$$C_{эк} = \frac{Z_{д.об.пр.}}{0,01I_{об} \cdot I_m(C - Z_{mm})}, \quad (1.8)$$

которая отличается от (1.7) отсутствием коэффициента изменения качества полезного ископаемого при добыче, так как в данном случае оцениваются не запасы в недрах, а уже добытое, т.е. разубоженное минеральное сырье. Очевидно также, что величина предстоящих затрат $Z_{д.об.пр.}$ в формулах (1.7) и (1.8) разная.

В целях регулирования очередности отработки запасов разного качества при обязательном сохранении бедных кондиционных участков залежей вводится еще один параметр - нормативное качество запасов, вовлекаемых в разработку в плановый период, обеспечивающее плановую эффективность работы предприятия. Соответствующая расчетная формула имеет вид

$$C_{эк} = \frac{Z_{д.об.} + N_{пр}}{0,01k_k \cdot I_{об} \cdot I_m(C - Z_{mm})}, \quad (1.9)$$

где $Z_{д.об.}$ - полная себестоимость добычи, транспортировки и обогащения 1 т

полезного ископаемого; $N_{пр}$ - плановая прибыль, отнесенная на 1 т добытого полезного ископаемого; C - цена единицы конечной продукции, по которой исчислена плановая прибыль предприятия; k_k - средний коэффициент изменения качества полезного ископаемого при разработке запасов, вовлекаемых в добычу в плановый период; $I_{об}$ - коэффициент извлечения полезного компонента при обогащении, соответствующий среднему качеству перерабатываемого сырья. Остальные обозначения прежние.

Расчетные формулы (1.7) и (1.8) аналогичны выражению (1.1), однако принципиальная разница между ними заключается в том, что в данном случае учитываются не полные, а предстоящие затраты на добычу, транспортировку и переработку руды. В ТМП принята ориентация не на усредненную, а дифференцированную оценку запасов выемочных единиц исходя из конкретных горно-геологических, технологических и экономических условий их разработки, причем оцениваются как запасы в недрах, так и добытое полезное ископаемое. Показатель нормативного качества контролирует уровень эффективности работы предприятия в плановом периоде, предусматривается оценка запасов по замыкающим затратам. Предложенные параметры не противопоставляются постоянным геологическим кондициям, а дополняют их в процессе разработки месторождений.

Таким образом, ТМП создают серьезную методическую базу для уточнения выемочных контуров залежей полезных ископаемых в целях своевременного вовлечения в эксплуатацию определенной части забалансовых (по действующим геологическим кондициям) запасов и списания утративших промышленное значение балансовых запасов. Для непосредственной реализации этих принципов на практике нужны отраслевые методики обоснования и применения кондиций, которые, сохраняя общие идеи, заложенные в ТМП, учитывали бы специфику работы предприятий при эксплуатации месторождений разных видов полезных ископаемых.

Однако при оконтуривании и оценке запасов рудных залежей специалисты по-прежнему руководствуются Инструкцией ГКЗ СССР. В ее новой редакции /50/

отмечается, что при выполнении ТЭО кондиций обязательным является обоснование рациональных способов вскрытия и разработки месторождения (участка), оптимальной производственной мощности предприятия, технологии добычи и переработки полезного ископаемого, потерь и разубоживания, мероприятий по охране недр и т.д. Однако конкретных положений по решению этих важнейших задач в ней нет.

В качестве оптимального варианта кондиций предлагается принимать тот, при котором обеспечивается максимальное комплексное использование разведанных запасов при заданном уровне рентабельности по отношению к производственным фондам.

В отношении забалансовых запасов указывается, что в ТЭО должна быть доказана возможность их сохранения в недрах для последующего извлечения или целесообразность попутного извлечения, складирования и сохранения для использования в будущем. Вводятся кондиции для этой категории запасов.

Главной причиной переутверждения постоянных кондиций является создание условий для экономически оправданного перевода забалансовых запасов в балансовые, если это существенно отражается на показателях экономической эффективности и производственных мощностях предприятия.

По этой инструкции основное назначение кондиций - определение промышленной ценности месторождений и подсчет в них запасов полезных ископаемых.

Что касается вопроса о детальной и оперативной оценке запасов выемочных единиц в процессе разработки месторождений, то в этом документе он не ставится. Поэтому Инструкция ГКЗ СССР и ТМП должны не исключать, а дополнять друг друга. Вместе с тем необходимо дальнейшее развитие научных основ и методов оптимального оконтуривания и оценки рудных залежей.

Среди крупных исследований, выполненных в последнее время в данной области, следует отметить работу А.М. Сиразутдинова Е.В. Жиганова, Ф.Г. Дороненко и др. /84/, в которой рассмотрен широкий круг вопросов, связанных с обоснованием параметров эксплуатационных кондиций при разработке

месторождений руд цветных металлов. Авторами сформулированы методические положения по определению оптимального масштаба, рациональной технологии и нормативных показателей извлечения запасов из недр при применении эксплуатационных кондиций. Приведены типовые технико-экономические расчеты с их использованием.

Однако значительная сложность рассматриваемой проблемы требует продолжения работ в этом направлении.

Глава 2. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ГРАНИЦ РАЗРАБОТКИ ЗАПАСОВ

§ 1. Представление о месторождении как о большой и сложной системе

В последнее время много говорят и пишут о системном анализе, комплексном подходе, программно-целевых методах планирования и управления, получающих признание в самых разных сферах человеческой деятельности. Это объясняется тем, что системная методология позволяет с большой эффективностью решать очень сложные проблемы, возникающие на практике, а ее основные принципы действительны в любых областях науки и техники, экономики и даже политики /59-62/.

Понятие "система" настолько широко, что может распространяться почти на любой достаточно сложный объект.

В этом отношении не является исключением и месторождение полезных ископаемых, которое с полным основанием можно рассматривать как большую и сложную систему, состоящую из множества объектов оценки и эксплуатации и являющуюся неотъемлемой частью системы более высокого уровня. В последнюю входит группа месторождений определенного вида полезного ископаемого, составляющих сырьевую базу комбината, объединения или подотрасли.

При анализе структуры любого месторождения легко обнаруживаются объекты разного масштаба. Это - пространственно разобщенные участки,

состоящие из ряда рудных залежей, которые расчленяются на подсчетные геологические блоки. С помощью горных выработок они разбиваются на отдельные горизонты, панели, эксплуатационные блоки, камеры и т.д.

Пространственные границы рудных тел устанавливаются главным образом по разведочным пересечениям (скважинам и выработкам), сгруппированным в геологические разрезы (сечения). В свою очередь, каждое пересечение состоит из множества интервалов опробования.

Таким образом, характерное свойство рассматриваемой системы - объективно существующая иерархия запасов, согласно которой объекты нижележащих уровней являются подсистемами объектов верхних уровней. Эта иерархия строится по схеме: интервал опробования, разведочное пересечение, геологический разрез, блок запасов, горизонт, рудное тело, участок месторождения, месторождение и их группа, представляющая сырьевую базу определенного вида производства. По этой же схеме организуется геологоразведочная информация о запасах полезных ископаемых, содержащая необходимые данные об их качественных и количественных характеристиках.

К указанной иерархии должна быть привязана и система параметров, обеспечивающих возможность управления характеристиками запасов, предназначенных к эксплуатации.

Рассмотрим самый нижний уровень этой иерархии - уровень интервалов опробования.

Когда отсутствуют четкие геологические границы рудных тел, для их оконтуривания по мощности используют один из важнейших показателей кондиций - бортовое (наименьшее) содержание полезного компонента в краевых пробах, включаемых в промышленный контур. С его помощью производится отбраковка некондиционных и выделение кондиционных интервалов опробования по разведочным пересечениям. Как будет показано ниже, понижая или повышая бортовое содержание, можно в определенных пределах менять пространственные границы и характеристики запасов промышленного контура в зоне влияния каждого пересечения. Поэтому данный параметр следует рассматривать как

управляемую переменную, значение которой требуется оптимизировать для установления наилучшего пространственного положения выемочных контуров рудных залежей по их мощности.

Разведочное пересечение в целом (или его часть) тоже может быть кондиционным или некондиционным. Чтобы определить это, применяют соответствующий оценивающий параметр - минимальное среднее содержание полезного компонента по пересечению. Варьируя его величиной, можно менять конфигурацию, линейные размеры и площадь разведочных разрезов. Соответствующим образом будут меняться основные характеристики запасов выемочного контура. На них влияют и бортовые содержания в краевых пробах по каждому из пересечений, представляющих разрезы или блоки.

Маломощные участки залежи оконтуриваются по минимальной выемочной мощности, обеспечивающей нормальные условия для выполнения технологических операций добычи полезного ископаемого. В тех случаях, когда мощность залежи ниже минимально допустимой, а содержание полезного компонента - выше минимального среднего, применяют другой кондиционный параметр – метропроцент (метрограмм). Он определяется как произведение минимальной выемочной мощности на минимальное среднее содержание и может рассматриваться как управляемый, прежде чем будет установлено его оптимальное значение. Особую роль этот показатель играет на месторождениях тонких жил, где его малейшие изменения заметно отражаются на технико-экономических показателях производства.

При оконтуривании рудных тел часто обнаруживается, что в пределах разведочных пересечений или сечений достаточно четко выделяются прослои некондиционных руд или пустых пород, которые могут участвовать в подсчете характеристик балансовых запасов или не могут. Решить этот вопрос можно посредством специального параметра кондиций - максимальной мощности прослоев некондиционных руд или пустых пород, включаемых в промышленный контур. В отдельных случаях его изменение существенно влияет на характеристики запасов, предназначенных для извлечения из недр. Поэтому его

тоже необходимо принять в качестве управляемой величины.

На следующем уровне данной иерархии запасов объектами анализа являются геологические или эксплуатационные блоки, для оценки которых используется такой показатель кондиций, как минимальное промышленное содержание полезного компонента в блоке (промминимум). Его величина зависит от конкретных условий разработки запасов и их количества, которые часто сами зависят от рассмотренных выше кондиционных параметров. Следовательно, есть все основания считать промминимум управляемой переменной, значение которой нужно оптимизировать.

Блоки - это достаточно крупные объекты играющие заметную роль в структуре запасов горизонтов, рудных тел и месторождений в целом. Их включение в промышленный контур или, наоборот, исключение из него могут иногда существенно влиять на масштабы и экономику производства. В результате обратной связи между показателями деятельности предприятий и кондициями последние претерпевают соответствующие изменения.

Характеристики оконтуриваемых запасов на вышележащих уровнях рассматриваемой системы, т.е. горизонтов, рудных тел, участков месторождения и т.д., зависят от совокупности указанных кондиционных параметров, применяемых на нижних уровнях системы, и поэтому они также управляемы. Кроме того, на них должны влиять очередность и интенсивность извлечения запасов из недр, технология добычи и переработки руды, степень удовлетворения потребности в конечной продукции, состояние сырьевой базы, действующие цены и др.

Упорядоченное представление описанных уровней иерархии исследуемой системы, соответствующих объектов оценки запасов и параметров управления их характеристиками приведено в табл.2.1.

Итак, месторождение полезных ископаемых как природный объект не является управляемой системой. Однако, если рассматривать его как объект эксплуатации, то оно с полным основанием может считаться большой управляемой системой, параметры которой, т.е. пространственные границы разработки запасов и их важнейшие характеристики, поддаются регулированию и оптимизации,

особенно при нечетких контактах полезного ископаемого о вмещающими породами.

Т а б л и ц а 2.1. Иерархическая структура объекта исследования

Номер уровня иерархии запасов	Объекты оценки	Параметры управления характеристиками запасов
1	Интервал опробования	Бортовое содержание полезного компонента в краевых пробах
2	Разведочное пересечение	Минимальное среднее содержание по пересечению, минимальная выемочная мощность, максимальная мощность прослоя, минимальный метропроцент (метрограмм)
3	Геологический разрез (сечение)	- ii -
4	Блок запасов (геологический, эксплуатационный)	Минимальное промышленное содержание полезного компонента в блоке То же что в пп.1-4
5	Горизонт	- ii -
6	Рудное тело	- ii -
7	Участок месторождения	- ii -
8	Месторождение	- ii -
9	Группа месторождений	-ii-

На многих разрабатываемых месторождениях можно назначать различные варианты переоконтуривания балансовых запасов по мощности, простиранию, падению и восстанию основных рудных тел, а также по изолированным залежам. Именно в этих направлениях следует менять выемочные контуры, создавая возможность проведения технико - экономического анализа и установления их наиболее целесообразного положения в пространстве. По мощности залежи - это ее висячий или (и) лежащий бок (при пологом падении - кровля и почва) и безрудный прослой; по простиранию - каждый из ее флангов в отдельности или оба вместе, а также безрудный участок, залегающий между двумя рудными, по восстанию и падению верхняя или (и) нижняя часть залежи и ее внутренний безрудный участок; по обособленным рудным телам - их совместная разработка с основной залежью или отказ от нее. Таким образом, существует большое количество разнообразных вариантов переоконтуривания запасов, требующих анализа и оценки.

Обычно повышение кондиций приводит к улучшению качественных характеристик запасов, предназначенных к извлечению из недр, при

одновременном уменьшении их количества, линейных размеров, площади и числа рудных тел, представляющих промышленный интерес. Причем на каждом объекте оценки влияние кондиций сугубо индивидуально, так как определяется природной изменчивостью свойств полезного ископаемого в недрах. Иногда даже небольшое изменение кондиций может привести к резкому расширению выемочных контуров рудных залежей. В других случаях они, наоборот, слабо влияют на основные характеристики оконтуриваемых запасов, в связи с чем ставится задача выявления этого влияния на всех уровнях иерархии запасов и представления получаемых результатов в наиболее наглядном и удобном для практического применения виде.

Согласно проекту ТМП /2/ объектами промышленной оценки на действующих горных предприятиях должны быть не только запасы полезных ископаемых в недрах, но и горная масса, добываемая в проходческих и очистных забоях. Очевидно, рассмотренная система параметров кондиций служит для управления характеристиками запасов в недрах, а также рудного сырья, добываемого в установленных с их помощью выемочных контурах. Но, несмотря на большое количество этих параметров, их еще недостаточно для полного контроля и управления качеством потоков руды, поступающих из добычных объектов. В связи с этим здесь, так же, как и в /2/, вводятся параметры кондиционности отбитой в забоях горной массы, представляющие собой минимальное содержание в ней полезных компонентов, при котором ее целесообразно направлять на дальнейшую переработку.

Кроме того, предлагается контролировать содержание всего комплекса извлекаемых в товарную продукцию полезных компонентов, других натуральных и стоимостных показателей, характеризующих запасы в недрах и руду, добытую в забоях, блоках, участках, шахте и руднике. Это позволит увязать параметры кондиций с показателями, используемыми при планировании и управлении производственной деятельностью предприятий.

При анализе конкретного месторождения следует также учитывать, что его запасы по своему народнохозяйственному значению разделяются на балансовые и

забалансовые, по степени разведенности - на категории А,В,С₁ и С₂ и прогнозные, по уровню технологической готовности к извлечению из недр - на вскрытые (невскрытые), подготовленные (неподготовленные) и готовые (неготовые) к выемке. В пределах одного и того же месторождении часто обнаруживаются полезные ископаемые разных промышленных типов, например, медные, полиметаллические или свинцовые, железные и марганцевые руды и др. Разными могут быть геология рудных залежей (например, жилы и жильные зоны), применяемые способы и системы разработки, удаленность от основных вскрывающих выработок, физико-химические и технологические свойства руд, степень концентрации в них ценных и вредных компонентов и т.д.

Таким образом, один и тот же объект - месторождение (его часть) должно оцениваться с разных позиций; геологических, технологических, экономических о применении показателей, тесно связанных друг с другом и зависящих от многих внутренних и внешних факторов, управляемых и неуправляемых параметров, влияющих на полноту и эффективность извлечения запасов из недр. Поэтому его правомерно рассматривать не только как большую, но и как сложную систему, основные характеристики которой являются, в известных пределах, управляемыми и оптимизируемыми.

§ 2. Методологические принципы системной оптимизации контуров разработки рудных залежей

Оптимальное оконтуривание и оценка запасов месторождений полезных ископаемых - задача весьма трудная. Огромные массивы геологоразведочной и технико-экономической информации, сложная, многоуровневая структура запасов, залегающих в самых разнообразных условиях, необходимость применения разной технологии добычи и переработки руд, постоянные изменения различных факторов, влияющих на эффективность горного производства, его большая капиталоемкость и трудоемкость, высокие требования, предъявляемые к конечным результатам оценки запасов - далеко не полный перечень причин,

предопределяющих целесообразность использования самого эффективного аппарата обоснования принимаемых решений.

Здесь предпринимается попытка взглянуть на проблему установления оптимальных границ извлечения запасов из недр с системных позиций, обсуждаются возможности применения методологии системного анализа для ее решения, излагается принципиальная основа проводимого исследования.

Решение любых технико-экономических проблем (а именно к ним относится та, которая здесь рассматривается) связано с использованием ресурсов - трудовых, материальных, денежных и т.д. Их количество, как правило, ограничено. Поэтому нужно не просто решить проблему, а решить ее наилучшим способом, рационально используя имеющиеся ресурсы.

Стремление к достижению заданных целей при условии выполнения ряда ограничений приводит к необходимости ставить и решать оптимизационные задачи.

Например, надо обеспечить максимальную полноту извлечения разведанных запасов из недр при удовлетворительных технико-экономических показателях, увеличить срок службы предприятия, стабилизировать объемы выпускаемой продукции или повысить их до определенного уровня, максимизировать прибыль либо минимизировать издержки производства. Эти и другие подобные задачи могут и должны решаться путем целенаправленного изменения границ и интенсивности разработки запасов полезных ископаемых.

При этом необходимо учитывать динамику горного производства, которая проявляется в постоянном изменении условий добычи вследствие перемещения фронта горных работ и вовлечения в эксплуатацию все новых и новых объектов, непрерывном обновлении геологоразведочной информации о запасах при их доразведке, регулирующем воздействии вышестоящих органов управления

Для оценки надежности принимаемых решений немаловажное значение имеет учет неопределенности исходной информации, прежде всего геологоразведочных данных о запасах, степень достоверности которых не всегда достаточна для правильных выводов о промышленной ценности полезных

ископаемых.

Таким образом, перед нами проблема исключительной сложности и важности. Мы имеем определенное представление об объекте нашего исследования как о большой и сложной системе, стремимся оптимизировать ее параметры и учитывать при этом динамический и стохастический характер горного производства. Эти обстоятельства служат основанием для того, чтобы применить системную методологию для решения проблемы оптимального оконтуривания и оценки запасов полезных ископаемых.

Разумеется, охватить все ее аспекты в одной работе - задача совершенно нереальная. Тем не менее из множества вопросов, имеющих к ней отношение, можно выделить главные и попытаться хотя бы в первом приближении дать на них ответы.

Для лучшего понимания проблемы в целом проведем ее структуризацию, т.е. определим узловые моменты и рассмотрим их с разных точек зрения.

На наш взгляд, наиболее актуальными вопросами в настоящее время являются: а) основополагающие принципы, соблюдение которых обязательно при системном решении задач оптимального оконтуривания и оценки запасов; б) экономическое содержание кондиций; в) особенности локальной и групповой оценки запасов выемочных единиц; г) критерии оценки запасов; д) учет фактора времени при обосновании выемочных контуров и связь кондиций с планами ведения горных работ; е) совместная оптимизация кондиций и систем разработки; ж) оценка надежности принимаемых решений; з) организационные проблемы, возникающие при системной оптимизации выемочных контуров.

Рассмотрим в отдельности каждый из них.

Системное представление о месторождении приводит к выводу о том, что оптимизировать выемочные контуры рудных залежей нужно на всех уровнях и объектах иерархии запасов, начиная от разведочного пересечения и кончая группой месторождений одного вида полезного ископаемого. Причем решения, принимаемые на разных уровнях и объектах, должны обязательно согласовываться друг с другом как по горизонтали, так и вертикали, что позволит избежать

противоречий среди отдельных элементов системы и будет способствовать достижению лучших результатов производства.

Поскольку мы имеем дело с динамической, непрерывно развивающейся и управляемой системой, такое согласование следует проводить не только в пространстве, но и во времени, т.е. сегодняшние решения должны приниматься с учетом их завтрашних последствий. Другими словами, текущую и перспективную оценку запасов нужно проводить не изолированно, а во взаимосвязи друг с другом.

Содержательная постановка и целевая направленность оптимизационных задач зависят, прежде всего, от тех принципов, на которых следует строить их решение. В нашем случае обязательными является максимальное удовлетворение постоянно растущих потребностей народного хозяйства в продуктах переработки полезных ископаемых; минимальные потери полезных ископаемых при добыче и переработке; максимальная экономия общественно необходимых затрат на производство конечной продукции.

Каждый из этих принципов отражает вполне определенную сторону деятельности горнодобывающих предприятий, однако они настолько взаимосвязаны, что не могут рассматриваться изолированно.

В последние годы у нас в стране проводится большая работа по совершенствованию хозяйственного механизма. Одним из важных ее результатов явилось введение в систему критериев оценки деятельности предприятий нового показателя "выполнение плана договорных поставок". Это объясняется тем, что в современных условиях, когда резко возрастают масштабы производства к значительно усложняются хозяйственной связи между предприятиями и отраслями, очень важно при планировании учитывать конечные цели их деятельности, которые выражаются в первую очередь в стабильных поставках потребителям готовой продукции. Срыв поставок особенно недопустим, когда речь идет о таких дефицитных видах продукции, как цветные, редкие и благородные металлы, пользующиеся практически неограниченным спросом.

В связи с этим для рудников большую остроту приобретают вопросы обеспечения ритмичной добычи и отгрузки руды определенного качества, т.е. в

единицу времени им необходимо извлекать из недр примерно равное количество руды с одинаковым содержанием полезных компонентов. Недополучение предусмотренных планом физических объемов руды и содержащихся в ней металлов следует покрывать за счет реализации внутренних резервов предприятий.

Для этого производится перераспределение объемов добычи руды, устанавливаются повышенные задания бригадам и участкам, реализуются другие мероприятия, направленные на устранение отставания выполнения государственных планов.

Однако возможности этих мероприятий ограничены, так как рудники работают в жестко заданных выемочных контурах, соответствующих действующим геологическим кондициям. На практике в течение длительного периода времени (10-15 лет и более) не предпринимается никаких попыток поставить под сомнение обоснованность кондиций, проверить, насколько они отвечают сложившимся условиям разработки, как их изменение повлияет на производительность рудников по руде и металлам, на эффективность производства. Отсутствие необходимой гибкости в решении этих вопросов неизбежно приводит к ошибкам, которые допускаются сначала при составлении планов добычи, а затем в ходе их реализации. Очевидно, это одна из существенных причин столь частых затруднений, возникающих при выполнении плановых заданий, и чтобы устранить ее, нужно повысить оперативность пересмотра кондиций и выемочных контуров рудных залежей.

Наряду с соблюдением требования стабильного выпуска конечной продукции следует стремиться к сокращению неоправданных потерь запасов полезных ископаемых в процессе их добычи. Сейчас эта задача удовлетворительно решается для балансовых запасов. Что касается забалансовых руд, то они теряются в огромных, все возрастающих количествах. Такое положение нельзя признать нормальным, если учесть напряженное состояние сырьевой базы производства многих металлов и огромные средства, расходуемые на ее воссоздание.

Указанные потери можно снизить путем расширения выемочных контуров рудных залежей, однако оно почти всегда сопровождается ухудшением

качественных характеристик добываемых руд. Вследствие этого может уменьшиться выпуск конечной продукции. Таким образом, существует определенное противоречие между принципами максимального удовлетворения потребностей в готовой продукции и минимальных потерь разведанных запасов. Для его разрешения необходимо совместное обоснование оптимальной полноты и интенсивности добычи полезных ископаемых. При этом снижение содержания ценных компонентов в добываемой руде должно компенсироваться соответствующим увеличением производительности добычных объектов с тем, чтобы объем производства металлов в единицу времени при расширении границ разработки рудных залежей, по крайней мере, не уменьшался (по сравнению с достигнутым, проектным или плановым уровнем).

Сокращение потерь полезных ископаемых при прочих равных условиях ведет к расширению сырьевой базы предприятий, удлинению, срока их существования и поэтому может рассматриваться как фактор, способствующий удовлетворению завтрашних, перспективных потребностей в выпускаемой продукции. В этом смысле первые два из указанных принципов не противоречат друг другу, а находятся в полном соответствии между собой. Прямым следствием увеличения продолжительности работы добычных единиц за счет прироста запасов является более поздний ввод в эксплуатации новых участков вместо отработанных. Для предприятия это равносильно появлению определенного резерва времени на вскрытие и подготовку новых горизонтов, а для отрасли в целом - более позднему вложению средств в новое строительство и реконструкцию рудников.

Непрерывный рост потребности в металлах, снижение их содержания в добываемой руде приводят к необходимости постоянного наращивания объемов добычи и переработки полезных ископаемых путем расширения существующих и освоения новых производственных мощностей. Это требует отвлечения из бюджета значительных, все возрастающих средств, эффективность вложения которых во многом, зависит от того, настолько правильно будут оценены потенциальные возможности месторождений при изменении кондиций и контуров их разработки.

Соблюдение принципов максимального удовлетворения существующих и перспективных потребностей в металлах и других продуктах переработки добываемых руд и минимальных потерь полезных ископаемых должно достигаться не любой ценой, а только в сочетании с принципом максимальной экономии общественно необходимых затрат на производство конечной продукции. Для того, чтобы не допускать неоправданного расходования народнохозяйственных средств, индивидуальные затраты на производство единицы продукции на базе запасов оцениваемого объекта нужно сравнивать с предельно допустимыми. Если первые не превышают вторые, то объект получает положительную оценку и его эксплуатация экономически целесообразна. В противном случае он отбраковывается и не включается в выемочный контур.

В настоящее время запасы полезных ископаемых оцениваются с использованием натуральных показателей - кондиций, имеющих вполне определенное экономическое содержание и рассчитываемых с учетом как индивидуальных, так и предельных затрат. Главным оценочным параметром служит содержание ценных компонентов, которое наиболее сильно влияет на себестоимость конечной продукции. Но при этом часто упускают из виду тот факт, что для правильной оценки запасов разных объектов по одному варьирующему признаку необходимо убедиться в том, что они не различаются по другим факторам, влияющим на себестоимость продукции, а если и есть какие-то различия между ними, то они не имеют практического значения.

Еще Н.В. Володомонов /9/ отмечал, что натуральным бортовым лимитом может быть любой различающийся по объектам оценки параметр (содержание компонента, мощность залежи и т.д.) при условии постоянства других величин, от которых зависит себестоимость конечного продукта. Если же оцениваемые блоки существенно отличаются друг от друга не по одному, а по нескольким таким параметрам, натуральные бортовые лимиты приходится вводить для каждого блока в отдельности или для групп блоков с примерно одинаковыми условиями разработки. При этом теряется смысл в установлении и использовании того или иного бортового лимита как обобщенного, критерия оценки запасов.

Развивая эту мысль, можно сказать, что в резко дифференцированных условиях залегания и разработки запасов полезных ископаемых предпочтение следует отдавать не натуральным, а стоимостным критериям оценки целесообразности их извлечения из недр. При этом кондиционность оцениваемого объекта определяется сравнением расходов, связанных с вовлечением его в эксплуатацию, с получаемой извлекаемой ценностью или же сравнением индивидуальных затрат на производство единицы готового металла с предельно допустимым их значением.

Принципиально важным является вопрос о том, что принимать за верхний допустимый период индивидуальных издержек производства, так как этим определяются экономическое содержание кондиций, полнота и эффективность извлечения запасов из недр, производительность предприятий по руде и металлам. В качестве этого предела могут быть приняты или действующие оптовые цены на выпускаемую продукцию либо замыкающие затраты.

Оценка запасов с помощью оптовых цен полностью согласуется с хозяйственными интересами предприятий, принципами самокупаемости и самофинансирования, так как не допускает включение в разработку убыточных запасов. Однако цены устанавливаются на основе среднеотраслевых издержек на производство единицы продукции. Поэтому одни предприятия прибыльные, а другие - убыточные. Но и те и другие производят продукцию, в которой нуждается народное хозяйство. С этих позиций общественно необходимы не среднеотраслевые, а наиболее высокие в отрасли затраты, обеспечивающие покрытие существующих потребностей выпускаемой продукции.

А.С. Астахов /64/ отмечает, что установление цены исходя из среднеотраслевого уровня затрат на добычу приводит к появлению искусственной категории мнимо эффективных, плано-убыточных предприятий. Если оценивать запасы на этой основе, то из числа балансовых следовало бы исключить большое количество эксплуатируемых месторождений, что повлекло бы за собой спад выпуска продукции.

Современный взгляд на экономическую основу оценки запасов полезных

ископаемых базируется на концепции дифференциальной горной ренты, величина которой отражает экономию общественно необходимых затрат, получаемую при эксплуатации оцениваемого объекта. Она определяется разностью между замыкающими и индивидуальными издержками производства.

Основная цель введения в практику планирования и управления горными предприятиями замыкающих затрат на выпускаемую продукцию - обеспечить экономическую эквивалентность кондиций, действующих на разных объектах. Это означает, что на одних предприятиях и добычных участках не должны извлекаться из недр запасы, характеризующиеся более высокой себестоимостью конечной продукции по сравнению с запасами, оставляемыми за промышленным контуром и обычно безвозвратно теряемыми на других объектах. Это условие можно выполнить лишь тогда, когда удельные затраты на производство металла на базе граничных запасов всех разрабатываемых месторождений будут одинаковы и равны замыкающим. Их конкретное значение должно устанавливаться директивными органами на определенный период времени и распространяться на все предприятия, выпускающие эту продукцию.

К сожалению, принцип экономической эквивалентности кондиций, несмотря на его важность и общепризнанную необходимость, на практике пока не реализуется. Одна из главных причин такого положения - отсутствие узаконенных замыкающих затрат на продукты переработки руд цветных металлов. Их обоснование затрудняется недостаточной проработкой многих вопросов, связанных с данной проблемой. Сказываются также вполне обоснованные опасения специалистов в том, что введение замыкающих затрат приведет к снижению выпуска продукции и удорожанию ее производства. Однако этого нежелательного явления можно избежать, если не сразу, а поэтапно, на протяжении продолжительного периода времени повышать замыкающие затраты от оптовых цен до требуемого уровня с одновременным наращиванием производственных мощностей по добыче, переработке руды и металлургическому переделу. Тогда система производства постепенно войдет в оптимальный режим функционирования без каких-либо отрицательных последствий.

Наиболее точные значения замыкающих затрат можно определить при решении задач оптимального перспективного планирования развития отрасли. Однако работы в этом направлении пока не вышли за рамки экспериментов. Поэтому в качестве временной меры рекомендуется проводить анализ экономических показателей деятельности предприятий и устанавливать величину удельных затрат на производство металлов на "худших", т.е. выпускающих самую дорогую продукцию, предприятиях /64/. Она и будет приближенной оценкой фактического уровня замыкающих затрат.

На наш взгляд, такой анализ нужно проводить не только по предприятиям, но и по блокам разрабатываемых месторождений. Ведь на прибыльных в целом объектах часто тоже имеет место разработка убыточных участков, на долю которых может приходиться значительная часть общих объемов производства.

На любом руднике в каждый момент времени разрабатываются блоки, характеризующиеся наибольшей себестоимостью выпускаемой продукции по сравнению с остальными. После исчерпания их запасов худшими (в этом смысле) становятся другие блоки, вследствие чего со временем меняется максимальный уровень затрат на производство единицы конечной продукции. Чтобы проследить тенденцию изменений этого показателя на каждом предприятии и в отрасли в целом, нужно повсеместно организовать текущий учет, контроль и ввести отчетность о себестоимости продукции, выпускаемой на базе худших блоков.

Если шире подходить к решению проблемы совершенствования методов промышленной оценки, запасов полезных ископаемых, то следует ставить вопрос о необходимости введения в практику так называемой экономической классификации запасов на всех предприятиях отрасли. С этим предложением в 1938 г., а затем в 1959 г. выступил Н.В. Володомонов /9/, однако до сих пор такая классификация нигде не проводится. Поэтому предприятия плохо знают, в какую сумму обходится им производство металлов на тех или иных участках разрабатываемых месторождений. В результате непроизводительно расходуются ресурсы, имеют место неоправданные потери полезных ископаемых в недрах. Что касается вышестоящих органов управления, то без данных такой классификации

они, очевидно, но смогут правильно установить уровень замыкающих затрат на выпускаемую продукцию.

Суть экономической классификации запасов полезных ископаемых заключается в том, что по каждому блоку или участку разрабатываемых месторождений определяется себестоимость производства металла (металлов), затем они группируются по нескольким классам значений себестоимости и рассчитываются соответствующие этим классам запасы руды и металлов. Такому анализу должны подвергаться не только балансовые блоки, но и забалансовые, так как уровень замыкающих затрат еще предстоит установить и лишь затем можно будет узнать, какие из забалансовых блоков следует разрабатывать на каждом предприятии и какие кондиции должны на них действовать для оконтуривания запасов по единой предельной себестоимости.

Индивидуальные, поблочные затраты на производство металлов зависят как от природных факторов - мощности и углов падения рудных залежей, устойчивости руды и вмещающих пород, содержания полезных и вредных компонентов и других, так и горнотехнических - способа и системы разработки, производственной мощности рудника, схем вскрытия и подготовки. На них влияют также применяемая технология и затраты на обогащение, металлургический передел и т.д., т.е. себестоимость металла является синтезирующим показателем, учитывающим большое количество факторов, от которых зависит экономичность и полнота извлечения запасов из недр. Типичная для месторождений руд цветных металлов большая дифференциация горно-геологических условий и технологических свойств оцениваемых запасов является причиной такого значительного разброса значений себестоимости металлов на разных добычных, объектах, что их экономическая классификация совершенно необходима.

Разумеется, точно определить индивидуальную себестоимость конечного продукта по всем блокам разрабатываемых месторождений трудно, тем более, что в настоящее время позабойное или поблочное калькулирование себестоимости добычи руды почти не практикуется. Поэтому там, где невозможно решить эту задачу путем анализа отчетных данных по разработанным блокам, запасы можно

сгруппировать по нескольким подмножествам, руководствуясь при этом признаками их геологической и технологической однородности. На основе такой группировки каждое выделенное подмножество будет содержать только те блоки или участки месторождения, которые характеризуются примерно одинаковыми условиями залегания и разработки запасов, а следовательно, и близкими значениями себестоимости добычи руды. Если же внутри каждой группы провести градацию запасов по содержанию в них металла, то в результате будут сформированы такие наборы блоков, по которым себестоимость его производства будет различаться незначительно.

Итак, экономическая классификация запасов полезных ископаемых, несомненно, является важной задачей, решение которой позволит контролировать экономическую эффективность производства металлов на разных участках разрабатываемых месторождений и определить замыкающие затраты на выпускаемую продукцию. После этого можно будет реализовать на практике принцип экономической эквивалентности кондиций и наилучшим образом, исходя из народнохозяйственных интересов, оконтуривать запасы месторождений. Трудно переоценить значение этой меры для повышения, эффективности общественного производства, сокращения неоправданных потерь полезных ископаемых при их добыче. Тем не менее до того, как в отрасли будут узаконены замыкающие затраты, в качестве верхнего допустимого предела издержек производства по-прежнему будут приниматься оптовые цены.

В такой ситуации принцип экономической эквивалентности кондиций, действующих на разных месторождениях, естественно, нарушается. Однако это не снимает вопрос о его соблюдении на каждом отделено взятом месторождении. Точно знать индивидуальные затраты на производство металлов на разных участках и блоках - значит иметь возможность с большой достоверностью определять экономически целесообразные (для предприятий) границы разработки рудных залежей. В конечном счете это приведет к сокращению безвозвратных потерь прибыльных и безубыточных запасов, а также к экономии производственных ресурсов и средств, расходующихся на эксплуатацию

убыточных участков залежей вследствие их неточного оконтуривания.

Кроме того, очень важным представляется следующий вопрос: допустима ли убыточная разработка предприятием некоторой части запасов, сосредоточенных в заданном выемочном контуре, при условии достижения удовлетворительных технико-экономических показателей эксплуатации запасов этого контура. На первый взгляд, нужно полностью исключить такую возможность, так как убыточность работы не согласуется с основным хозяйственным принципом - обязательной окупаемостью понесенных затрат. Вместе с тем следует учитывать, что совместная разработка участков разной эффективности (в том числе убыточных) приводит к удлинению срока службы рудников, получению дополнительной продукции, сокращению потерь полезных ископаемых). Кроме того, убыточные по сегодняшним оценкам запасы завтра могут стать прибыльными из-за повышения действующих цен на выпускаемую продукцию, комплексности использования добываемого сырья, совершенствования технологии и т.д. С этих позиций вполне оправданной может быть их временная консервация или проведение определенных мероприятий по их сохранению и предотвращению безвозвратных потерь.

Таким образом, до введения замыкающих затрат можно следовать одному из двух принципиально разных подходов к оконтуриванию и оценке промышленной части рудных залежей. В первом, ставится и решается задача исключения из выемочного контура всех убыточных запасов, а во втором - допускается их наличие в промышленном контуре, но при условии, что показатели эксплуатации запасов этого контура будут не хуже заданных. В первом случае количественные, качественные и экономические характеристики извлекаемых из недр запасов целиком зависят от экономичности производства металла на базе граничных запасов, а во втором, наоборот, эффективность эксплуатации граничных запасов зависит от требований, предъявляемых к запасам выемочного контура.

Какой именно из этих подходов следует применять на практике, зависит от многих факторов: степени дефицитности полезного ископаемого, состояния сырьевой базы предприятия и отрасли и др. На наш взгляд, для широко

распространенных видов минерального сырья предпочтение следует отдать первому подходу, обеспечивающему лучшие экономические показатели производства, а для остродефицитных - второму, так как при нем достигается большая полнота извлечения из недр разведанных запасов.

Как отмечалось, одно из главных направлений совершенствования методов оценки запасов - детализация расчетов параметров кондиций, позволяющая с большой достоверностью учесть конкретные условия разработки каждой выемочной единицы. Однако на этом пути тоже возникают непростые вопросы.

Рассмотрим в связи с этим следующие характерные примеры. Пусть заданный набор блоков проверяется на кондиционность по единому и дифференцированному промминимуму. Если они залегают в неодинаковых условиях, что приводит к необходимости использования разных систем разработки, и количество запасов руды в них сильно различается, то результаты их оценки обоими способами будут существенно отличаться по причине большого разброса поблочных значений себестоимости добычи и переработки руды, а также других показателей, от которых зависят кондиции.

Применение в этих условиях единого промминимума есть прямое нарушение принципа полной окупаемости предстоящих затрат и экономической эквивалентности кондиций, действующих на разных объектах, так как некоторые из блоков, признанных кондиционными, на самом деле окажутся убыточными, а за пределами выемочного контура можно будет обнаружить безубыточные и даже прибыльные блоки.

Такого абсурда удастся избежать, если запасы оценивать по дифференцированным значениям промминимума, рассчитанным в соответствии с указанным принципом. Но при этом возможно нежелательное изменение характеристик суммарных запасов оцениваемых блоков.

Рассмотрим другой пример.

Пусть геологический блок запасов признан кондиционным по заданному промминимуму и рекомендован к разработке. Затем в процессе эксплуатационной разведки уточняется внутренняя структура его запасов и после проведения

разведочных и подготовительных выработок он представляется в виде нескольких более мелких эксплуатационных блоков. Их кондиционность можно было бы проверить с использованием промминимума, который применялся ранее для оценки крупного геологического блока, но это будет неверно, так как по одному и тому же параметру кондиций нельзя оценивать объекты разного масштаба. Следовательно, нужны дифференцированные, поблочные значения промминимума, с помощью которых можно объективно оценить экономическую целесообразность разработки эксплуатационных блоков. Однако их применение может привести к отбраковке убыточных блоков и нежелательному сокращению общих запасов руды и металла, которые прежде были признаны кондиционными "в среднем", так как удовлетворяли заданному промминимуму.

Действительно, нельзя допускать сокращения сырьевых ресурсов предприятий, даже если этого требует строгое следование принципам окупаемости предстоящих затрат и экономической эквивалентности кондиций разных объектов. Кроме того, бессмысленно тратить ресурсы на добычу чрезмерно бедных запасов. Всегда должен существовать тот допустимый предел затрат на производство конечной продукции, выше которого ни в коем случае нельзя подниматься.

Учитывая, что к характеристикам запасов выемочного контура предъявляются самые разные и даже противоречивые требования, можно попытаться подобрать такой состав блоков, включаемых в разработку, который бы удовлетворял этим требованиям.

Таким образом, мы вплотную подошли к идее проведения совместной, групповой или интегрированной оценки запасов заданной совокупности объектов.

Пусть имеется множество выемочных единиц, расположенных на проектируемом горизонте шахты. Каждая из них характеризуется определенным количеством запасов, их качеством, проектными затратами на добычу и переработку руды и т.д., что дает возможность провести обычную локальную их оценку, исходя из условия окупаемости предстоящих затрат. Вместе с тем необходимо оценить суммарные запасы всех выемочных единиц. Если этого не сделать, то может случиться, что разработка запасов данного горизонта будет

экономически не оправдана, несмотря на то, что при локальной, поблочной их оценке получены положительные результаты. Такая ситуация возникает, например, когда для вскрытия и подготовки горизонта требуется большой объем и стоимость проведения квершлагов и штреков.

Еще более очевидной становится необходимость проведения совместной оценки запасов разных выемочных единиц в тех случаях, когда есть возможность управлять контурами их разработки. Так, если балансовые блоки имеют на границе своего контура содержание металла ниже, чем среднее содержание в забалансовых блоках, то за счет переоконтуривания и их совместной оценки можно попытаться прирастить запасы выемочного контура, повысить содержание металла в них и улучшить экономические показатели разработки.

Нельзя не учитывать и того, что на действующих рудниках в одновременной разработке находится не один, а до десятка и более блоков. Поэтому обособленная, локальная их оценка недостаточна для определения целесообразности их вовлечения в отработку с позиций системы производства в целом. Решение этой задачи возможно при проведении групповой, интегрированной оценки запасов заданного множества добычных объектов. Тогда их контуры окажутся взаимно обусловленными и ориентированными на те требования, которые предъявляются к характеристикам суммарных запасов, а изменения, происходящие в одних блоках (например, устойчивое усложнение условий разработки, удорожание конечной продукции и др.), будут отражаться в кондициях, действующих не только в данном, но и во всех других блоках.

На более высоких уровнях управления (объединения, подотрасли) также необходима совместная оценка фактического состояния и перспектив развития сырьевой базы разных предприятий.

Казалось бы, все свидетельствует о пользе групповой оценки запасов. Однако при ее проведении нельзя забывать о необходимости обязательного контроля экономической эффективности разработки граничных запасов, т.е. наихудших из включаемых в выемочный контур. В противном случае можно дойти до крайности и признать целесообразной разработку беднейших участков залежей

совместно с богатыми.

На основе изложенного можно сделать вывод о том, что в современных условиях совершенно нереально возводить в абсолют и пытаться применить повсеместно принципы окупаемости предстоящих затрат и экономической эквивалентности кондиций до тех пор, пока в результате оптимизационных расчетов долговременных планов развития производства не будут определены оптимальные значения замыкающих затрат на выпускаемую в отрасли продукцию. Сейчас мы часто сталкиваемся и будем сталкиваться с их нарушениями, так как для этого существует веская причина - необходимость удовлетворения сегодняшних потребностей в конечной продукции, вследствие чего разрабатываются убыточные месторождения и участки. Кроме того, нередко имеет место первоочередная добыча богатых запасов и допускаются потери бедных руд, которые уже в ближайшее время могли бы стать объектом экономической оправданной эксплуатации.

Это - та дань, которую приходится платить обществу для обеспечения существующего спроса на продукцию отрасли. Но было бы ошибочно думать, что этот ущерб нельзя уменьшить за счет действительно рационального использования не возобновляемых богатств недр. В данной области предстоит решить немало задач, прежде чем с уверенностью можно будет сказать, что вся система горнорудного производства в отрасли станет функционировать в оптимальном режиме, оптимальном не только в любой заданный момент времени, но и в обозримой перспективе.

Наиболее крупным шагом на этом пути явится введение замыкающих затрат, которые выступят в качестве соизмерителя сегодняшних и завтрашних затрат и результатов производства на разных объектах - действующих, а также намечаемых к промышленному освоению. Поэтому необходима скорейшая разработка экономико-математических моделей оптимального перспективного планирования производства и определения на их основе этих важнейших нормативных величин.

Так как мы имеем дело с многоцелевой и многопараметрической системой, при оценке запасов необходимо контролировать значения всех натуральных и

стоимостных показателей, используемых в планировании и управлении производством.

В /63/ отмечается, что при обосновании кондиций основное внимание уделяется выявлению границ кондиционности, разделяющих экономически эффективные и неэффективные запасы. Сама же степень их эффективности оценке не подвергается. Сказать - насколько эффективна та или иная часть запасов по сравнению с другой нельзя.

На наш взгляд, понятие промышленной оценки запасов должно включать не только определение экономической целесообразности их извлечения из недр, но также и контроль всей совокупности количественных, качественных, экономических характеристик оцениваемых запасов, выявление их зависимости от кондиций и других влияющих факторов, сравнительный анализ показателей эксплуатации разных объектов. Имея такую детальную картину комплекса свойств полезного ископаемого, можно правильно определить место и значение оцениваемого объекта в сырьевой базе производства, установить оптимальную полноту, интенсивность и очередность вовлечения его в разработку.

Рассмотрим теперь вопрос об учете фактора времени - один из наиболее сложных и наименее изученных в данной проблеме.

В большинстве исследований по обоснованию кондиций о нем даже не упоминается. Причина тому - большая сложность учета динамики разработки месторождений на протяжении длительных промежутков времени. Особые трудности вызывают надежное прогнозирование влияния технического прогресса на технику и технологию добычи и переработки руды, технико-экономические показатели производства, выявление перспективных потребностей в продукции, определение ожидаемых результатов геолого-разведочных работ в отрасли в целом и на каждом отдельно взятом месторождении и др.

Существенная неопределенность исходной информации делает весьма проблематичным получение точных результатов оптимизации системы производства на перспективу. Тем не менее нельзя отказываться от попыток решения этой важнейшей задачи, так как ущерб, наносимый народному хозяйству

от того, что она не решается, намного превышает возможные последствия от недостоверности данных, влияющих на результаты оптимизации.

Принятый порядок разработки запасов часто предопределяет полноту их извлечения из недр. Показателен в этом отношении пример, приведенный С.С. Резниченко /65/. При перемещении фронта горных работ в одном направлении около 40% запасов рассматриваемой залежи оказываются забалансовыми, а в другом - рентабельными.

К сожалению, этот важный момент при обосновании кондиций обычно не принимается во внимание. Считается, что нужно устанавливать более высокие кондиции для невоскрытых запасов по сравнению со вскрытыми, для неподготовленных по сравнению с подготовленными и т.д., т.е. с повышением технологической готовности запасов к выемке кондиции должны снижаться, а выемочные контуры расширяться.

Необходимо также учитывать устойчивую тенденцию роста цен на выпускаемую продукцию, которая, по-видимому, сохранится и в дальнейшем, вследствие чего сегодняшние значения кондиций более высоки, чем завтрашние. Таким образом, те запасы, которые признаются сейчас некондиционными, в перспективе могут быть признаны экономически целесообразными для эксплуатации.

Об этом свидетельствует предшествующий опыт разработки многих месторождений, где содержание металлов в безвозвратно потерянных запасах намного выше, чем в добываемых в настоящее время рудах. Такое положение - наглядное подтверждение тех отрицательных последствий, к которым приводит игнорирование фактора времени при оконтуривании и оценке запасов. Поэтому очень важно, чтобы меры по сохранению некондиционных (по теперешним оценкам) участков рудных залежей для будущих разработок и их своевременному вовлечению в эксплуатацию стали бы одной из важных сторон деятельности горных предприятий.

Учет динамических особенностей системы горнорудного производства отрасли следовало бы начать в первую очередь с анализа

пространственно-временной связи между разведкой, вскрытием, подготовкой и разработкой рудных залежей на отдельно взятом месторождении. Причем этот анализ должен проводиться не при фиксированных, как обычно, а управляемых выемочных контурах. Точно так же должна предусматриваться возможность изменения в определенных пределах производительности добычных единиц и рудников. На этой основе формируются разные варианты календарных планов разработки месторождений, определяются необходимые для их реализации материальные и трудовые ресурсы, капитальные и эксплуатационные затраты. Полученные данные поступают в вышестоящие органы управления, где они анализируются, увязываются друг с другом и оптимизируются. Окончательные решения передаются на места для исполнения. В ходе их реализации производится постоянный учет и контроль за ходом выполнения плановых заданий и при необходимости осуществляется регулирование производственной системы в нужном направлении. Именно такая схема движения исходной информации и управляющих воздействий обеспечит реальную возможность оптимизации разработки месторождений полезных ископаемых.

К нерешенным вопросам, связанным с рассматриваемой проблемой, следует отнести совместную оптимизацию кондиций и систем разработки. В настоящее время системы разработки выбираются и проектируются в жестко заданных контурах рудных залежей, соответствующих установленным геологическим кондициям. Однако, если учесть, что от этого выбора зависят показатели, влияющие на уровень кондиций, то становится очевидной необходимость обязательной взаимоувязки этих важнейших параметров эксплуатации месторождений.

Обращаясь к анализу надежности решений, принимаемых при обосновании кондиций и выемочных контуров, можно констатировать, что он до сих пор никем не прорабатывался. Так как разные варианты этих решений и соответствующие им показатели разработки имеют примерно одинаковую достоверность, то допустимо сделать предположение о небольшом влиянии ошибок исходных данных на результаты сравнительной оценки запасов при разных вариантах их оконтуривания. Абсолютные же значения кондиций подвержены заметному

влиянию фактора неопределенности, вследствие чего выводы о кондиционности или некондиционности оцениваемых объектов могут оказаться неверными, особенно, если речь идет о запасах, находящихся на грани рентабельности.

Следует иметь в виду, что чем меньшее количество запасов оценивается, тем вероятнее становятся просчеты в определении целесообразности их вовлечения в добычу и наоборот. Поэтому эффективным средством повышения уровня надежности таких решений является совместная оценка разных участков залежей и блоков.

Очевидно, практическая реализация идей системной оптимизации контуров разработки рудных залежей связана с необходимостью дальнейшего совершенствования службы управления рудниками и предприятиями. В конечном счете на каждом из них должна быть создана эффективно действующая система промышленной оценки запасов для осуществления постоянного контроля за полнотой и экономичностью их извлечения из недр. В рамках этих систем будут приниматься обоснованные решения о возможности вовлечения в разработку тех или иных участков залежей, при необходимости проводиться переоконтуривание запасов и создаваться база для качественного планирования и управления добычей руды и металлов. Они смогут гибко реагировать на происходящие изменения и постоянно информировать руководство о фактическом состоянии, перспективах развития и использования сырьевой базы. Указанные системы, являясь неотъемлемой частью общей системы управления горнорудным производством, должны стать недостающим пока звеном, обеспечивающим возможность постоянного и повсеместного решения вопросов рационального использования и охраны недр.

Заметим, что предоставление предприятиям большей самостоятельности в определении целесообразности извлечения запасов из недр требует более жесткого контроля над их деятельностью со стороны органов Госгортехнадзора. Целесообразность изменения выемочных границ на рудниках должна устанавливаться не с позиций отдельных предприятий, а в первую очередь исходя из отраслевых и народнохозяйственных интересов в бережном отношении к

ресурсам минерального сырья. Это правило должно соблюдаться абсолютно на всех уровнях управления. В противном случае может нарушаться рациональный порядок разработки месторождений и допускаться неоправданные потери полезных ископаемых.

По мере создания рудничных систем оценки и управления запасами их можно объединять в системы, решающие аналогичные задачи на уровне комбинатов и подотраслей.

Возникает вопрос, почему до сих пор не реализуются те преимущества, которые дает системный подход к оконтуриванию и оценке запасов полезных ископаемых? Главная причина заключается в том, что пока еще не созданы теоретические основы и методы, обеспечивающие возможность решения задач системной оптимизации выемочных контуров рудных залежей. Кроме того, горно-добывающие предприятия и отрасли не поставлены пока в такие условия, которые обязывали бы их систематически контролировать степень экономичности производства металлов на всех участках разрабатываемых месторождений независимо от того, являются они балансовыми или нет, оценивать влияние изменения кондиций на полноту и эффективность извлечения запасов из недр и устанавливать оптимальные границы разработки рудных залежей при проектировании и планировании добычи руды и металлов.

Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНДИЦИЙ НА ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАПАСОВ ВЫЕМОЧНОГО КОНТУРА

§ 1. Анализ зависимости качественных и количественных характеристик запасов от кондиций

Согласно принятой в данной работе концепции, характеристики запасов на разных уровнях их иерархии являются управляемыми величинами, связанными с кондиционными параметрами - бортовым и минимальным промышленным содержанием, минимальной выемочной мощностью и пр. Наша задача - выявление этой связи в различных горно-геологических условиях, ее количественная оценка и

представление полученных, результатов в удобном (аналитическом или графическом) виде. Эта информация необходима для обоснования оптимальных значений кондиций и соответствующих границ разработки рудных залежей.

Наибольшие возможности для управления выемочными контурами предоставляются на месторождениях с затуханием минерализации по мощности, простиранию и падению залежей. На рис. 3.1 показан характер изменения содержания полезных компонентов по разведочной рассечке, пройденной из штрека вкрест простирания рудного тела.

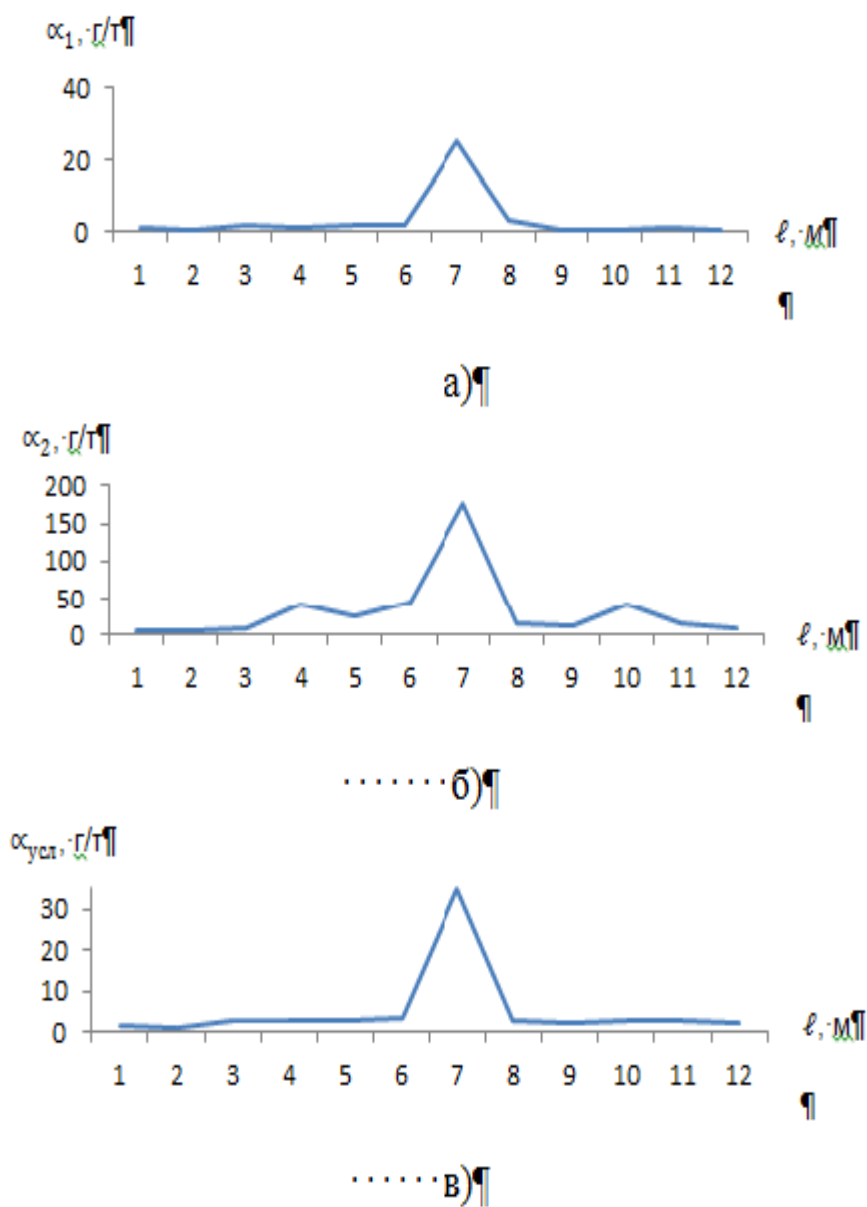


Рис. 3.1. Изменение содержания 1-го (а), 2-го (б) и условного (в) металлов по разведочной рассечке

Как видно, внутренняя часть залежи отличается повышенными концентрациями металлов. Боковые породы также минерализованы и содержат определенное количество ценных компонентов. Назначая различные варианты бортового содержания металла в краевых пробах, можно проанализировать его влияние на качественные характеристики запасов и мощность залежи в пределах данного пересечения. Это наглядно видно из графиков, приведенных на рис. 3.2. Точками здесь обозначены дискретные, повариантные значения анализируемых величин. Очевидно, что в нашем примере содержание металлов и мощность залежи в значительной степени зависят от бортового содержания металла.

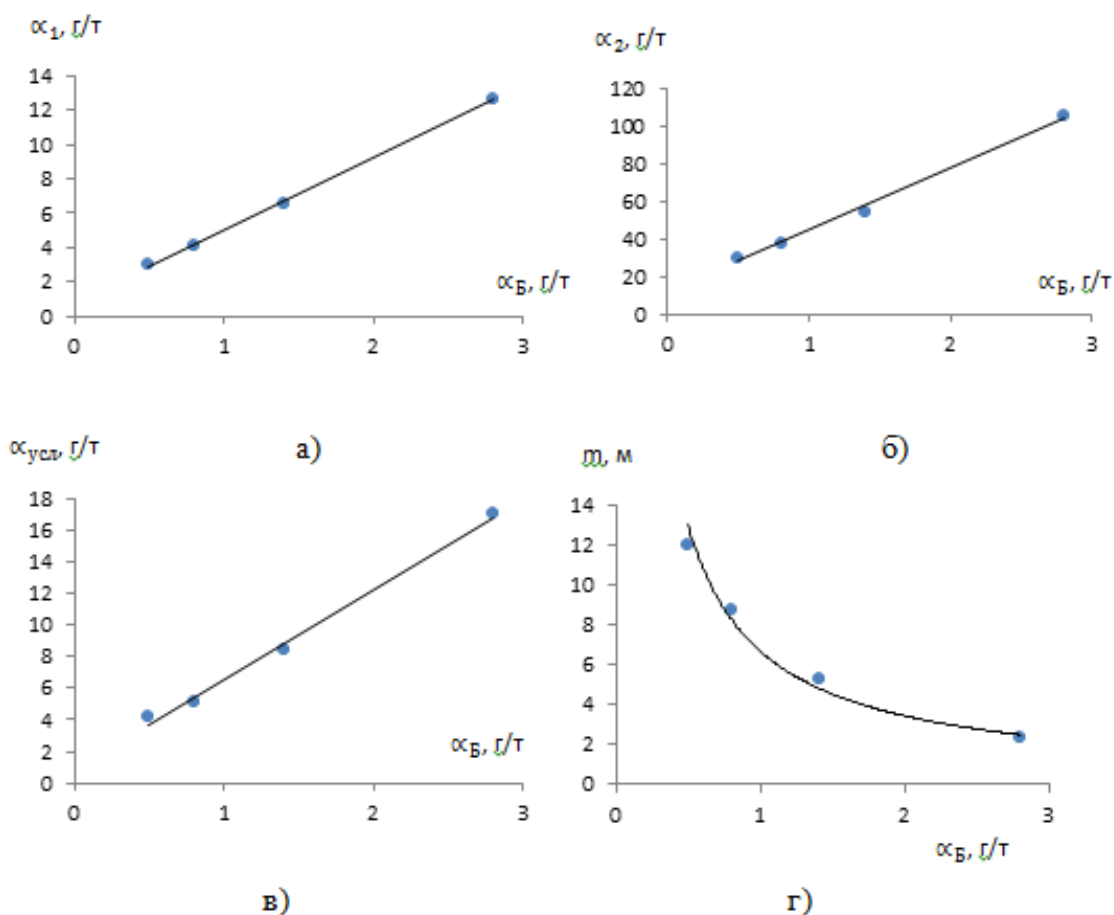


Рис. 3.2. Влияние бортового содержания условного металла α_B на среднее содержание 1-го (а), 2-го (б), условного (в) металлов и горизонтальную мощность залежи (г)

Повышению точности оконтуривания рудных залежей должно способствовать аналитическое представление зависимостей между

количественно-качественными характеристиками запасов и кондициями. Такие функции уже используются в геолого - разведочной и проектной практике /8,66,67/, однако они почти не применяются на действующих рудниках. С их помощью можно проводить строгую оценку резервов расширения сырьевой базы предприятий и устанавливать оптимальные границы разработки рудных тел.

Указанные зависимости следует определять на всех уровнях рассматриваемой иерархии запасов. В качестве исходной базы могут использоваться данные повариантных расчетов запасов по нескольким значениям параметров кондиций. В процессе деятельности предприятий эти функции должны постоянно корректироваться с учетом изменений, происходящих в запасах вследствие их доразведки и эксплуатации.

Одним из условий правильного построения рассматриваемых зависимостей является требование, чтобы содержание полезного компонента в приращиваемых запасах находилось в интервале между двумя смежными повариантными значениями кондиций /68/.

Нельзя также забывать о том, что их аналитическое или графическое представление не дает никакой информации об изменениях пространственных границ разработки рудных залежей. Поэтому, назначая разные варианты кондиций, необходимо контролировать на геологических планах и разрезах - как меняется положение контура оцениваемых запасов.

В приведенном выше примере зависимости, связывающие анализируемые показатели с бортовым содержанием условного металла α_B имеют вид:

а) среднее содержание металлов, г/т:

- первого $\alpha_1(\alpha_B) = 0,75 + 4,25 \cdot \alpha_B;$

- второго $\alpha_2(\alpha_B) = 11 + 33 \cdot \alpha_B;$

- условного $\alpha_{ysl}(\alpha_B) = 0,73 + 5,71 \cdot \alpha_B;$

б) горизонтальная мощность залежи, м:

$$m(\alpha_B) = \frac{-1,93 \cdot \alpha_B + 12,77}{\alpha_B + 0,5} .$$

Область определения этих функций $0,5 \leq \alpha_B \leq 3,1$, г/т. Они позволяют

быстро рассчитать характеристики запасов по данному пересечению при любом значении управляемого параметра в этих пределах.

Если в границах блока только одно пересечение (например, при подсчете запасов по методу многоугольников), то тогда легко перейти от функций $\alpha_s(\alpha_B)$ где s - индекс металла, и $m(\alpha_B)$ к зависимостям запасов руды $B(\alpha_B)$ и металлов $M_s(\alpha_B)$ в блоке от бортового содержания:

$$B(\alpha_B) = m(\alpha_B) \cdot S \cdot \gamma ; \quad (3.1)$$

$$M_s(\alpha_B) = \alpha_s(\alpha_B) \cdot m(\alpha_B) \cdot S \cdot \gamma, \quad (3.2)$$

где S - площадь блока; γ - плотность руды.

Можно также, вывести сначала функции линейных запасов полезных компонентов $\alpha'_s(\alpha_B)$, а затем определять $M_s(\alpha_B)$ как

$$M_s(\alpha_B) = \alpha'_s(\alpha_B) \cdot S \cdot \gamma. \quad (3.3)$$

Чаще всего каждый блок (геологический и эксплуатационный) бывает представлен не одним, а несколькими разведочными пересечениями. Тогда при подсчете характеристик запасов приходится учитывать зоны влияния пересечений. Кроме того, следует иметь в виду, что продуктивные интервалы по пересечениям могут выделяться при одинаковом и разных значениях бортового содержания металла в краевых пробах. В первом случае анализ существенно упрощается, однако нивелируются индивидуальные особенности природной изменчивости параметров оруденения. Между тем очень важно выявить эти особенности на всех участках залежей и использовать их при оптимизации контуров разработки разведанных запасов.

Довольно часто, особенно на жильных месторождениях, оконтурившие запасы по мощности рудных тел проводится достаточно уверенно по визуальным признакам. В то же время установление выемочных контуров в плоскости залежи (по ее простиранию и падению) требует применения другого кондиционного показателя - минимального среднего содержания полезного компонента по разведочному пересечению. Его изменения приводят к исключению или, наоборот, включению в промышленный контур участков залежи, примыкающих к тому или иному пересечению.

Рассмотрим одну из таких ситуаций, когда жила имеет четкие контакты с вмещающими породами по мощности, а границы ее разработки по простиранию могут меняться с помощью указанного параметра. Данные, полученные при разведке жилы, отражены на рис. 3.3.

В отличие от рассмотренного выше случая мощность залежи практически постоянна при разных значениях применяемого кондиционного параметра (рис. 3.4), а длина и площадь ее промышленного участка, а также содержание металлов и запасы в пределах этого участка заметно меняются.

Анализ влияния кондиций на основные характеристики запасов должен проводиться не только по блокам и участкам, но и по месторождению в целом. Здесь тоже можно указать на два принципиально разных подхода к решению этой задачи. Первый, традиционный, предусматривает синхронное изменение уровня кондиций во всех блоках и участках месторождения, а второй исходит из возможности установления неодинаковых значений кондиций на разных объектах в соответствии, с требованиями, предъявляемыми к характеристикам их суммарных запасов. Это позволяет с большей степенью детализации учесть при оконтуривший локальные закономерности изменения параметров оруденения.

В зарубежной практике широко применяется так называемый "закон Ласки", согласно которому бортовое и среднее содержания металла по месторождению в целом линейно выражаются через логарифм запасов руды. В /67/ отмечается, что такой характер зависимости существует только на месторождениях, где коэффициент вариации содержания металла в руде близок к единице. Во всех остальных случаях необходимо пользоваться нелинейными (вогнутыми или выпуклыми) сглаживающими функциями.

Определяющим фактором правильнее считать не коэффициент вариации содержания металла, а качественную структуру запасов, т.е. их распределение по интервалам значений содержания металла. При уменьшении размеров блоков в пределе можно получить непрерывную функцию этого, распределения. Знак и степень ее асимметрии позволяют уверенно предсказать вид зависимости "запас -

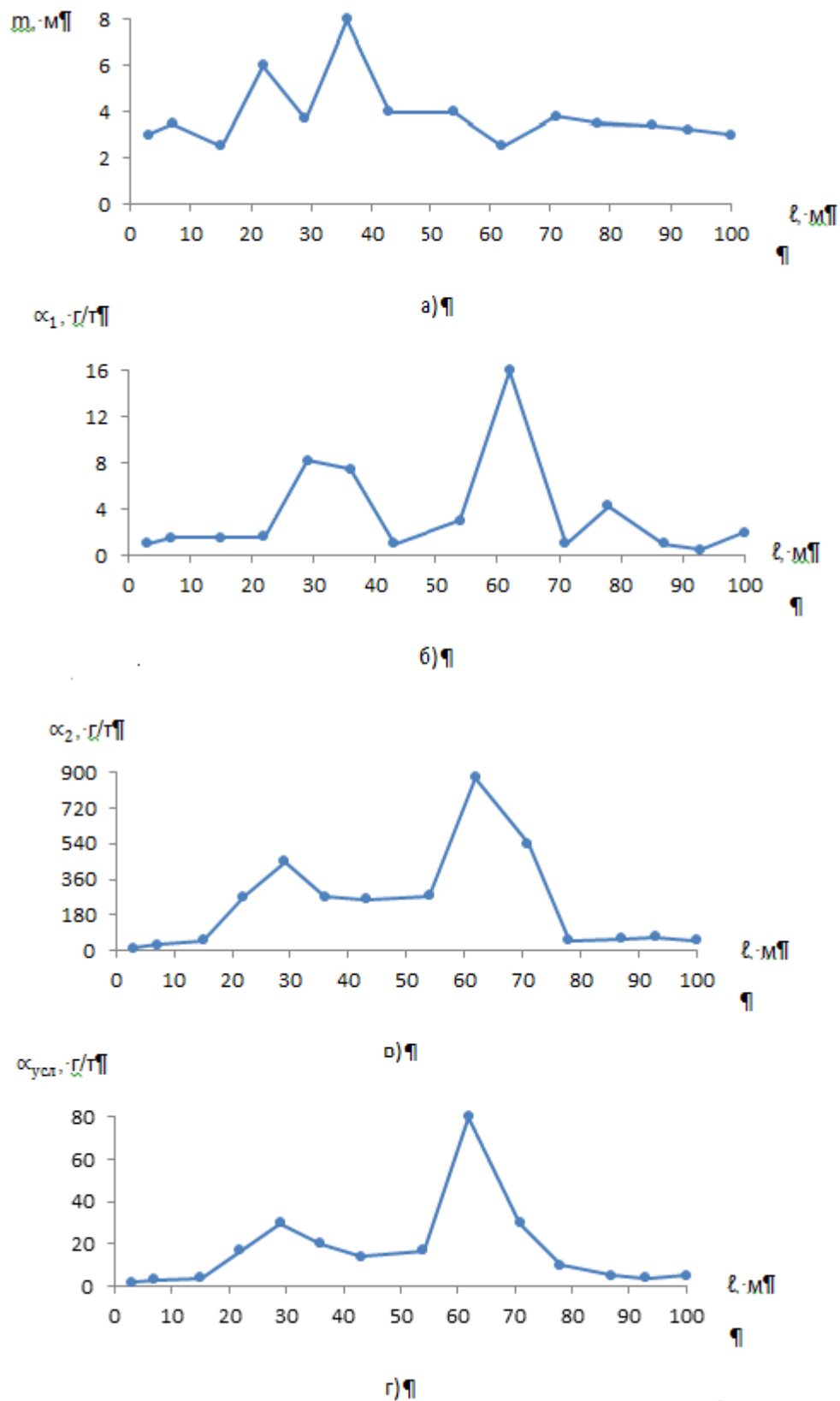


Рис. 3.3. Изменения по простиранию жилы ее горизонтальной мощности (а), содержания 1-го (б), 2-го (в) и условного (г) металлов

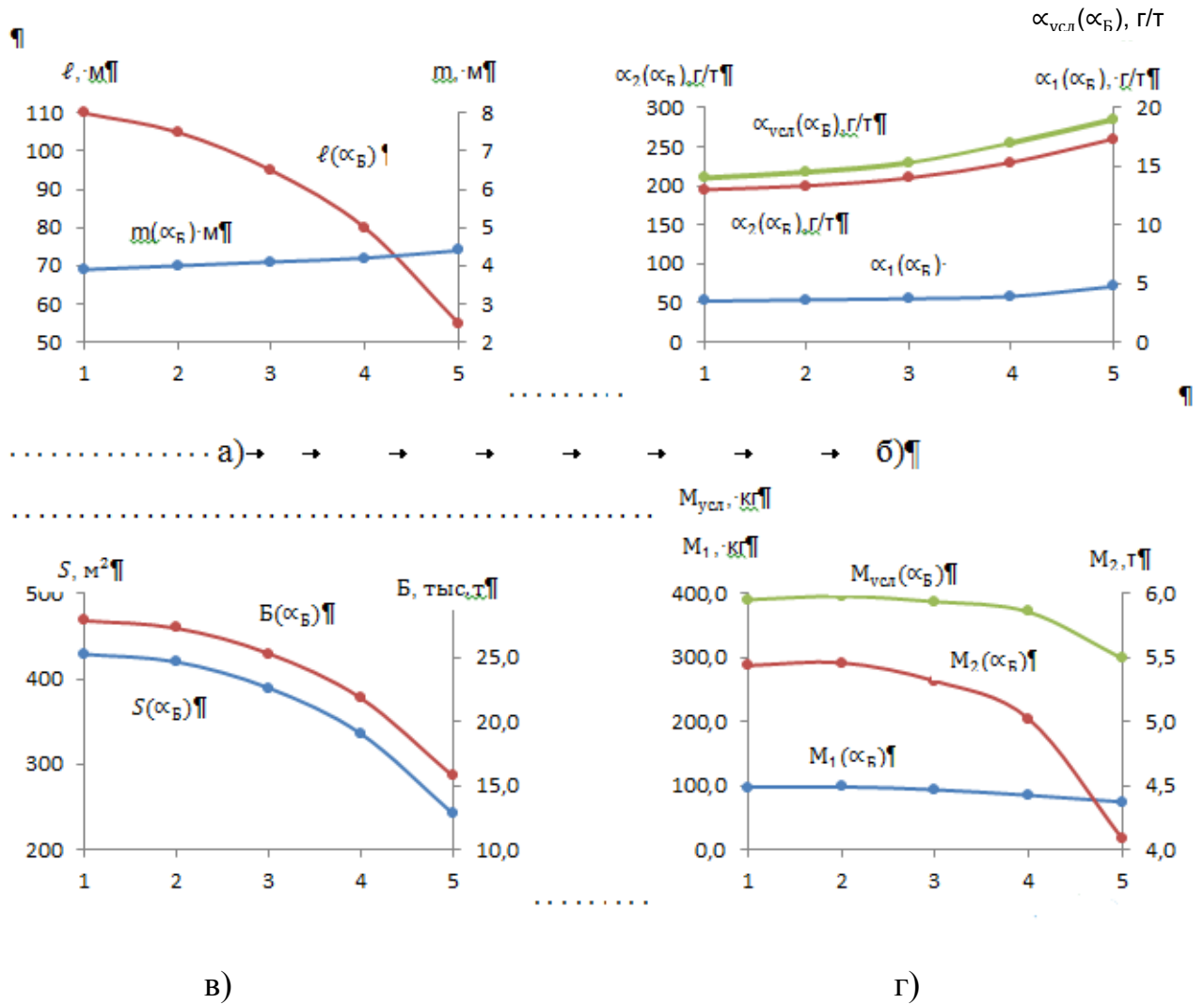


Рис. 3.4. Влияние минимального среднего содержания условного металла по разведочному пересечению на основные характеристики запасов выемочного контура:

m, ℓ, S - соответственно горизонтальная мощность, длина и площадь промышленного участка жилы;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_{усл}$ - среднее содержание 1-го, 2-го и условного металлов;

$B, M_1, M_2, M_{усл}$ - запасы руды, 1-го, 2-го и условного металлов.

содержание". Действительно, если на месторождении частота "встречаемости" бедных запасов значительно выше богатых, то налицо - положительная асимметрия указанной функции. Понижая кондиции, мы сначала будем иметь незначительный прирост запасов полезного ископаемого, так как руд с высоким

содержанием металла на месторождении мало, и только при достаточно низких значениях кондиций запасы, включаемые в промышленный контур, резко увеличатся. Очевидно, что в этом случае функция "запас-содержание" окажется вогнутой. Если же запасов, обогащенных металлом, на месторождении заметно больше, чем обедненных, то уже при высоких значениях кондиций эта функция резко возрастает, а затем начинает выполаживаться и становится выпуклой. Промежуточное положение занимают функции самого разного, в том числе линейного вида.

Кроме качественной структуры запасов вид анализируемых зависимостей во многом определяется шириной рассматриваемого диапазона возможных изменений параметров кондиций. Чем он уже, тем проще могут быть сглаживающие функции, и наоборот.

При решении практических задач особый интерес представляет поведение характеристик запасов в области действующих геологических кондиций. Именно здесь нужно в первую очередь дать строгую количественную оценку влияния изменения кондиций на величину запасов и их качество. Для этого можно воспользоваться функциями простейшего, лучше всего линейного вида.

На рис. 3.5. приведены графики таких функций, выведенных для одного из разрабатываемых месторождений, на котором действует промминимум $\alpha_{min} = 6$ г/т. Условные обозначения те же, что и на рис. 3.4.

Подобные функции нетрудно определить и для каждой выемочной единицы, воспользовавшись данными подсчета запасов по 2-3-м вариантам кондиций.

Часто количественные и качественные характеристики запасов зависят не от одного, а от двух "или нескольких кондиционных параметров. Так, среднее содержание металла и мощность залежи по разведочному пересечению могут определяться величиной не только бортового содержания металла в краевых пробах, но и максимальной мощностью безрудных прослоев, включаемых в выемочный контур. Другое возможное сочетание управляемых параметров - бортовое и минимальное промышленное содержания металла. Для вывода таких зависимостей, естественно, потребуется большее количество исходных данных.

Пусть заданы два варианта оконтуривания рудного тела по его мощности с соответствующими значениями среднего содержания металла α_1 и α_2 , мощности залежи m_1 и m_2 , метрограмма (метропроцента) $\alpha'_1 = \alpha_1 \cdot m_1$ и $\alpha'_2 = \alpha_2 \cdot m_2$.

Обозначим через α_Δ содержание металла в прирезаемых запасах при переходе от первого варианта оконтуривания ко второму. Тогда величина метрограмма α'_2 запишется как

$$\alpha'_2 = \alpha_1 \cdot m_1 + \alpha_\Delta \cdot \Delta m, \quad (3.4)$$

где $\Delta m = m_2 - m_1$.

С учетом этого

$$\alpha'_2 = \alpha_1 \cdot m_1 + \alpha_\Delta \cdot (m_2 - m_1) = m_1 \cdot (\alpha_1 - \alpha_\Delta) + \alpha_\Delta \cdot m_2. \quad (3.5)$$

Если теперь рассматривать величину мощности залежи как управляемую переменную m , которая может принимать значения от m_1 до m_2 , то метрограмм при любом варианте оконтуривания залежи в этих пределах запишется в виде функции

$$\alpha'(m) = m_1 \cdot (\alpha_1 - \alpha_\Delta) + \alpha_\Delta \cdot m. \quad (3.6)$$

Среднее содержание металла в прирезаемых запасах

$$\alpha_\Delta = \frac{\alpha_2 \cdot m_2 - \alpha_1 \cdot m_1}{m_2 - m_1}. \quad (3.7)$$

Его величина в данном случае не зависит от размера "прирезки", поэтому функция метрограмма $\alpha'(m)$ является линейной

$$\alpha'(m) = a + b \cdot m, \quad (3.8)$$

где $a = m_1 \cdot (\alpha_1 - \alpha_\Delta)$, $b = \alpha_\Delta$. Таким образом, изменение среднего содержания металла в запасах выемочного контура описывается гиперболической зависимостью

$$\alpha(m) = \frac{a}{m} + b. \quad (3.9)$$

Значения коэффициентов a и b находятся или при расчетах по указанным выше формулам или путем решения системы линейных уравнений

$$\alpha'_1 = a + b \cdot m_1, \quad (3.10)$$

$$\alpha'_2 = a + b \cdot m_2,$$

в которую вводятся исходные данные по рассматриваемым вариантам оконтуривания залежи.

На первый взгляд, допущение о том, что среднее содержание металла в прирезаемых запасах постоянно и не зависит от их величины, существенно ограничивает возможности практического использования функций (3.8) и (3.9). Однако анализ геологоразведочных данных подтверждает достаточно строгую линейность функции $\alpha'(m)$ и гиперболический характер зависимости $\alpha(m)$ даже при значительных изменениях мощности залежи, и качественных характеристик запасов. На рис. 3.6 показаны графики этих функций, построенные для нескольких разведочных скважин, пересекающих залежь. Коэффициенты a и b в данном случае равны:

№ скважины	a	b
1	34,78	0,234
2	23,40	0,226
3	15,60	0,271
4	5,23	0,247

Базовые значения мощности залежи определялись при ее окончании по бортовому содержанию $\alpha_B = 0,4\%$, а верхние пределы ее изменения соответствуют $\alpha_B = 0,2\%$.

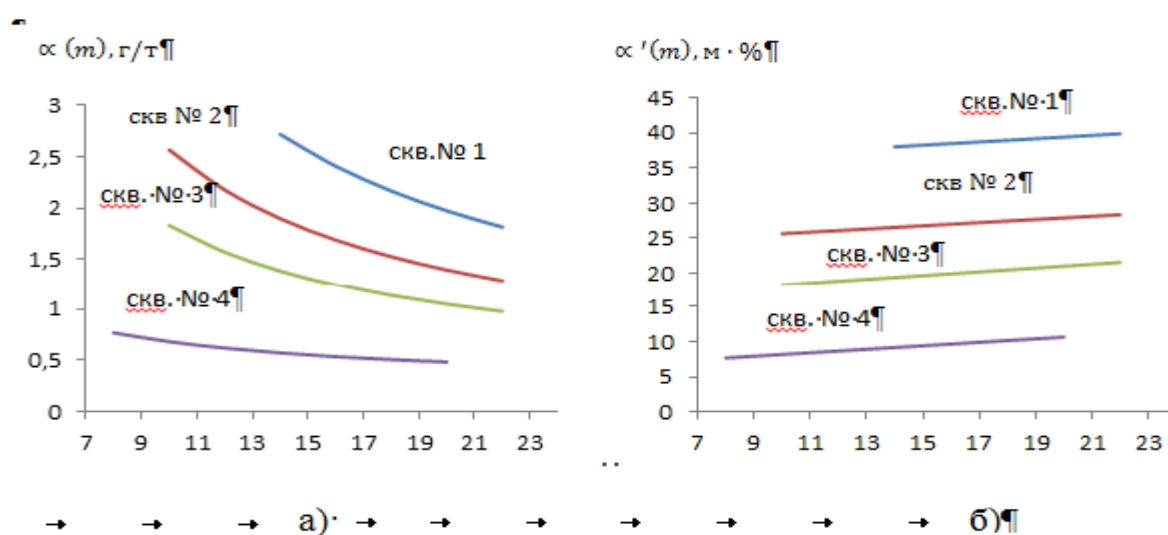


Рис.3.6. Влияние изменения мощности залежи m на метропроцент (а) и среднее содержание металла (б) по разведочным скважинам

Установленный характер взаимосвязи между анализируемыми величинами объясняется, прежде всего, тем, что подавляющая часть запасов металла сосредоточена в базовом выемочном контуре, положение которого определяется по действующим геологическим кондициям. Поэтому изменения мощности залежи слабо влияют на запасы и метропроцент металла. По этой же причине колебания содержания металла в прирезаемых запасах, хотя и имеют место, но почти не отражаются на основных характеристиках запасов выемочного контура.

Анализ показал, что выражения (3.6), (3.8), (3.9) действительны и для случая, когда базовому противопоставляется вариант оконтуривания с меньшей мощностью залежи $m_1 > m_2$. Тогда α_{Δ} - среднее содержание металла в запасах, исключаемых из выемочного контура.

В пределе при небольших изменениях мощности содержание металла на границе выемочного контура можно принять равным бортовому. Тогда значения постоянных коэффициентов a и b , входящих в (3.6), (3.8), (3.9), определяются как

$$a = (\alpha_1 - \alpha_B) \text{ и } b = \alpha_B.$$

При оконтуривании запасов жил на их флангах функцию управляемого параметра может выполнять длина предназначаемого к разработке участка жилы на данном горизонте или длина блока, расположенного на фланге жилы. Как видно на рис. 3.7, этот параметр значительно влияет на количественные и качественные характеристики оконтуриваемых запасов.

Таким образом, менять выемочные контуры можно как с помощью кондиций, так и непосредственным изменением геометрических размеров залежей - их мощности и длины. В том и другом случае должны контролироваться изменения основных характеристик запасов выемочного контура, а также прирезаемых или исключаемых из него участков рудных тел.

Рассмотрим случай, когда оцениваемый объект представлен множеством блоков с жестко заданными контурами, Тогда управлять характеристиками суммарных запасов блоков, предназначаемых к разработке, можно только путем изменения их состава, который зависит от минимального промышленного

содержания металла в блоке.

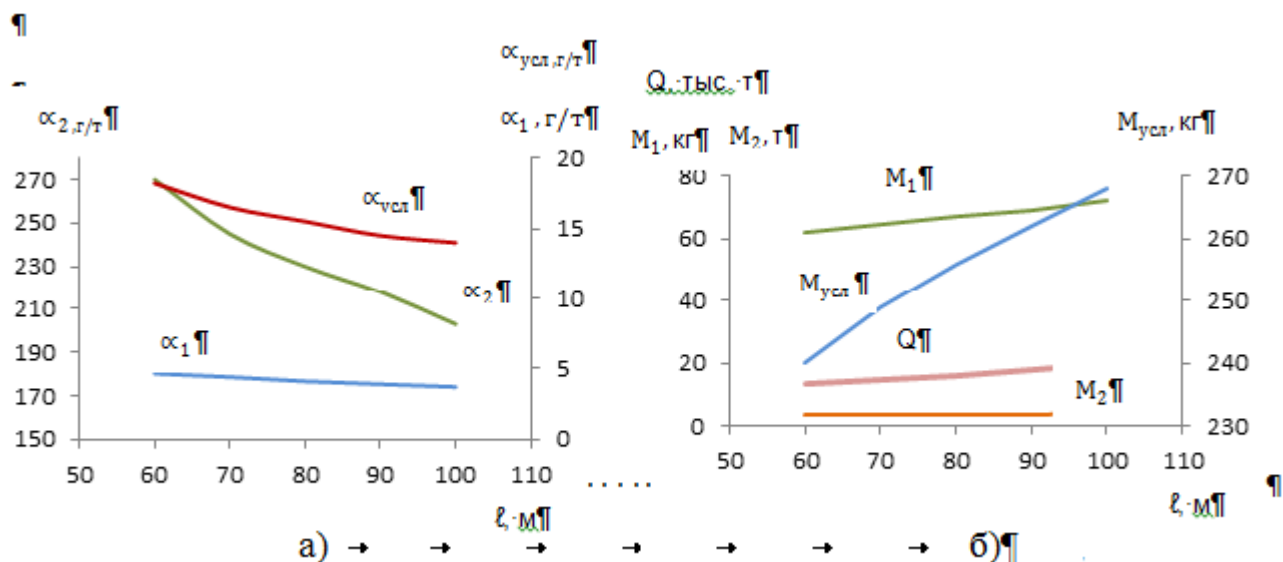


Рис. 3.7. Зависимость качественных (а) и количественных (б) характеристик запасов жильной зоны от длины разрабатываемого участка l

Многочисленные примеры свидетельствуют о том, что по мере повышения промминимума запасы руды в выемочном контуре уменьшаются, но одновременно в них увеличивается среднее содержание металлов. Вследствие этого запасы металла меняются в меньшей степени по сравнению с запасами руды. Такая же закономерность отмечается и при понижении промминимума, когда прирост запасов руды сопровождается снижением среднего содержания металла в выемочном контуре.

Для того, чтобы лучше понять причины указанной закономерности, выполним следующие выкладки.

Пусть имеется n блоков с запасами руды B_1, B_2, \dots, B_n ; металла M_1, M_2, \dots, M_n и средним содержанием металла $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$.

Подсчитаем соответствующие характеристики их суммарных запасов

$$B = \sum_{i=1}^n B_i; M = \sum_{i=1}^n M_i; \bar{\alpha} = \frac{M}{B} = \frac{\alpha_1 \cdot B_1 + \alpha_2 \cdot B_2 + \dots + \alpha_n \cdot B_n}{B_1 + B_2 + \dots + B_n}.$$

Обозначим через q удельный вес запасов руды i -го блока в общих запасах руды. Очевидно, $\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot q_i$. Рассмотрим удельный вес запасов металла i -го блока в общих запасах металла q'_i . Так как

$$\alpha_1 \cdot B_1 + \alpha_2 \cdot B_2 + \dots + \alpha_n \cdot B_n = \bar{\alpha} (B_1 + B_2 + \dots + B_n),$$

то

$$q'_i = \frac{\alpha_i \cdot B_i}{\bar{\alpha} \cdot \sum_{i=1}^n B_i} = \frac{\alpha_i}{\bar{\alpha}} \cdot q_i. \quad (3.11)$$

Эта формула отражает количественную связь между удельным весом запасов металла q'_i и руды q_i отдельных блоков в их общих запасах. Запишем ее в виде пропорции

$$\frac{q'_i}{q_i} = \frac{\alpha_i}{\bar{\alpha}}. \quad (3.12)$$

Отсюда следует, что удельный вес запасов металла так относится к удельному весу запасов руды i -го блока, как среднее содержание металла в этом же блоке относится к его среднему содержанию в суммарных запасах всех блоков.

Поскольку в одних блоках содержание металла выше среднего ($\alpha_i > \bar{\alpha}$), в других – ниже ($\alpha_i < \bar{\alpha}$), отношение $\frac{\alpha_i}{\bar{\alpha}}$ будет в первом случае больше, а во втором – меньше единицы. Это означает, что для блоков, у которых $\alpha_i > \bar{\alpha}$, удельный вес запасов металла выше удельного веса запасов руды в $\frac{\alpha_i}{\bar{\alpha}}$ раз. И, наоборот, для блоков с $\alpha_i < \bar{\alpha}$ первая величина всегда меньше второй в $\frac{\alpha_i}{\bar{\alpha}}$ раз. При $\alpha_i = \bar{\alpha}$ имеет место равенство $q'_i = q_i$.

Эти рассуждения позволяют сформулировать следующее правило, которое назовем правилом трансформации удельных весов запасов: удельный вес запасов металла i -го блока выше удельного веса запасов руды этого блока в их суммарных запасах в $\frac{\alpha_i}{\bar{\alpha}}$ раз при $\alpha_i > \bar{\alpha}$ и меньше во столько же раз при $\alpha_i < \bar{\alpha}$.

Прямым следствием этого является то, что при исключении из выемочного контура бедных блоков общие запасы металла уменьшаются на меньшую относительную величину по сравнению с общими запасами руды.

Среднее содержание металла в выемочном контуре после исключения из него любого i -го блока определится как.

$$\bar{\alpha}_{(-i)} = \frac{M - M_i}{B - B_i} = \frac{\bar{\alpha} \cdot B - \alpha_i B_i}{B - B_i} = \frac{\bar{\alpha} - \alpha_i q_i}{1 - q_i}. \quad (3.13)$$

Это выражение с учетом (3.12) принимает вид

$$\bar{\alpha}_{(-i)} = \bar{\alpha} \cdot \frac{1 - q'_i}{1 - q_i} . \quad (3.14)$$

Так как при $\alpha_i < \bar{\alpha}$ имеет место неравенство $q'_i < q_i$. то отношение $\frac{1 - q'_i}{1 - q_i} > 1$. С другой стороны, $q'_i > q_i$ при $\alpha_i > \bar{\alpha}$, поэтому $\frac{1 - q'_i}{1 - q_i} < 1$.

Следовательно, в первом случае исключение блока из выемочного контура влечет за собой увеличение среднего содержания металла в оставшихся запасах в $\frac{1 - q'_i}{1 - q_i}$ раз, а во втором - уменьшение в такое же число раз.

Справедливость сделанных выводов подтверждается практическими расчетами, выполненными для нескольких блоков (табл. 3.1).

Как видим, правило трансформации удельных весов запасов выполняется для всех рассматриваемых блоков. Небольшие различия некоторых отношений $\frac{\alpha_i}{\bar{\alpha}}$ и $\frac{q'_i}{q_i}$ объясняются ошибками округления. Если исключить из выемочного контура 1-й блок с самым низким содержанием металла, то общие запасы руды уменьшатся на 16%, а запасы металла - всего на 3,4 %, Среднее содержание металла в оставшихся запасах увеличится при этом в $\frac{1 - 0,34}{1 - 0,16} = 1,15$ раза и будет равно: $1,15 \cdot 1,1750 = 1,351$.

Т а б л и ц а 3.1. Практический пример к правилу трансформации удельных весов запасов (в усл. ед.)

№ п/п	Запас		Среднее содержание металла, α_i	Удельный вес запаса		$\frac{\alpha_i}{\bar{\alpha}}$	$\frac{q'_i}{q_i}$
	Руды	Металла		Руды, q_i	Металла, q'_i		
1	0,16	0,0400	0,25	0,16	0,034	0,21	0,21
2	0,30	0,2250	0,75	0,30	0,192	0,64	0,64
3	0,25	0,3125	1,25	0,25	0,266	1,06	1,06
4	0,16	0,2800	1,75	0,16	0,238	1,49	1,49
5	0,09	0,2025	2,25	0,09	0,172	1,90	1,90
6	0,03	0,0825	2,75	0,03	0,070	2,34	2,33
7	0,01	0,0325	3,25	0,01	0,028	2,77	2,80
	Б=1,00	М=1,1750	$\bar{\alpha} = 1,175$	1,00	1,00	-	-

Когда решается задача обоснования целесообразности расширения

выемочного контура, нужно в первую очередь контролировать качество руды в прирезаемых запасах. Кроме того, следует оценить влияние прирезки на содержание металла в разрабатываемых запасах. Его значение рассчитывается по формуле

$$\bar{\alpha} = \frac{\bar{\alpha} \cdot B + \alpha_{\Delta} \cdot B_{\Delta}}{B + B_{\Delta}} = \frac{\bar{\alpha} + \alpha_{\Delta} \cdot q_{\Delta}}{1 + q_{\Delta}} = \bar{\alpha} \frac{1 + \frac{\alpha_{\Delta}}{\bar{\alpha}} q_{\Delta}}{1 + q_{\Delta}} \quad (3.15)$$

где $\bar{\alpha}$, α_{Δ} - соответственно среднее содержание металла в базовом контуре и в прирезаемых запасах; B , B_{Δ} - запасы руды базового контура и прирезки; $q_{\Delta} = \frac{B_{\Delta}}{B}$ - отношение запасов руды в прирезке к запасам руды базового контура.

Если $\alpha_{\Delta} > \bar{\alpha}$, то расширение выемочного контура приводит к повышению среднего содержания металла в нем в $\frac{1 + \frac{\alpha_{\Delta}}{\bar{\alpha}} q_{\Delta}}{1 + q_{\Delta}}$ раз, а при $\alpha_{\Delta} < \bar{\alpha}$ содержание уменьшается в такое же число раз.

Величина в числителе дроби в (3.15) отражает относительные изменения запасов металла при расширении выемочного контура, в знаменателе - относительные изменения запасов руды в нем. При $\alpha_{\Delta} < \bar{\alpha}$ первая величина обязательно меньше второй.

Таким образом, при понижении промминимума запасы металла всегда увеличиваются на меньшую относительную величину по сравнению с запасами руды.

На основе приведенных в табл. 3.1 данных построены графики дифференциальных и интегральных функций распределения запасов руды и металла (рис.3.8).

Первые из этих функций показывают, какая доля общих запасов имеет содержание металла, равное заданному. Графики функций $q'(\alpha)$ и $q(\alpha)$ пересекаются, когда $\alpha = \bar{\alpha}$. При $\alpha < \bar{\alpha}$ график функции $q(\alpha)$ выше графика $q'(\alpha)$. Обратная картина наблюдается в диапазоне $\alpha > \bar{\alpha}$. С помощью интегральных кривых $q'_{\Sigma}(\alpha)$ и $q_{\Sigma}(\alpha)$ можно установить - какая доля общих запасов имеет содержание металла не ниже заданного.

Рассмотрим типичное для руд цветных металлов распределение запасов с

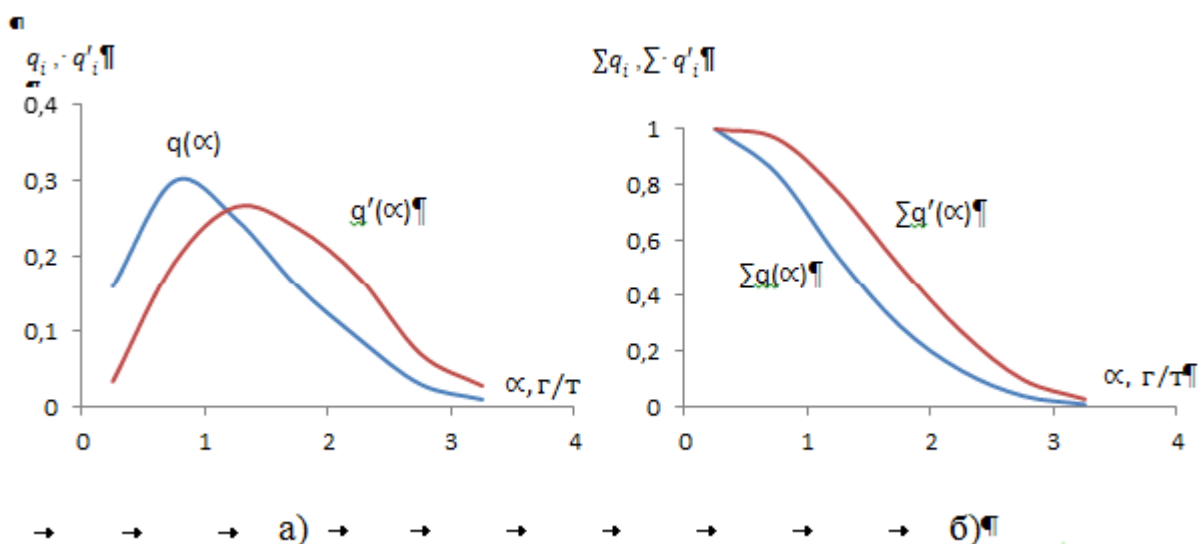


Рис.3.8. Дифференциальные (а) и интегральные (б) кривые распределения запасов руды и металла

положительной асимметрией. Большая их часть имеет содержание выше среднего, причем во всем диапазоне его значений доля запасов металла $q'_\Sigma(\alpha)$ больше доли запасов руды $q_\Sigma(\alpha)$.

Установив аналитический вид указанных функций, легко определить количество запасов руды

$$B(\alpha = \alpha_{min}) = B \cdot q_\Sigma(\alpha = \alpha_{min}) \quad (3.16)$$

и металла

$$M(\alpha = \alpha_{min}) = M \cdot q'_\Sigma(\alpha = \alpha_{min}), \quad (3.17)$$

соответствующее заданному предельному содержанию металла α_{min} . Тогда среднее содержание металла в выемочном контуре рассчитывается как

$$\bar{\alpha}(\alpha = \alpha_{min}) = \frac{M(\alpha = \alpha_{min})}{B(\alpha = \alpha)}. \quad (3.18)$$

Если такие функции выведены для разных объектов, то они могут, очевидно, объединяться в общие зависимости в целях анализа влияния кондиций (или других управляемых параметров), действующих на этих объектах, на характеристики их суммарных запасов.

§ 2. Влияние кондиций на технологические и экономические показатели производства

После определения зависимости основных характеристик геологических запасов, залегающих в недрах, от кондиций следует оценить влияние последних на количественные и качественные потери полезного ископаемого при добыче, а также на извлекаемые запасы руды и металла.

Ранее была выявлена жесткая связь между мощностью залежи и содержанием металла в оконтуриваемых запасах, с одной стороны, и бортовым содержанием - с другой. Прямое следствие этого - разный уровень потерь и разубоживания руды при изменении предельных требований к ее качеству. Эти показатели значительно отличаются друг от друга на разных участках разрабатываемых месторождений, зависят от применяемых систем разработки и их конструктивных параметров.

Для пересчета геологических запасов в извлекаемые используется ряд известных формул /69-71/.

Количество добытой руды определяется как

$$Д = Б \cdot (1 - П) + В, \quad (3.19)$$

где Б - балансовые запасы руды; П - относительные потери руды; В - количество примешиваемых вмещающих пород при добыче.

Так как $В = Р \cdot Д$, где Р - коэффициент разубоживания, то

$$Д = Б \frac{(1 - П)}{(1 - Р)}. \quad (3.20)$$

Коэффициент извлечения руды при добыче

$$k_{\text{кол}} = \frac{(1 - П)}{(1 - Р)}. \quad (3.21)$$

показывает - сколько добывается горной массы в расчете на 1 т балансовых запасов.

Такой же смысл, но по отношению к металлу имеет коэффициент извлечения

$$k_n = k_{\text{кол}} \cdot k_k, \quad (3.22)$$

где $k_k = \frac{\alpha}{c}$ - коэффициент изменения качества руды при добыче;

α, c — содержание металла в добытой массе и балансовых запасах.

Если вмещающие породы содержат металл, а разубоживание руды происходит из-за их прихвата при добыче, то

$$k_k = \frac{c \cdot m + b \cdot \Delta m}{c \cdot (m + \Delta m)}, \quad (3.23)$$

$$\alpha = \frac{c \cdot m + b \cdot \Delta m}{m + \Delta m}, \quad (3.24)$$

где b - содержание металла во вмещающих породах; Δm - величина прихвата вмещающих пород.

В случае, если $b = 0$, коэффициент снижения качества руды $k_k = 1 - P$. Так как

$$P = \frac{\Delta m}{m + \Delta m}, \text{ то}$$

$$k_k = \frac{m}{m + \Delta m}, \quad (3.25)$$

$$\alpha = \frac{c \cdot m}{m + \Delta m}. \quad (3.26)$$

Приведенные формулы применяются на практике при жестко заданных выемочных контурах, известных параметрах системы разработки и технологии добычи руды. Они, очевидно, могут использоваться и при управляемых контурах, если учесть влияние изменения этих контуров на параметры системы разработки.

Так, на Джезказганском месторождении, где широко применяется панельно-столбовая система разработки, расширение мощности залежи за счет понижения бортового содержания приводит к необходимости увеличения ширины барьерных и диаметра междукammerных целиков, что влечет за собой рост потерь руды и металла. Вместе с тем снижается уровень разубоживания за счет прихвата вмещающих пород. В результате резко уменьшается коэффициент извлечения руды при добыче $k_{\text{кол}}$, с помощью которого ее геологические запасы пересчитываются в извлекаемые. Взаимосвязь между этими величинами показана на рис. 3.9 и 3.10.

Что касается коэффициентов k_k и k_n , то они зависят не только от мощности залежи, но и от содержания металла в оконтуренных по определенному "борту" запасах (рис. 3.11). Чем оно больше, тем меньше значения этих коэффициентов, и наоборот. Определенное влияние на них оказывает и содержание металла во вмещающих породах.

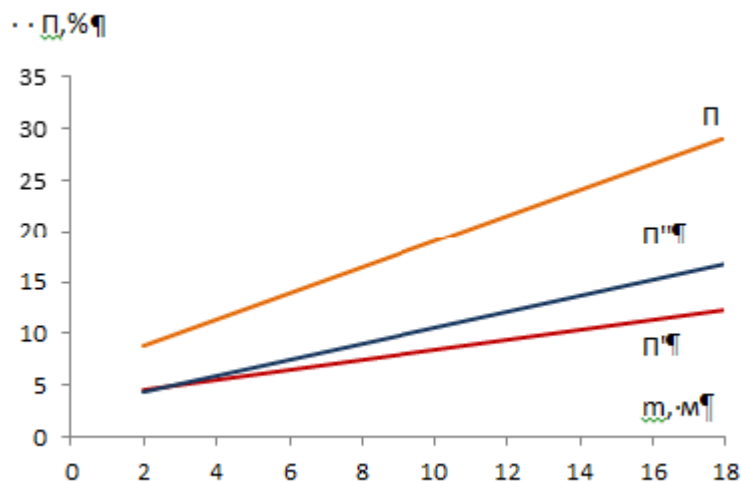


Рис. 3.9. Влияние мощности залежи на относительные потери руды:

П – потери руды по системе в целом; , в том числе: П'- в междуканальных целиках; П'' - в барьерных целиках

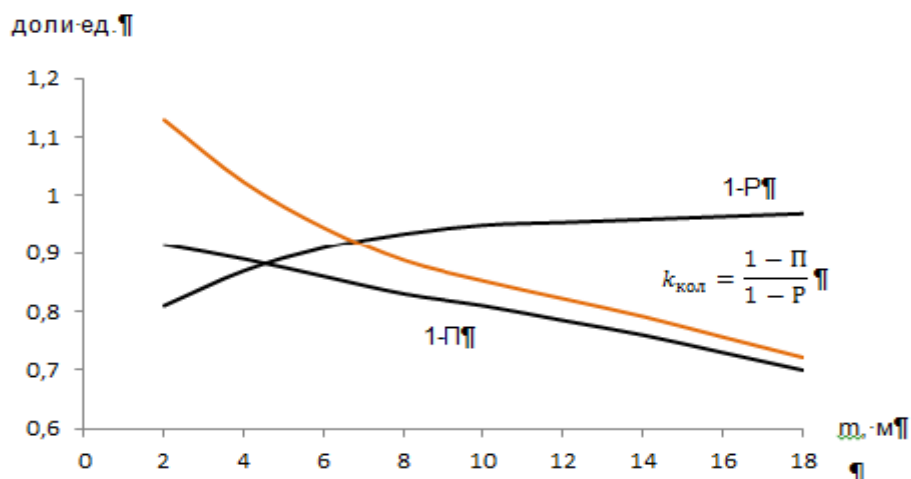


Рис. 3.10. Зависимость коэффициентов, учитывающих разубоживание и потери руды при добыче от мощности залежи m

Располагая такими зависимостями и принимая бортовое содержание (или мощность залежи) за управляемый параметр, можно выразить через него показатели количественных и качественных потерь полезного ископаемого при добыче и перейти от геологических к извлекаемым запасам руды и металла.

Для многих систем разработки характерно снижение относительных потерь руды и металла при увеличении размеров блоков и камер, причем уровень этих

потерь и интенсивность их снижения на участках залежей с разной мощностью неодинаковы. Поэтому влияние кондиций на анализируемые показатели по каждой выемочной единице сугубо индивидуально.

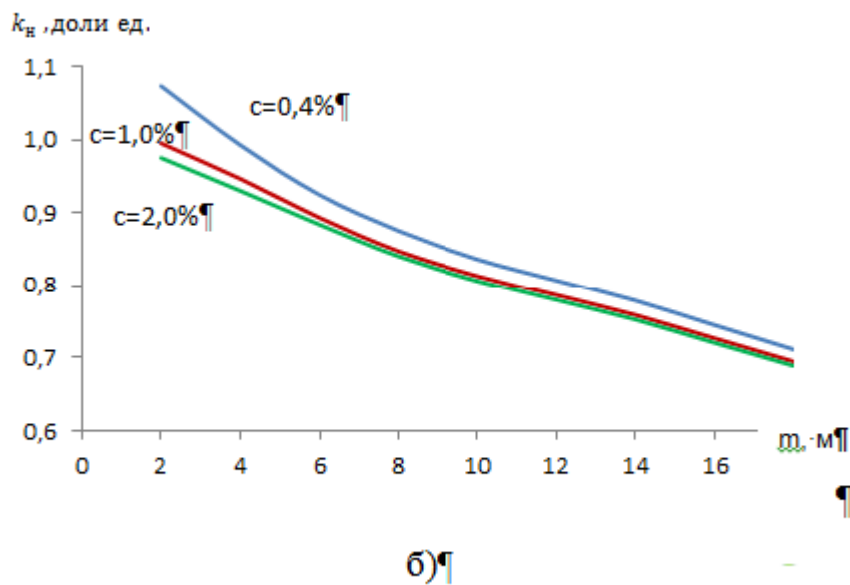
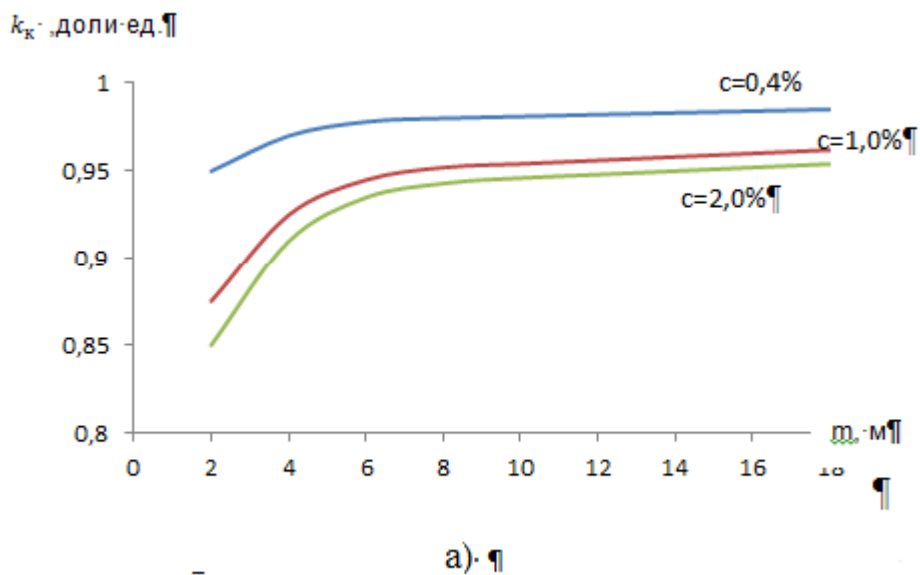


Рис. 3.11. Влияние мощности залежи на коэффициент снижения качества (а) и извлечения (б) при разном содержании металла в оконтуренных запасах

На месторождениях тонких жил решающим фактором, влияющим на кондиционность запасов, является соотношение между мощностью жилы и выемочной мощностью, от которого зависят коэффициент снижения качества руды

и содержание металла в добытой руде (рис. 3.12). При малой мощности жилы даже очень богатые ее участки не могут разрабатываться из-за чрезмерного разубоживания, поэтому в определенных условиях может быть эффективной раздельная выемка руды и вмещающих пород.

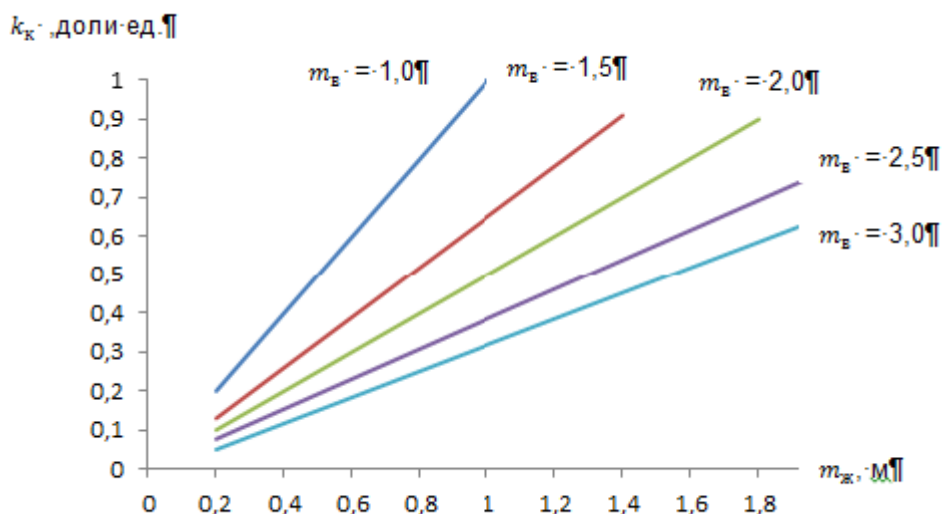


Рис. 3.12. Коэффициент снижения качества руды при разных значениях мощности жилы $m_ж$ и выемочной мощности $m_в$

Так как кондиции значительно влияют на качество добываемой руды, от которого во многом зависят технологические показатели обогащения, то при оценке целесообразности извлечения запасов из недр нужно обязательно учитывать эту зависимость.

Когда известна функция $\varepsilon(\alpha)$, связывающая коэффициент извлечения металла в концентрат ε с его содержанием в товарной руде α , выход металла определяется как $\theta(\alpha) = \varepsilon(\alpha) \cdot \alpha$. В некоторых пределах изменения содержания металла функция $\varepsilon(\alpha)$ хорошо аппроксимируется выражением вида $\varepsilon(\alpha) = d + \frac{e}{\alpha}$ где d и e - постоянные коэффициенты, причем $d > 0$, $e < 0$. Поэтому $\theta(\alpha) = d \cdot \alpha + e$.

На рис. 3.13 показаны графики этих функций, установленных при переработке руды одного редкометального месторождения, которые типичны для многих видов полезных ископаемых и ценных компонентов, извлекаемых из них.

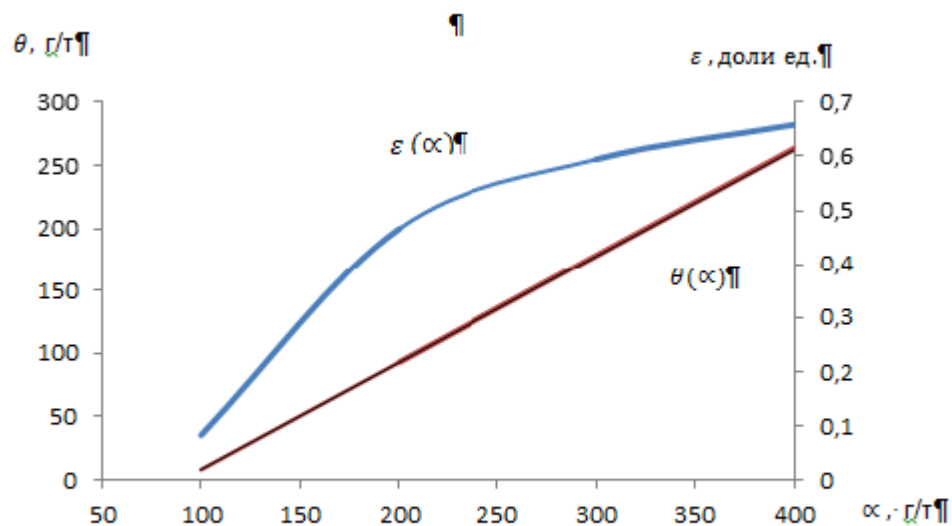


Рис.3.13. Влияние содержания металла в добытой руде α на коэффициент извлечения ε и выход металла в концентрат θ

Численные значения коэффициентов, входящих в $\varepsilon(\alpha)$ и $\theta(\alpha)$ зависят от технологических свойств перерабатываемого сырья (степени вкрапленности минералов, содержания вредных примесей и пр.) и применяемой схемы обогащения. Руды с одинаковыми свойствами и качеством, переработанные на разных схемах, характеризуются разными конечными показателями обогащения. С другой стороны, разные показатели получаются при переработке руд с несхожими технологическими свойствами на одной и той же схеме. Эти обстоятельства должны учитываться при выводе функций $\varepsilon(\alpha)$ и $\theta(\alpha)$ и при задании областей их определения. Необходимые для этого эмпирические данные собираются при проведении лабораторных, опытно-промышленных испытаний схем обогащения и технологических свойств перерабатываемого сырья или в ходе статистического анализа работы действующих обогатительных фабрик.

Среди экономических показателей, которые применяются при обосновании кондиций и выемочных контуров, важное место занимает себестоимость добычи руды. На ее долю приходится большая часть удельных затрат на производство цветных, редких и благородных металлов. Она является неотъемлемой составляющей таких показателей, как прибыль, рентабельность, приведенные

затраты и др. От нее зависят полнота и эффективность извлечения запасов из недр.

Величина себестоимости добычи руд определяется для отдельной выемочной единицы (блока, камеры), системы разработки и рудника в целом. Различают полные издержки на добычу I т руды из заданного выемочного контура и приростные затраты, необходимые для извлечения I т руды из прирезаемых к этому контуру участков залежи. В обоих случаях имеются в виду предстоящие затраты, но нужно обязательно уточнять, относятся ли они к оконтуренным или к прирезаемым запасам.

Рассмотрим показатель себестоимости добычи руды из выемочной единицы, который в наибольшей степени учитывает конкретные горно-геологические и горнотехнические условия разработки. Известно, что ее величина в значительной мере зависит от мощности рудного тела. На более мощных залежах применяются высокопроизводительные системы разработки, характеризующиеся низкой трудоемкостью отбойки и выпуска руда, относительно меньшими удельными объемами горно-подготовительных и нарезных работ и, как следствие этого, невысокой себестоимостью добычи полезного ископаемого.

Многие исследователи, анализируя влияние мощности залежи на удельные затраты на добычу руды, отмечают гиперболический характер связи между ними:

$$C_d(m) = a + \frac{b}{m}, \quad (3.27)$$

где $C_d(m)$ - зависимость себестоимости добычи руды от мощности залежи m ; a и b - постоянные коэффициенты, которые находятся расчетным или статистическими методами.

Функция (3.27) отражает тот факт, что одни составляющие затрат при различных значениях мощности залежи постоянны, а другие при ее увеличении уменьшаются.

Для вывода рассматриваемой зависимости нужно установить, как реагируют эти составляющие на изменения мощности рудного тела. Обращаясь к этому вопросу, В.М. Гурецкий [25], например, представляет коэффициент подготовки следующим образом:

$$\varphi_{\text{под}} = \frac{a_1 \cdot L + a_2 \cdot l + a_4}{m \cdot \gamma \cdot L \cdot l} + \frac{a_3}{\gamma \cdot L \cdot l}, \quad (3.28)$$

где $\varphi_{\text{под}}$ - удельный объем подготовительных и нарезных работ на 1 т извлекаемой руды (или иначе - коэффициент подготовки), м³/т; m , L , l - соответственно выемочная мощность рудного тела, длина и высота очистного пространства, м; γ - плотность руды, т/м³; a_1 , a_2 , a_3 - объем подготовительных и нарезных работ соответственно на единицу длины очистного пространства, его наклонной высоты и выемочной мощности рудного тела, м³/м; a_4 - суммарный объем прочих подготовительных и нарезных работ, м³.

Здесь из общего объема проходки подготовительных и нарезных выработок на блок выделяются составляющие, которые пропорциональны длине блока (например, этажные и подэтажные штреки, рудоспуски и основная часть воронок выпуска), высоте этажа (восстающие) и выемочной мощности рудного тела (рассечки вкрест простирания, часть объема воронок выпуска). Кроме того, учитывается, что часть общего объема подготовительных и нарезных работ не зависит от размеров рудного тела (например, ходки из восстающего в блок).

Таким образом, устанавливается гиперболическая зависимость коэффициента подготовки от выемочной мощности рудного тела

$$\varphi_{\text{под}} = \frac{B_1}{m} + B_2, \quad (3.29)$$

$$\text{где } B_1 = \frac{a_1 \cdot L + a_2 \cdot l + a_4}{\gamma \cdot L \cdot l}, \quad B_2 = \frac{a_3}{\gamma \cdot L \cdot l}.$$

Поскольку коэффициент подготовки может рассчитываться на извлекаемые запасы руды, то в этом случае в формулах (3.28), (3.29) должны учитываться потери и разубоживание, выраженные как функции от мощности залежи.

При заданной себестоимости 1 м³ подготовительных и нарезных выработок $C_{\text{подг}}$ составляющая погашения затрат на их проведение в себестоимости добычи руды определится как $\varphi_{\text{под}} \cdot C_{\text{подг}} = \left(\frac{B_1}{m} + B_2 \right) \cdot C_{\text{подг}}$, т.е. она также описывается гиперболической функцией от выемочной мощности рудного тела.

Удельные затраты на отбойку руды тоже уменьшаются с увеличением мощности рудного тела. Соответствующая формула имеет вид

$$C_{отб} = \left(1 + \frac{B_3}{m}\right) \cdot B_4, \quad (3.30)$$

где B_3 и B_4 - коэффициенты, зависящие от системы разработки, способа выемки и пр.

Точно так же можно описать и некоторые другие составляющие себестоимости добычи, например удельные затраты на выпуск руды из блока, крепление выработанного пространства и др. Именно поэтому себестоимость добычи руды из блоков хорошо описывается зависимостью (3.27).

Предположим, что в некотором блоке можно менять выемочную мощность залежи в определенных пределах за счет изменения пространственного положения проектных контуров отбойки по висячему и (или) лежащему бокам. Рассмотрим два варианта оконтуривания рудного тела с соответствующими значениями мощности m_1 , и m_2 , причем $m_1 < m_2$. Зная вид функции $C_d(m)$, легко определить, что себестоимость добычи руды по первому варианту равна $C_d(m_1) = a + \frac{B}{m_1}$, а по второму - $C_d(m_2) = a + \frac{B}{m_2}$. Так как $m_1 < m_2$, то $C_d(m_1) > C_d(m_2)$. Следовательно, при увеличении выемочной мощности с m_1 , до m_2 или на $\Delta m = m_2 - m_1$ себестоимость добычи понизится с $a + \frac{B}{m_1}$ до $a + \frac{B}{m_2}$ или на $\Delta C = B \cdot \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 \cdot m_2}\right)$. В пределе при $m_2 \rightarrow m_1$ и $\Delta m \rightarrow 0$ скорость изменения - $\frac{\Delta C}{\Delta m}$ функции $C_d(m)$ определится ее производной $C'_d(m) = -\frac{B}{m^2}$.

Наиболее сильно удельные затраты на добычу руды меняются в диапазоне относительно небольших значений мощности рудного тела. Это связано с тем, что при уменьшении мощности удельный вес составляющей $\frac{B}{m}$ в себестоимости повышается и влияние ее изменений становится существеннее.

Выемка из недр запасов, прирезаемых к заданному контуру, обходится, очевидно, дешевле добычи руды из запасов самого контура. Если бы это было не так, то функция $C_d(m)$ не уменьшалась с увеличением мощности рудного тела. Определим - чему равна себестоимость добычи руды из прирезаемых запасов. Для этого представим общие затраты на добычу полезного ископаемого из блока по второму варианту оконтуривания в виде равенства

$$\left(a + \frac{B}{m_2}\right) \cdot m_2 \cdot \gamma \cdot S = \left(a + \frac{B}{m_1}\right) \cdot m_1 \cdot \gamma \cdot S + C_\delta \cdot \Delta m \cdot \gamma \cdot S, \quad (3.31)$$

где γ - плотность руды; S - площадь очистного пространства блока; C_δ - себестоимость добычи руды из прирезаемых запасов.

Так как количество извлекаемых запасов полезного ископаемого меняется в данном случае только за счет изменения мощности рудного тела, то уравнение (3.31) легко трансформируется в равенство

$$a \cdot m_2 = a \cdot m_1 + C_\delta \cdot \Delta m. \quad (3.32)$$

Отсюда

$$C_\delta = \frac{a \cdot m_2 - a \cdot m_1}{\Delta m} = \frac{a \cdot (m_2 - m_1)}{\Delta m} = a. \quad (3.33)$$

Следовательно, удельные затраты на добычу полезного ископаемого из запасов, прирезаемых к некоторому контуру по висячему и (или) лежащему бокам залежи, складываются из тех элементов себестоимости, которые постоянны при различных значениях мощности рудного тела.

При отсутствии четких контактов рудных тел с вмещающими породами выемочная мощность зависит от бортового содержания металла в краевых пробах, включаемых в выемочный контур. Большим значениям бортового содержания соответствуют меньшие значения выемочной мощности, и наоборот. В простейших случаях эта зависимость хорошо описывается линейной или гиперболической функцией.

Если принять бортовое содержание α_B за управляемый параметр и ввести функцию $m(\alpha_B)$ в (3.27), то себестоимость добычи руды можно представить так:

$$C_d(\alpha_B) = a + \frac{B}{m(\alpha_B)}. \quad (3.34)$$

Для анализа себестоимости производства металла в концентрате требуется определить расходы по транспортировке и обогащению 1 т добытой руды и сложить их с (3.34). Так как эти затраты не зависят от бортового содержания, то общий вид функции после такого суммирования не изменится. Увеличится лишь коэффициент a , который будет равен некоторому значению a_0 .

Тогда зависимость издержек производства в расчете на 1 т добытой и переработанной руды от бортового содержания запишется как

$$C(\alpha_B) = a_0 + \frac{B}{m(\alpha_B)}. \quad (3.35)$$

Поделив ее на функцию $\theta(\alpha_B)$, связывающую выход в концентрат металла с I т руды с бортовым содержанием α_B , получим зависимость себестоимости производства металла от этого кондиционного параметра

$$C_M(\alpha_B) = \frac{1}{\theta(\alpha_B)} \left(a_0 + \frac{B}{m(\alpha_B)} \right). \quad (3.36)$$

Для нахождения $\theta(\alpha_B)$ сначала требуется установить влияние бортового содержания металла на его среднее содержание в оконтуриваемых запасах, а затем учесть разубоживание руды при добыче и потери металла при обогащении.

Об исключительно сильном влиянии содержания металла в руде на его себестоимость можно судить по графику, приведенному на рис. 3.14.

Соответствующая функция имеет вид: $C_M(\alpha) = \frac{20}{0,85 \cdot \alpha - 76,7}$.

В диапазоне изменения содержания от 100 до 400 г/т удельные затраты на производство металла меняются от 2,4 до 0,075 руб/т, т.е. более чем в 30 раз. Особенно резкие изменения отмечаются в области низких значений содержания.

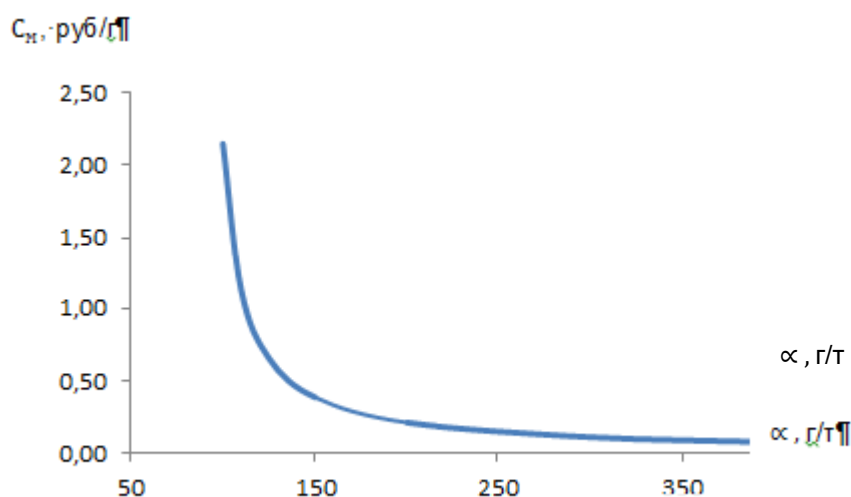


Рис.3.14 Зависимость себестоимости производства металла в концентрате от содержания металла в руде

Это объясняется тем, что с ухудшением качества руды заметно снижаются извлечение и выход металла в концентрат. В пределе при некотором критическом

значении содержания металла в руде его извлечение технологически невозможно. В нашем примере $\varepsilon(\alpha)$ и $\theta(\alpha)$ обращаются в нуль при $\alpha \approx 90$ г/т. Именно при этом или близком к нему содержании металла удельные затраты на его производство резко возрастают в силу ограниченных возможностей применяемой технологии обогащения.

Сравнительно слабо меняется себестоимость металла в области высоких значений содержания. Здесь тоже проявляются объективно существующие пределы обогащения добываемого сырья. Даже при переработке чистых минералов практически нельзя достичь полного сокращения их потерь. Поэтому кривая $\varepsilon(\alpha)$ имеет четко выраженный участок насыщения, на котором коэффициент извлечения ε стремится к его максимально возможной величине ε_{max} , а выход металла в концентрат достаточно хорошо описывается зависимостью простейшего вида $\theta(\alpha) = \varepsilon_{max} \cdot \alpha$.

Из рис. 3.13 видно, что $\varepsilon_{max} = 0,7$. Это позволяет выразить выход металла при его содержании в руде выше 350-400 г/т как $\theta(\alpha) = 0,7 \cdot \alpha$, а себестоимость металла в концентрате $C_m(\alpha) = \frac{20}{0,7 \cdot \alpha} = \frac{28,6}{\alpha}$,

Необходимость учета технологических зависимостей показателей обогащения обусловлена обычным для многих месторождений широким диапазоном изменения качества добываемых руд. Если пренебречь его влиянием на извлечение металла в концентрат, то это неизбежно приведет к ошибкам в оценке затрат на производство металлов, неправильному определению кондиций и границ извлечения запасов из недр. Рассмотрим это на примере. На рис. 3.15 показаны графики функций себестоимости металла в концентрате $C_m(\alpha) = \frac{20}{0,85 \cdot \alpha - 76,7}$ и $C'_m(\alpha) = \frac{28,6}{\alpha}$ в диапазоне изменения его содержания в руде от 90 до 1000 г/т. Первая из них учитывает влияние качества руды на извлечение металла в концентрат, а вторая - нет. При $\alpha > 300$ г/т графики обеих функций практически совпадают, т.е. в данной области вполне допустимо считать коэффициент извлечения металла в концентрат постоянным, не зависящим от его содержания в руде.

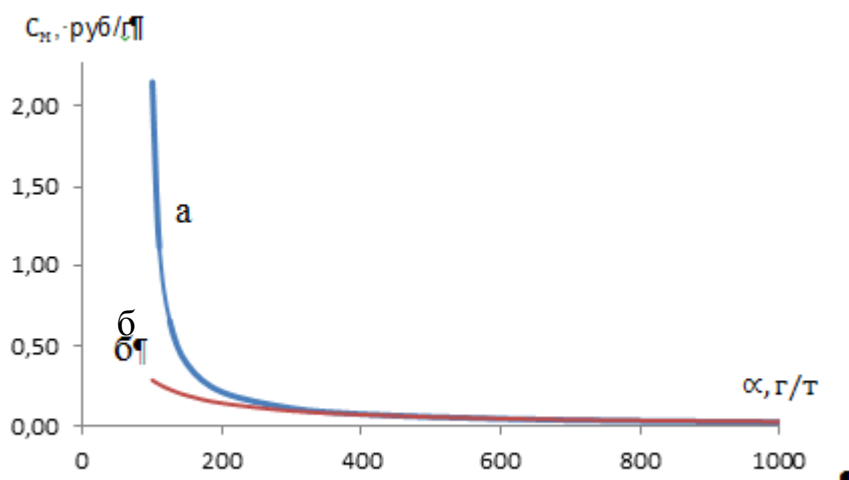


Рис. 3.15. Функции себестоимости производства металла, выведенные с учетом (а) и без учета (б) влияния содержания металла в руде на коэффициент его извлечения в концентрат

Другая картина наблюдается при содержании металла в руде меньше 300 г/т. Здесь рассматриваемые кривые заметно отклоняются друг от друга, причем график функции $C'_m(\alpha) = \frac{28,6}{\alpha}$ лежит ниже графика $C_m(\alpha) = \frac{20}{0,85 \cdot \alpha - 76,7}$. Это свидетельствует о том, что в данном диапазоне изменения качества руды предположение о постоянстве коэффициента извлечения металла в концентрат приводит к существенному завышению принимаемого его значения относительно фактического. В результате расчетная себестоимость производства металла оказывается меньше ее действительной величины.

Значение промминимума, установленное при $\varepsilon = \text{const}$, тоже занижается, вследствие чего в промышленный контур неизбежно попадают убыточные запасы. Чтобы избежать этого, при обосновании кондиций и оценке запасов должны обязательно использоваться зависимости $\varepsilon(\alpha)$ и $\theta(\alpha)$ с заданной областью их определения.

Проанализируем совместное влияние мощности залежи m в пределах выемочной единицы и содержания металла в добытой руде α на себестоимость его производства C_m . Пусть функция удельных затрат на добычу, транспортировку

и переработку руды имеет вид $C(m) = 16,5 + \frac{10}{m}$, руб/т, в интервале $4 \leq m \leq 20$, м, а выход металла в концентрат $\theta(\alpha) = 0,85 \cdot \alpha - 76,7$, г/т. Тогда $C_m(m, \alpha) = \frac{16,5 \cdot m + 10}{m \cdot (0,85 \cdot \alpha - 76,7)}$.

Графики этой зависимости при нескольких фиксированных значениях содержания металла в руде приведены на рис.3.16.

Здесь видно, что определенное влияние мощности залежи на себестоимость металла имеет место при добыче и переработке сравнительно бедных руд. С увеличением содержания металла оно ослабевает и при относительно высоких концентрациях металла довольно слабо проявляется. Такая картина, когда качество руды оказывает более сильное влияние на экономичность производства металла, чем мощность залежи и другие управляемые и неуправляемые величины, типична для многих месторождений цветных металлов.

Если выразить величины α и m через бортовое содержание металла в краевых пробах α_B , то функция $C_m(\alpha, m)$ после соответствующих преобразований сводится к зависимости (3.36), связывающей себестоимость металла с одним управляемым параметром α_B (рис. 3.17).

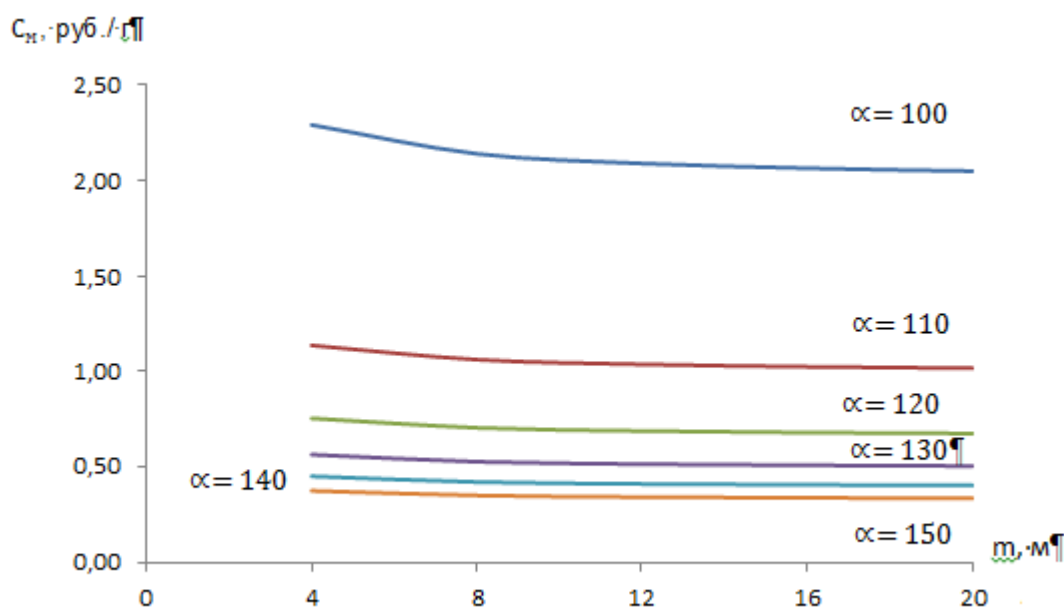


Рис.3.16. Графики функции $C_m(m, \alpha)$

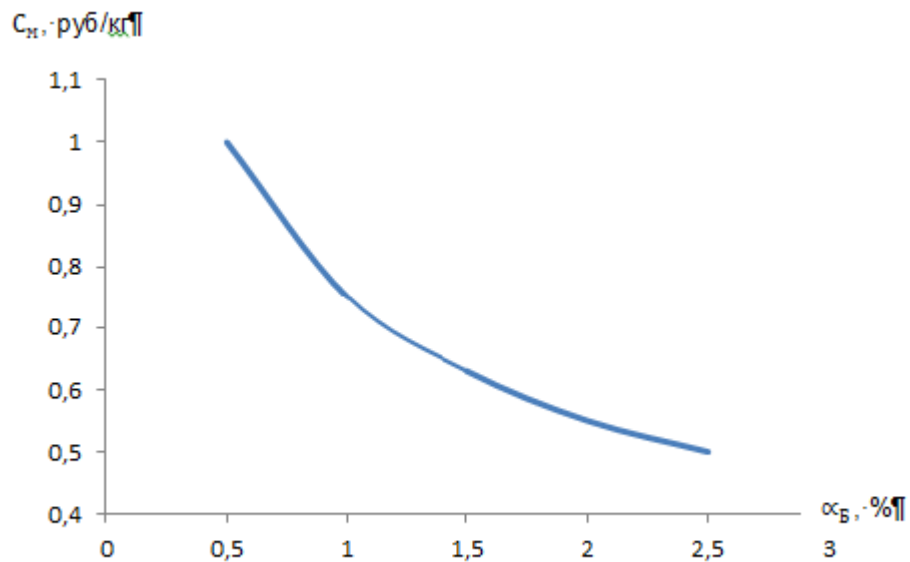


Рис. 3.17. Зависимость себестоимости производства металла от его бортового содержания

С ростом бортового содержания себестоимость металла снижается, что вполне закономерно, поскольку удешевление его производства за счет улучшения качества руды обычно перекрывает удорожание из-за сужения мощности залежи.

Когда же низкое в целом качество руды при разных значениях бортового содержания почти постоянно, а мощность рудного тела, наоборот меняется в широких пределах, указанная зависимость может возрасть. Это значит, что для снижения удельных затрат на производство металла целесообразно не уменьшать, а расширять границы разработки залежи по ее мощности.

Для определения себестоимости готового (товарного) металла к затратам на добычу, транспортировку и обогащение руды, приходящимся на 1 тонну металла, прибавляются удельные расходы на транспортировку концентрата и его металлургический передел, отнесенные на 1 тонну готового металла. Если установлены отчисления на погашение затрат на геологоразведочные работы, то они также учитываются при определении себестоимости готового (товарного) металла.

Кроме затрат, важным показателем, необходимым для оценки запасов, является извлекаемая ценность полезных компонентов, содержащихся в 1 т руды

(или просто – извлекаемая ценность руды). При управляемых выемочных контурах ее можно поставить в зависимость от кондиций и вывести соответствующую функцию. Когда ее основной аргумент - бортовое содержание металла α_B , извлекаемая ценность руды

$$\Pi(\alpha_B) = \sum_{s=1}^S k_{ks}(\alpha_B) \cdot \alpha_s(\alpha_B) \cdot \varepsilon_s(\alpha'_s) \cdot \Pi_s + \Pi_0, \quad (3.37)$$

где $\Pi(\alpha_B)$ - извлекаемая ценность руды как функция от бортового содержания металла в краевых пробах; $k_{ks}(\alpha_B)$ - коэффициент изменения качества руды при добыче по s -му полезному компоненту, $s = \overline{1, S}$; $\alpha_s(\alpha_B)$ - содержание s -го полезного компонента в оцениваемых запасах; $\varepsilon_s(\alpha'_s)$ - коэффициент извлечения в товарную продукцию s -го металла из руды с содержанием $\alpha'_s = k_{ks}(\alpha_B) \cdot \alpha_s(\alpha_B)$; Π_s - оптовая цена (или предельные затраты) на единицу s -го компонента в готовой продукции; Π_0 - постоянная составляющая извлекаемой ценности руды, которая не зависит от содержания в ней извлекаемых в товарную продукцию компонентов.

Экономическая эффективность разработки запасов выемочной единицы может оцениваться с помощью следующих зависимостей:

- удельной прибыли, получаемой от производства и реализации весовой единицы металла (по цене Π_m):

$$P_m(\alpha_B) = \Pi_m - C_m(\alpha_B); \quad (3.38)$$

- уровня рентабельности производства металла (по отношению к его себестоимости):

$$r_m(\alpha_B) = \frac{P_m(\alpha_B)}{C_m(\alpha_B)} \cdot 100; \quad (3.39)$$

- затрат на 1 руб. товарной продукции:

$$C_{\text{тов}}(\alpha_B) = \frac{C_m(\alpha_B)}{\Pi_m}. \quad (3.40)$$

Часто показатели эффективности определяются в расчете на 1 т добытой и переработанной руды:

- удельная прибыль с 1 т руды:

$$P(\alpha_B) = \Pi(\alpha_B) - C(\alpha_B); \quad (3.41)$$

- уровень рентабельности производства (по отношению к

себестоимости):

$$r(\alpha_B) = \frac{P(\alpha_B)}{C(\alpha_B)} \cdot 100 ; \quad (3.42)$$

- затраты на 1 руб. товарной продукции:

$$C_{\text{тов}}(\alpha_B) = \frac{C(\alpha_B)}{\Pi(\alpha_B)} . \quad (3.43)$$

Графики этих функций показаны на рис. 3.18. В аналитическом виде они записываются следующим образом:

- себестоимость добычи, транспортировки и переработки 1 т руды от:

а) выемочной мощности:

$$C(m) = 16,5 + \frac{10}{m}, \text{ руб/т};$$

б) бортового содержания металла:

$$C(\alpha_B) = 16,5 + \frac{10}{16,5 - 5,5 \cdot \alpha_B}, \text{ руб/т};$$

- выемочная мощность рудного тела:

$$m(\alpha_B) = 16,5 - 5,5 \cdot \alpha_B, \text{ м};$$

- выход металла с 1 т товарной руды:

$$\theta(\alpha_B) = 8,19 + \frac{27,8}{3 - \alpha_B} \text{ кг};$$

- извлекаемая ценность руды:

$$\Pi(\alpha_B) = 7,37 + \frac{25,02}{3 - \alpha_B}, \text{ руб/т};$$

- себестоимость производства металла:

$$C_M(\alpha_B) = (16,5 + \frac{10}{16,5 - 5,5 \cdot \alpha_B}) / (8,19 + \frac{27,8}{3 - \alpha_B}), \text{ руб/кг};$$

- затраты на 1 руб. товарной продукции:

$$C_{\text{тов}}(\alpha_B) = (16,5 + \frac{10}{16,5 - 5,5 \cdot \alpha_B}) / (7,37 + \frac{25,02}{3 - \alpha_B}), \text{ руб/руб};$$

- прибыль с 1 т руды:

$$P(\alpha_B) = \frac{25,02}{3 - \alpha_B} - \frac{10}{16,5 - 5,5 \cdot \alpha_B} - 9,13, \text{ руб/т};$$

- то же, с 1 кг металла:

$$P_M(\alpha_B) = 0,9 - (16,5 + \frac{10}{16,5 - 5,5 \cdot \alpha_B}) / (8,19 + \frac{27,8}{3 - \alpha_B}), \text{ руб/кг};$$

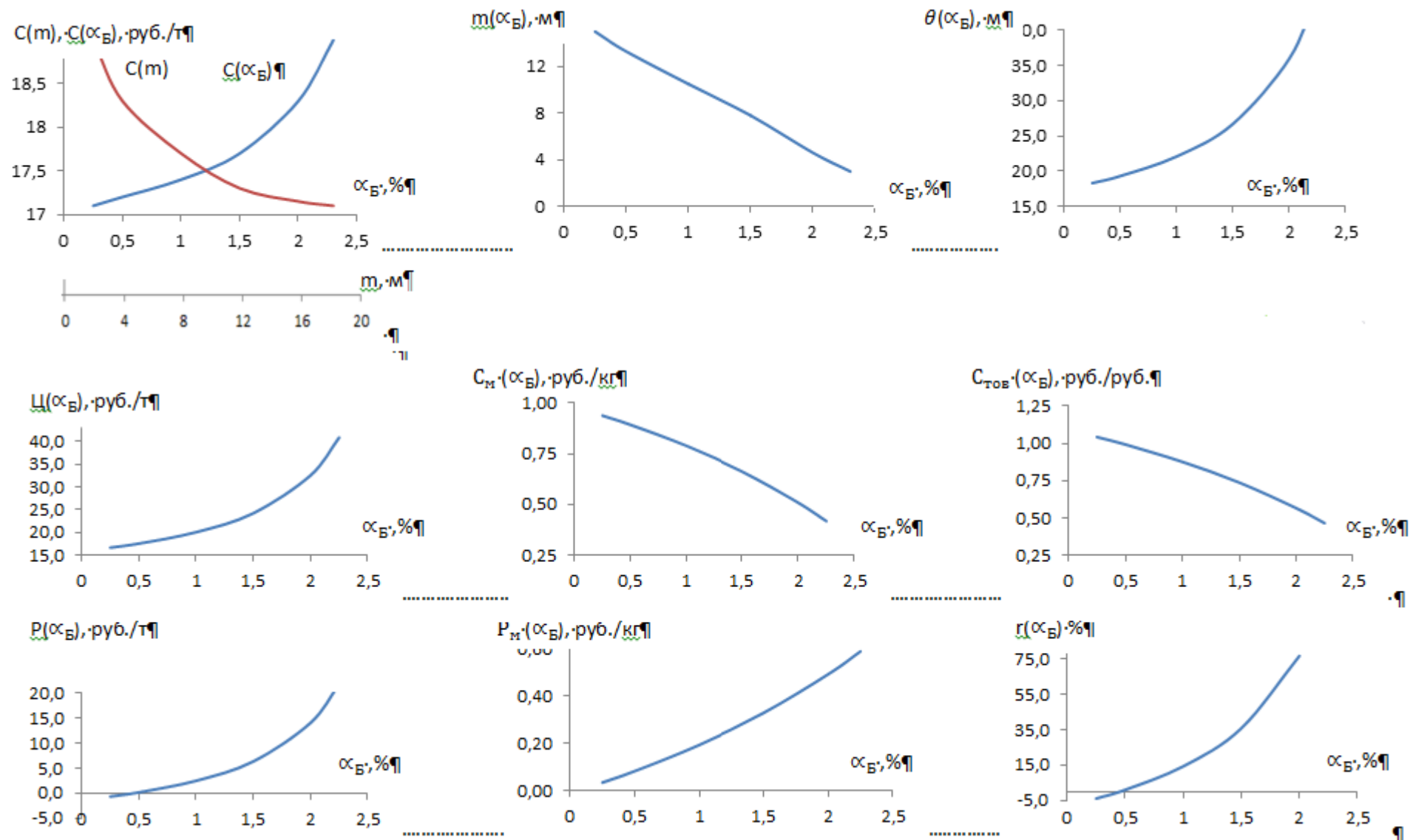


Рис.3.18. Графики функций, необходимых для промышленной оценки запасов выемочной единицы

- уровень рентабельности производства металла:

$$r(\alpha_B) = 100 \cdot \left(\frac{25,02}{3 - \alpha_B} - \frac{10}{16,5 - 5,5 \cdot \alpha_B} - 9,13 \right) / \left(16,5 + \frac{10}{16,5 - 5,5 \cdot \alpha_B} \right), \%$$

Рассматриваемые показатели в области их определения ($0,25 \leq \alpha_B \leq 2,25$) заметно меняются. С понижением бортового содержания металла экономические результаты производства ухудшаются и при $\alpha_B < 0,46\%$ разработка запасов будет убыточной из-за того, что в выемочный контур включаются значительно обедненные металлом участки залежи.

Наряду с рассмотренными выше характеристиками не менее важное значение имеют общие технико-экономические показатели эксплуатации запасов выемочной единицы. В нашем примере зависимости извлекаемых из недр запасов руды Q и металла M от бортового содержания α_B имеют вид:

$$Q(\alpha_B) = 412,5 - 137,5 \cdot \alpha_B, \text{ тыс. т.},$$

$$M(\alpha_B) = 10,04 - \frac{4,30}{3 - \alpha_B}, \text{ тыс. т.}$$

Количество товарного металла, получаемое при разработке оцениваемых запасов, выражается как

$$M_{\text{тов}}(\alpha_B) = 8,03 - \frac{3,44}{3 - \alpha_B}, \text{ тыс. т.}$$

Объем его реализации при $C_m = 0,9$ руб/кг:

$$C_{\Sigma}(\alpha_B) = 7,23 - \frac{3,096}{3 - \alpha_B}, \text{ млн. руб.}$$

Издержки производства:

$$C_{\Sigma}(\alpha_B) = 7,06 - 2,27 \cdot \alpha_B, \text{ млн. руб.}$$

Разность между $C_{\Sigma}(\alpha_B)$ и $C_{\Sigma}(\alpha_B)$ дает общую прибыль, получаемую от эксплуатации запасов выемочной единицы:

$$P_{\Sigma}(\alpha_B) = 0,17 + 2,27 \cdot \alpha_B - \frac{3,096}{3 - \alpha_B}, \text{ млн. руб.}$$

Графики этих функций представлены на рис.3.19.

Исследование на экстремум зависимости $P_{\Sigma}(\alpha_B)$ показывает, что максимум прибыли $P_{\Sigma}^0 = 1,67$ млн. руб. достигается при $\alpha_B = 1,83\%$. Однако при этом значении бортового содержания извлекаемые запасы руды равны всего 161 тыс. т, а количество товарного металла 5,09 тыс. т. Для сравнения отметим, что,

например, при $\alpha_B=1,0\%$ эти величины соответственно равны 275 тыс.т и 6,31 тыс. т, а общая прибыль снижается до 890 тыс. руб.

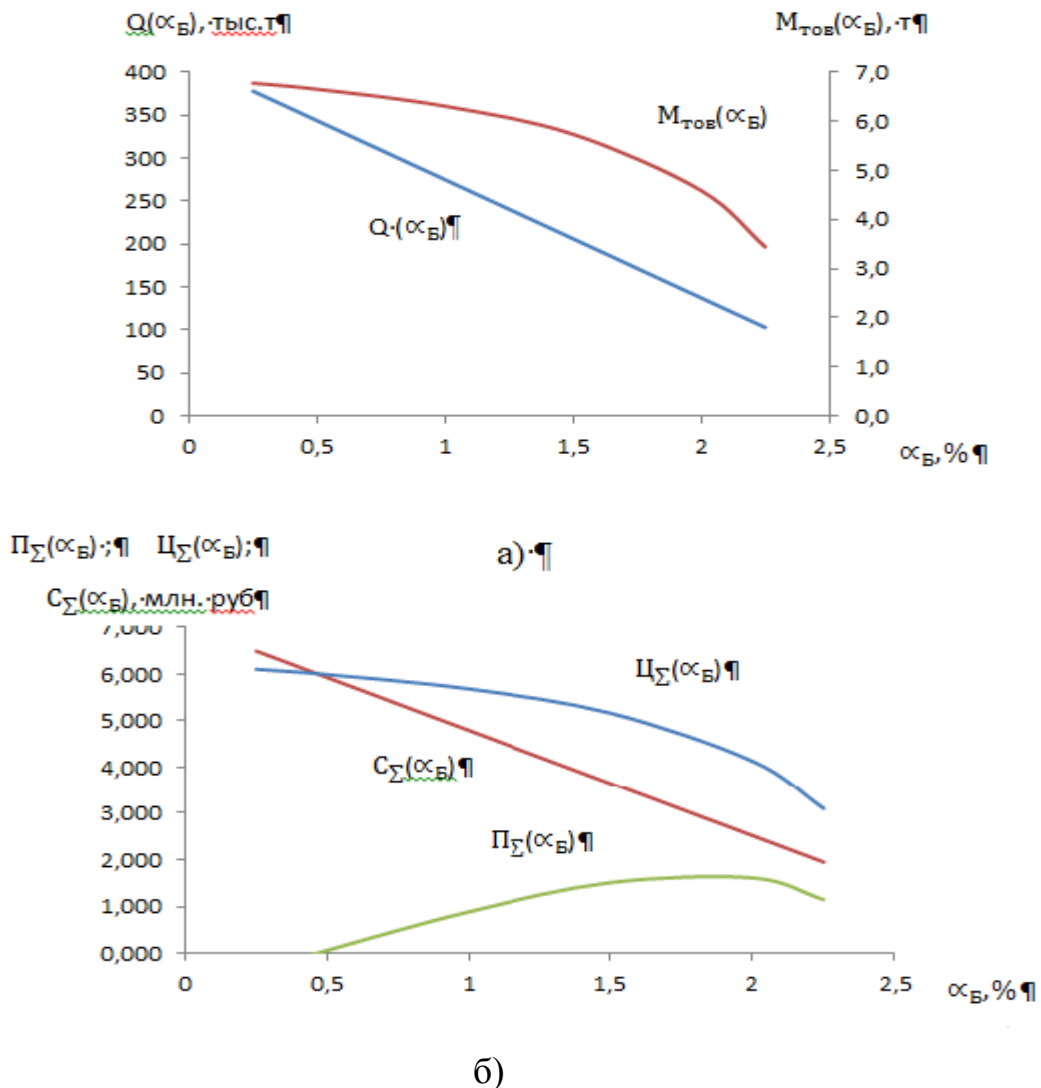


Рис. 3.19. Влияние бортового содержания металла на общие натуральные (а) и стоимостные (б) показатели эксплуатации оцениваемых запасов

Указанные функции позволяют анализировать влияние бортового содержания на эффективность производства металла на базе оконтуриваемых запасов выемочной единицы. Однако с их помощью нельзя определить экономичность разработки граничных запасов, находящихся непосредственно на контуре выемки. Обычно стремятся не допустить включения в промышленную эксплуатацию убыточных запасов и, кроме того, исключить возможность выведения за этот контур рентабельных или бесприбыльных участков залежей.

Поэтому для правильного обоснования экономически целесообразных границ их разработки следует контролировать себестоимость и эффективность производства металла на базе граничных запасов.

Рассмотрим на примере - как должна определяться экономически целесообразная граница разработки запасов. Для этого возьмем функцию $\alpha_B(Q) = 3,0 - 10^{-3} \cdot 7,87 \cdot Q$, обратную функции $Q(\alpha_B) = 412,5 - 137,5 \cdot \alpha_B$. Основанием для такого преобразования служит взаимно однозначное соответствие между бортовым содержанием металла α_B и извлекаемыми запасами руды Q . Подставляя $\alpha_B(Q)$ в $M_{\text{тов}}(Q)$, получим $M_{\text{тов}}(Q) = 8,03 - \frac{473}{Q}$. Взяв производную этой функции, приходим к выражению, с помощью которого оценивается влияние изменения извлекаемых запасов руды на изменение количества получаемого товарного металла: $\frac{dM_{\text{тов}}(Q)}{dQ} = \frac{473}{Q^2}$.

Затраты на производство металла C_{Σ} связаны с запасами руды зависимостью:

$$C_{\Sigma}(Q) = 10^{-3} \cdot 16,5 \cdot Q + 0,25.$$

Ее производная $\frac{dC_{\Sigma}(Q)}{dQ} = 10^{-3} \cdot 16,5$ характеризует издержки производства,

приходящиеся на единицу запасов, добываемых на границе выемочного контура.

Поделив $\frac{dC_{\Sigma}(Q)}{dQ}$ на $\frac{dM_{\text{тов}}(Q)}{dQ}$, определим себестоимость производства металла из

этих запасов: $\frac{dC_{\Sigma}(Q)}{dM_{\text{тов}}(Q)} = \frac{10^{-3} \cdot 16,5 \cdot Q^2}{473} = 34,884 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2$.

Теперь составим и решим уравнение, отражающее условие безубыточности эксплуатации граничных запасов: $34,884 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 = C_m$, где $C_m = 900$. В результате приходим к выводу, что указанное равенство соблюдается при $Q^0 = 161$ тыс.т. Соответствующее этим запасам значение бортового содержания металла $\alpha_B = 1,83\%$.

Таким образом, результаты оконтуривания по критерию максимума получаемой прибыли и условию безубыточности эксплуатации граничных запасов совпадают. Этот вывод позволяет указать на два возможных способа экономически обоснованного оконтуривания рудных залежей, приводящих к одинаковым результатам. Первый состоит в максимизации функции прибыли, получаемой

при разработке оцениваемых запасов, а второй - в решении уравнения безубыточности эксплуатации запасов, находящихся на границе выемочного контура. На практике, однако, довольно часто встречаются заметные отклонения от оптимума, установленного одним из указанных способов. Это объясняется прежде всего отсутствием глубокого анализа взаимосвязи между кондициями и технико-экономическими показателями производства.

Следует также иметь в виду, что изложенная схема оптимизации обеспечивает достижение лишь локального оптимума на уровне отдельной выемочной единицы и совершенно не учитывается ряд дополнительных и вполне реальных в производственных условиях требований к характеристикам оконтуриваемых запасов, например, к их количеству, качеству, уровню рентабельности и др. Дальнейшее развитие аналитического подхода к оптимизации выемочных контуров будет заключаться в переходе от локальных к системным методам оценки запасов с учетом натуральных и стоимостных показателей, отражающих разные стороны производства.

Глава 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОКОНТУРИВАНИЯ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

§1. Общие положения

Способы оконтуривания рудных тел хорошо описаны в книге А.П. Прокофьева /72/ и других источниках /73,74/. Не вдаваясь в их суть и отвлекаясь на время от экономических аспектов рассматриваемой задачи, рассмотрим некоторые вопросы, связанные с техникой выделения контуров залегания и разработки рудных залежей. Их естественными границами могут быть породы разного состава, тектонические нарушения, трещины и так называемые "маркирующие признаки" /25/, располагающиеся со стороны висячего и (или) лежащего боков оруденения, а иногда и внутри него. Однако часто они вообще отсутствуют, так как вмещающие породы имеют ту же минерализацию, что и руды. Поэтому на многих

месторождениях полезных ископаемых, например, на Дзезказганском, Лениногорском, Зыряновском, Миргалимсайском, Бакырчикском и других нет четких геологических контактов рудных тел с окружающими их породами,

На таких объектах особенно трудно правильно оконтурить запасы полезного ископаемого. При этом необходимо одновременно учитывать геологические, технологические и экономические факторы, определяющие, с одной стороны, техническую возможность, а с другой - целесообразность ведения горных работ на оцениваемом объекте. Но прежде всего нужно знать особенности пространственного размещения параметров оруденения.

Для этого с помощью скважин и горных выработок создаются искусственные обнажения изучаемого массива пород - так называемые разведочные пересечения, которые, как правило, ориентированы по мощности рудных тел, т.е. в направлении наибольшей изменчивости свойств полезных ископаемых.

Каждое разведочное пересечение представлено набором интервалов опробования. Их длина главным образом зависит от характера изменчивости содержания ценных компонентов и мощности рудных тел. На месторождениях разных типов она может принимать значения от десятых долей метра до 10 м и более.

Наиболее наглядно данные опробования отражаются на графике, показывающем - как меняется содержание того или иного компонента до пересечению при переходе от одного интервала к другому (см. рис. 3.1).

При построении этих графиков полагаем, что ось абсцисс ориентирована вдоль пересечения в определенном направлении, например от висячего к лежащему бокам залежи. На ней последовательно откладываем длины следующих друг за другим в том же направлении интервалов опробования. За начало отсчета расстояний принимаем точку входа (или выхода) скважин или выработки в рудное тело. Таким образом, по оси абсцисс располагается вся опробованная мощность залежи, а на оси ординат отмечается содержание металла в пробах.

За точки отбора проб принимаются середины интервалов опробования. Из каждой точки восстанавливаем перпендикуляр, на котором откладываем

соответствующее значение содержания металла в пробе. Соединив эти отметки прямыми линиями, получаем график его изменения по пересечению.

Такие же графики можно построить в целях анализа изменения основных характеристик запасов по простиранию (см. рис. 3.3) и падению рудных залежей. Пользуясь известными приемами сглаживания геологоразведочных данных [75-77], можно от ломаных графиков перейти к выравнивающим их кривым, отражающим общие и локальные закономерности изменения параметров оруденения в пространстве.

В простейших случаях эти кривые хорошо описываются с помощью аналитических функций, удобных для последующего анализа. При значительном скачкообразном изменении анализируемых величин такое описание становится затруднительно и не всегда оправдано. Поэтому приходится прибегать к дискретному отображению геолого-разведочных данных.

Основная цель, которая преследуется при оконтуривании залежи по ее мощности, - выделение рудных и безрудных прослоев по каждой скважине или выработке, пересекающих залежь в пределах рассматриваемого участка.

Наиболее полный состав кондиций, необходимых для решения этой задачи, включает: бортовое содержание полезного компонента в краевых пробах α_B ; его минимальное содержание по разведочному пересечению α_{min}^* ; минимальную мощность рудных тел m_{min} (для маломощных участков с высоким содержанием металла - минимальный метрограмм или метропроцент $\alpha_{min}^* \cdot m_{min}$); максимальную мощность прослоев пустых пород или бедных руд в выемочном контуре m_{max} .

Обязательным при этом является соблюдение следующих правил:

а) В границах выемочного контура должны находиться интервалы опробования с содержанием полезного компонента выше или равным бортовому, за исключением особо оговоренных случаев;

б) участки залежи, вошедшие в промышленный контур, должны иметь среднее содержание полезного компонента не ниже заданного, а их мощность - не меньше минимально допустимой величины;

в) если мощность залежи меньше минимально допустимой, а среднее содержание полезного компонента больше заданного лимита или равно ему, то кондиционность запасов выемочного контура определяется по минимальному метропроценту (метрограмму);

г) безрудные участки, разделяющие рудные, должны иметь мощность не ниже заданной или, что то же самое, в промышленный контур следует включать только те участки некондиционных руд, мощность которых не превышает заданную.

Однако из-за высокой изменчивости параметров оруденения строго следовать этим правилам не всегда возможно. Сложная морфология и внутренняя структура рудных тел затрудняют и удорожают добычу. В таких случаях приходится выравнивать выемочные контуры, чтобы создать условия для "технологической непрерывности" (по В.М. Гурецкому /25/) разработки запасов. Для этого при оконтуривании залежей по их мощности широко применяется принцип компенсации содержания во внутренних непромышленных точках /9/. Согласно этому принципу, когда содержание полезного компонента в промежутке между кондиционными интервалами ниже бортового, некондиционный интервал тоже включается в промышленный контур при условии, что среднее содержание по сумме указанных интервалов будет не ниже бортового. Если это условие не выполняется, то за пределы контура выводятся как некондиционный, так и смежные с ним кондиционные интервалы.

Специальный показатель кондиций - максимальная мощность безрудных прослоев, включаемых в подсчет запасов, также предназначен для упрощения выемочных контуров.

Для многих жильных месторождений характерны четкие контакты полезного ископаемого с вмещающими породами по мощности залежей. Вместе с тем приходится определять экономически обоснованные границы разработки жил по их простиранию и падению. На этих объектах задача оконтуривания промышленных запасов решается с помощью таких параметров кондиций, как минимальное среднее содержание металла по разведочному пересечению,

минимальное промышленное содержание металла в блоке, максимальная длина безрудного участка, включаемого в подсчет запасов. Первый из них обеспечивает возможность включения в выемочный контур только тех пересечений и примыкающих к ним участков залежи, которые имеют содержание металла не ниже заданного, с помощью второго оценивается кондиционность запасов блока (подсчетного или эксплуатационного), а третий предназначен для исключения возможности оставления участков небольшой длины между кондиционными блоками.

При составлении проектов кондиций обычно назначают и рассматривают несколько вариантов их значений, а на действующих рудниках вообще отстраивают единственный вариант оконтуривания - тот, который соответствует установленным кондициям. Это приводит к большим ошибкам в определении экономически обоснованных границ разработки рудных залежей.

В последние годы идея применения на рудниках эксплуатационных (дифференцированных) кондиций получила широкое признание. Одна из причин, сдерживающих ее реализацию, - большая трудоемкость обоснования параметров кондиций для каждой выемочной единицы, а также необходимость оперативного переоконтуривания и подсчета их запасов. При существующих штатах и высокой загруженности геологических служб рудников они не всегда могут взять на себя функции, связанные с выполнением этой работы, тем более, что число разведочных пересечений на многих месторождениях достигает десятки тысяч.

Выход из положения - использование для этих целей ЭВМ.

Переход от ручных к автоматизированным методам накопления, хранения, преобразования и отображения разведочных данных позволит резко повысить скорость их обработки, появится возможность быстрого выявления и аналитического описания основных закономерностей изменения геологических величин и экономических показателей, а также выполнения многовариантных, оптимизационных расчетов для установления наилучшего положения выемочных контуров в пространстве.

Организация машинной обработки геологоразведочной информации при

оконтуривании рудных тел требует создания соответствующего алгоритмического и программного обеспечения. Работы в данной области /78-82/ начаты сравнительно недавно и еще далеки до окончательного завершения.

Так, в /79/ предлагается алгоритм выделения рудных интервалов по мощности залежи. Кондиции, необходимые для решения этой задачи, предполагаются заданными. Авторы анализируют разные ситуации, встречающиеся на практике. В принятой схеме анализа используются видимые (измеренные по длине скважины) мощности интервалов, а истинные (измеренные по нормали) их значения определяются на заключительной стадии расчетов. С учетом этого производятся уточнение, отбраковка и укрупнение рудных интервалов.

В /80/ приводится формализованная запись задачи выделения кондиционных пересечений по критерию максимальной суммарной мощности балансовых руд при ограничениях на среднее и бортовое содержание ценных компонентов по каждому пересечению и сорту руды, а также на минимально допустимую кондиционную мощность рудного тела, соответствующую определенному сорту руд. Разработан специальный алгоритм решения этой задачи, создано программное обеспечение.

Чрезмерное увеличение выемочной мощности ухудшает качество полезного ископаемого, а ее занижение - уменьшает количество извлекаемых запасов. Поэтому в /81/ предлагается оптимизировать интегрированный показатель качества при заданных ограничениях на кондиции. Направленный поиск оптимума осуществляется методом планирования эксперимента.

В /82/ набор проб, расположенных по линии опробования, представляется в виде структурированной треугольной матрицы, содержащей характеристику возможных вариантов оконтуривания. Значение каждой компоненты матрицы формируется на основе выбранного критерия и ограничений. Для выбора наилучшего варианта оконтуривания предлагается применять метод динамического программирования. Алгоритм реализован на ЭВМ и апробирован в разных условиях.

Таким образом, исследователи, работающие в данной области, по-разному

решают задачу оконтуривания запасов на ЭВМ. Общеизвестных методов пока нет, а практические расчеты на производстве по-прежнему выполняются вручную. Поэтому необходимо дальнейшее развитие методической и алгоритмической базы для автоматизированного оконтуривания и подсчета запасов полезных ископаемых.

Мы рассмотрим два принципиально разных подхода к оконтуриванию залежи с помощью ЭВМ. Первый, традиционный, предусматривает использование параметров кондиций, значения которых заранее задаются или определяются технико-экономическими расчетами, второй реализует идею предварительного формирования множества возможных вариантов оконтуривания залежи с последующим отбором тех вариантов, которые удовлетворяют заданным ограничениям.

§ 2. Оконтуривание залежи по заданным кондициям

Обратимся к задаче определения пространственных границ залегания кондиционного (некондиционного) полезного ископаемого по разведочному пересечению. При ее решении используются значения указанных выше параметров кондиций и первичные геолого-разведочные данные по каждому пересечению: длина интервалов опробования $l_j, j = \overline{1, n}$; соответствующие значения содержания полезных компонентов α_{js} , азимут простирания $\gamma_{пр}$ (на участке пересечения) и угол наклона γ_n скважины (или выработки) к горизонтальной плоскости в точке ее входа в рудное тело; азимут простирания $\gamma'_{пр}$ и угол падения γ_n залежи. Пространственные координаты, определяющие местоположение пересечений в трехмерном пространстве, в расчетах не участвуют, так как не влияют на результаты оконтуривания, а используются лишь при графических построениях.

Зафиксируем точку входа (выхода) скважины или выработки в рудное тело и примем ее за начало одномерного пространства координат, ориентированного во внутрь залежи. В этом же направлении пронумеруем интервалы опробования. Длина j -го интервала $l_j = l_j^+ - l_j^-$, где l_j^+ и l_j^- - соответственно координаты

его конца и начала. Для всех интервалов соблюдается равенство $l_j^+ = l_{j+1}^-$, т.е. конец j -го интервала совпадает с началом $(j + 1)$ -го.

Обычно для обобщенной оценки качества запасов комплексных руд используется специальный показатель - содержание условного компонента в оцениваемых запасах. Поэтому первичные данные опробования α_{js} пересчитываются в эквивалентное по стоимости содержание условного металла α_j :

$$\alpha_j = \sum_{s=1}^S \alpha_{js} \cdot k_s \quad j = \overline{1, n}, \quad (4.1)$$

где k_s - переводные коэффициенты.

Тогда кондиции по качеству представляют собой предельные требования к содержанию этого металла в оцениваемых запасах.

Оконтуривание залежи по пересечению производится в определенной последовательности. Сначала отбираются кондиционные интервалы опробования с содержанием металла выше или равным бортовому α_B . Принимая во внимание их размещение по пересечению, они объединяются в рудные прослойки, а безрудные образуются из оставшихся интервалов. По тем и другим определяются их видимые мощности и среднее содержание полезных компонентов. Поскольку скважины или горные выработки пересекают рудное тело под различными углами, видимые мощности прослоев пересчитываются в истинные.

Качество запасов в рудных прослоях проверяется по минимальному среднему содержанию металла α_{min}^* , а их мощность - по минимально допустимой величине m_{min} . Мощность внутренних безрудных прослоев, залегающих между двумя рудными, контролируется ее предельным значением m_{max} .

Оконтуривание залежи по пересечению считается законченным при одновременном выполнении указанных требований по всем выделенным прослоям - рудным и безрудным.

Описанная схема действий повторяется для каждого разведочного пересечения, представляющего геологический разрез, участок, залежь. После этого увязываются установленные по ним контуры запасов в пространстве.

Наиболее трудоемок при оконтуривании процесс выделения рудных и безрудных прослоев по пересечению. Стандартный характер этих операций позволяет успешно выполнять их на ЭВМ.

Для автоматизированного оконтуривания залежи по пересечению предлагается следующий алгоритм.

Шаг 1. Последовательно, начиная с первого интервала, проверить выполнение неравенства $\alpha_j \geq \alpha_B$ для всех $j = \overline{1, n}$. Если ни один из интервалов не удовлетворяет этому ограничению, пересечение признается некондиционным, в противном случае формируется множество кондиционных по бортовому содержанию интервалов опробования J_K .

Шаг 2. Из некондиционных интервалов, не вошедших в J_K , составить множество J_{HK} и отобрать из него внутренние непромышленные интервалы, т.е. такие, по которым $2 \leq j \leq n-1$, $\alpha_j < \alpha_B$, $\alpha_{j-1} \geq \alpha_B$ и $\alpha_{j+1} \geq \alpha_B$.

Если они имеются, из них формируется множество J' и выполняется шаг 3. Когда $J' = \emptyset$, переходим к шагу 5.

Шаг 3. Для всех $j \in J'$ рассчитать среднее содержание металла на участке пересечения, состоящем из j -го некондиционного и смежных с ним кондиционных интервалов

$$\alpha'_j = \frac{\alpha_{j-1} \cdot l_{j-1} + \alpha_j \cdot l_j + \alpha_{j+1} \cdot l_{j+1}}{l_{j-1} + l_j + l_{j+1}}.$$

Шаг 4. Проверить неравенство $\alpha'_j \geq \alpha_B$ для каждого $j \in J'$. Если оно выполняется, соответствующий интервал (согласно правилу компенсации содержания во внутренних непромышленных точках) переводится из J_{HK} в J_K . При нарушении указанного неравенства интервал оставляется в J_{HK} .

В конечном счете все интервалы пересечения разбиваются на два непересекающихся множества J_K и J_{HK} . Дальнейшие действия обеспечивают формирование таких их подмножеств, которые содержат только смежные интервалы. В результате опробованная мощность залежи представляется в виде набора чередующихся рудных и безрудных прослоев.

Если $\alpha_1 \geq \alpha_B$, т.е. когда первый интервал принадлежит J_K (это

определяется на 1-м шаге алгоритма), всем рудным прослоям присваиваются нечетные номера, а безрудным - четные. При $\alpha_1 < \alpha_B$ этот порядок нумерации обратный.

При образовании прослоев выполняется итеративная процедура (шаг 5), которая описывается здесь для v - ой итерации, состоящей в выделении смежных интервалов, принадлежащих J_v - му множеству (т.е. прослою с номером v).

Предположим, что предыдущие итерации позволили сформировать $v-1$ прослоев. Тогда множество еще не рассмотренных интервалов опробования можно записать как $J \setminus \bigcup_{i=1}^{v-1} J_i$, где J множество интервалов, принадлежащих данному пересечению; i - индекс прослоев, сформированных на предыдущих итерациях.

Шаг 5. Найти минимальный элемент множества $J \setminus \bigcup_{i=1}^{v-1} J_i$ и начать с него формирование множества J_v . Обозначим этот элемент как $(j_v)_{\min}$. Если $(j_v)_{\min} \in J_K$, то на этой итерации образуется рудный прослой, а если нет, то безрудный. В первом случае проверяется принадлежность множеству J_K элемента, следующего за $(j_v)_{\min}$, затем - следующего за ним и т.д. Это условие записывается так: $((j_v)_{\min} + q) \in J_K$, где q последовательно принимает значения 1,2,3 ... и т.д., пока указанное условие не будет нарушено. Когда это произойдет, формирование рудного прослоя и множества J_v заканчивается.

Точно так же поступаем при формировании безрудного прослоя, но в этом случае оперируем с элементами множества J_{HK} .

Итерации продолжаются до тех пор, пока не будет выполнено равенство $J \setminus \bigcup_{i=1}^{v-1} J_i = \emptyset$. Это означает, что проведено полное разбиение заданного множества интервалов опробования на непересекающиеся их подмножества J_i , $i = \overline{1, N}$ где N - общее количество сформированных прослоев (рудных и безрудных).

Шаг 6. Рассчитать видимую мощность

$$m_i = \sum_{j \in J_i} \ell_j, \quad i = \overline{1, N} \quad (4.3)$$

и среднее содержание полезных компонентов

$$\alpha_{is} = \frac{\sum_{j \in J_i} \alpha_{js} \cdot \ell_j}{\sum_{j \in J_i} \ell_j}, \quad i = \overline{1, N}, \quad s = \overline{0, S}, \quad (4.4)$$

по всем прослоям. Здесь значение индекса $s = 0$ соответствует содержанию

условного металла.

Шаг 7. Определить границы выделенных прослоев.

Из множества $J_i, i = \overline{1, N}$ выбираются минимальный $(j_i)_{\min}$ и максимальный $(j_i)_{\max}$ номера, а затем применяются равенства:

$$L_i^- = (\ell_i)_{\min}^-, L_i^+ = (\ell_i)_{\min}^+, \quad (4.5)$$

где L_i^- и L_i^+ - соответственно координаты нижней и верхней границы i -го прослоя; $(\ell_i)_{\min}^-$ и $(\ell_i)_{\min}^+$ - то же, начала и конца первого и последнего интервалов, вошедших в i -ый прослой. Полученные линейные координаты легко увязываются с координатами начальной точки в трехмерном пространстве и могут использоваться в графических построениях.

Такие параметры кондиций, как m_{\min} и m_{\max} применяются не к видимым, а к истинным значениям мощностей прослоев, которые определяются на следующем шаге алгоритма.

Шаг 8. Рассчитать истинные мощности прослоев \bar{m}_i .

$$\bar{m}_i = m_i \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot (\cos \gamma_{\text{H}} \cdot \cos \theta + \sin \gamma_{\text{H}} \cdot \text{ctg} \alpha_{\Pi}), i = \overline{1, N}, \quad (4.6)$$

где m_i - видимая мощность прослоя; α_{Π} - угол падения рудного тела; γ_{H} - угол наклона скважины (выработки) к горизонтальной плоскости; $\theta = \alpha_{\text{пр}} - (90 + \gamma_{\text{пр}})$, где $\alpha_{\text{пр}}$ - азимут простирания залежи; $\gamma_{\text{пр}}$ - то же, скважины (выработки).

Шаг 9. Проверить кондиционность рудных прослоев по минимальному среднему содержанию условного металла α_{\min}^* и минимальной мощности залежи m_{\min} . При этом могут встретиться следующие

ситуации:

1) $\alpha_{i0} \geq \alpha_{\min}^*$, $\bar{m}_i \geq m_{\min}$. Прослой является кондиционным по обоим параметрам.

2) $\alpha_{i0} < \alpha_{\min}^*$, $\bar{m}_i < m_{\min}$. Прослой некондиционный по обоим параметрам и его следует отнести в категорию безрудных, объединив с такими же смежными прослоями. Здесь и в дальнейшем при объединении прослоев их мощности m_i складываются, а среднее содержание металлов рассчитывается как

средневзвешенное (на мощности) значение величин α_{is} . Кроме того, корректируются границы и упорядочивается нумерация прослоев с учетом изменений, произведенных в их структуре.

3) $\alpha_{io} < \alpha_{min}^*$, $\bar{m}_i \geq m_{min}$. Прослой хотя и имеет достаточную мощность, но является некондиционным по качеству запасов. В этом случае переходим к шагу 10 алгоритма.

4) $\alpha_{io} \geq \alpha_{min}^*$, $\bar{m}_i < m_{min}$. Прослой является кондиционным по качеству запасов, но его мощность меньше минимально необходимой. Тогда следует выполнить шаг 12.

Шаг 10. Проверить, можно ли, уменьшая мощность прослоя, повысить до необходимого уровня среднее содержание металла в нем.

Для этого из него последовательно исключаются те из крайних его интервалов, которые имеют меньшее содержание металла. После каждого такого исключения характеристики запасов данного и смежных с ним безрудных прослоев пересчитываются по формулам (4.3) - (4.6), а затем проверяется выполнение условий 1). Как только они удовлетворяются, прослой становится кондиционным по мощности и качеству запасов. В противном случае приходим к ситуации 2), когда он признается некондиционным и объединяется со смежными безрудными прослоями.

Шаг 11. Произвести отбор внутренних безрудных прослоев и для каждого из них проверить выполнение неравенства $\bar{m}_i \geq m_{min}$.

Если оно соблюдается, то никаких изменений, не производится, а при его нарушении соответствующий прослой объединяется с примыкающими к нему рудными прослоями. Вновь образованный прослой оценивается на кондиционность (шаг 9).

Шаг 12. Проверить, можно ли увеличить мощность прослоя до требуемой величины, не снижая при этом качества руды ниже минимально необходимого и соблюдая условие $\bar{m}_i \geq m_{max}$ для примыкающих к нему внутренних безрудных прослоев. Когда таких нет и вмещающие породы не содержат металл, кондиционность достигается при $\alpha_{io} \cdot \bar{m}_i \geq \alpha_{min}^* \cdot m_{min}$, т.е. фактическая величина

метропроцента (метрограмма) должна быть не меньше его минимального значения. Если вмещающие породы оруденелые, то мощность прослоя следует увеличивать с \bar{m}_i до m_{\min} путем последовательного подключения к нему примыкающих интервалов опробования. На каждом таком шаге в контур вводится интервал (его часть) имеющий большее содержание металла, по формулам (4.3) - (4.6) пересчитываются характеристики запасов прослоя, а его кондиционность или некондиционность определяются по условиям 1) и 2).

Точно так же поступаем, когда хотя бы один из примыкающих прослоев является внутренним безрудным. Но при этом нужно контролировать, чтобы его мощность $\bar{m}_i \geq m_{\max}$. При нарушении этого неравенства он объединяется со смежными рудными, после чего проверяется кондиционность вновь образованного прослоя (шаг 9),

Для разных способов подсчета запасов, а также при графических построениях могут понадобиться значения горизонтальных $m_{\text{гр}}$ или вертикальных $m_{\text{ив}}$ мощностей прослоев, которые определяются на следующем шаге алгоритма.

Шаг 13. Выполнить расчеты по формулам

$$m_{\text{гр}} = m_i \cdot (\cos \gamma_{\text{н}} \cdot \cos \theta + \sin \gamma_{\text{н}} \cdot \text{ctg } \alpha_{\text{п}}), i = \overline{1, N}, \quad (4.7)$$

$$m_{\text{ив}} = m_i \cdot \text{tg } \alpha_{\text{п}} \cdot (\cos \gamma_{\text{н}} \cdot \cos \theta + \sin \gamma_{\text{н}} \cdot \text{ctg } \alpha_{\text{п}}), i = \overline{1, N}. \quad (4.8)$$

Обозначения те же, что в формуле (4.6).

Шаг 14. Выдать результаты оконтуривания на печать.

Рассмотрим пример.

Известны данные опробования разведочной скважины, пересекающей залежь на ее полную мощность (табл. 4.1). В таблице в целях упрощения расчетов приведена истинная длина интервалов опробования. Руда монометаллическая. Оконтуривание производится при следующих значениях кондиций: бортовое содержание металла $\alpha_{\text{б}} = 3$ г/т; его минимальное среднее содержание по рудному пересечению $\alpha_{\text{min}} = 5$ г/т; минимальная мощность залежи $m_{\min} = 3$ м; максимальная мощность прослоев пустых пород или некондиционных руд $m_{\max} = 2$ м.

Т а б л и ц а 4.1. Исходные данные опробования для оконтуривания залежи по мощности

№ интервала	Интервал		Длина интервала, м	Содержание, металла, г/т
	от	до		
1	0	0,6	0,6	8,0
2	0,6	1,5	0,9	11,0
3	1,5	2,0	0,5	6,0
4	2,0	3,1	1,1	2,0
5	3,1	4,3	1,2	1,4
6	4,3	4,9	0,6	6,4
7	4,9	5,8	0,9	Следы
8	5,8	7,1	1,3	16,0
9	7,1	8,4	1,3	8,0
10	8,4	9,8	1,4	16,6

Шаг 1. Проверяем выполнение неравенства $\alpha_{j-} \geq \alpha_B$ для всех интервалов опробования и формируем множество кондиционных интервалов: $J_K = \{1-3,6,8-10\}$.

Шаг 2. Составляем множество $J_{HK} = \{4,5,7\}$. Внутренним непромышленным является 7-й интервал, т.е. $J' = 7$.

Шаг 3. Рассчитываем среднее содержание металла на участке пересечения, состоящем из 6-8-го интервалов:

$$\alpha'_7 = \frac{6,4 \cdot 0,6 + 0 \cdot 0,9 + 16 \cdot 1,3}{0,6 + 0,9 + 1,3} = 8,8 \text{ г/т.}$$

Шаг 4. Проверяем неравенство $\alpha'_7 \geq \alpha_B$. Так как оно выполняется, то 7-й интервал переводим из J_{HK} в J_K .

Окончательно $J_K = \{1-3, 6,7,8-10\}$, $J_{HK} = \{4,5\}$.

Сформируем рудные и безрудные прослои. В данном случае $\alpha_{1-} \geq \alpha_B$ поэтому первым присваиваются нечетные номера, а вторым - четные.

Шаг 5. Находим минимальный элемент заданного множества интервалов. Очевидно, $(j_1)_{\min} = 1$. Так как $(j_1)_{\min} \in J_K$, то с 1-го интервала начинаем формирование первого рудного прослоя и проверяем принадлежность множеству J_K следующих за ним интервалов. Устанавливаем, что 4-й интервал ($q = 3$) не является кондиционным. Следовательно, множество $J_1 = \{1-3\}$.

Повторяя эту процедуру для оставшихся интервалов пересечения, получим $J_2 = \{4,5\}$; $J_3 = \{6,7-10\}$. Первый и третий прослои являются рудными, а второй безрудным.

Шаг 6. Рассчитаем по формулам (4.3) и (4.4) мощность этих прослоев и среднее содержание металла по ним

$$\bar{m}_1 = 2 \text{ м}; \quad \bar{m}_2 = 2,3 \text{ м}; \quad \bar{m}_3 = 5,5 \text{ м}; \quad \alpha_1 = 8,9 \text{ г/т}; \quad \alpha_2 = 1,7 \text{ г/т}; \quad \alpha_3 = 10,6 \text{ г/т}.$$

Шаг 7. Определим границы выделенных прослоев с помощью равенства (4.5):

$$L_1^- = 0; \quad L_i^+ = 2,0; \quad L_2^- = 2,0; \quad L_2^+ = 4,3; \quad L_3^- = 4,3; \quad L_3^+ = 9,8.$$

Так как в табл.4.1 приведены истинные значения длин интервалов, шаг 8 алгоритма не выполняется.

Шаг 9. Проверим кондиционность рудных прослоев по минимальному среднему содержанию металла $\alpha_{min}^* = 5 \text{ г/т}$ и их минимальной мощности $m_{min} = 3 \text{ м}$.

Для 1-го прослоя имеет место ситуация 4), так как его мощность $\bar{m}_1 = 2 \text{ м}$ меньше минимально необходимой. Поэтому для него следует выполнить шаг 12.

Третий прослой удовлетворяет условиям 1) и является, кондиционным.

Шаг 10. Не выполняется, поскольку в рассматриваемом примере нет прослоев, удовлетворяющих неравенствам 3).

Шаг 11. 2-й прослой является внутренним безрудным и остается без изменения, так как $\bar{m}_2 = 2,3 > m_{max} = 2 \text{ м}$.

Шаг 12. К маломощному рудному прослою примыкает безрудный. Следовательно, при увеличении мощности первого для второго нужно контролировать выполнение неравенства $\bar{m}_2 > m_{max} = 2 \text{ м}$. В данном случае оно нарушается, что делает необходимым объединение всех трех прослоев в один.

Рассчитаем его мощность и среднее содержание металла: $\bar{m} = 9,8 \text{ м}$; $\alpha = 8,1 \text{ г/т}$. Эти параметры удовлетворяют требованиям кондиций по качеству запасов и мощности залежи, что дает основание считать выделенный прослой кондиционным.

Принятая в данном алгоритме схема оконтуривания и оценки запасов по мощности залежи может использоваться и при определении выемочных границ по ее простиранию. Для этого достаточно провести аналогию между длиной интервала

опробования или мощностью прослоя и длиной участка залежи по простиранию. Такая же аналогия просматривается между условиями, применяемыми при решении этих задач: бортовое содержание металлов в краевых пробах - его минимальное содержание по разведочному пересечению; максимальная мощность прослоя пустых пород, включаемых в подсчет запасов, - максимальная длина безрудного участка, включаемого в выемочный контур, и т.д.

§ 3. Многовариантное оконтуривание рудных тел

Кондиции - это непрерывные величины, которые можно менять в широких пределах, анализируя их влияние на основные характеристики запасов. Однако из-за значительной трудоемкости метода вариантов в ручном его исполнении на практике рассматривается не более 3-4-х значений только одного из параметров кондиций, а остальные принимаются жестко заданными. Кроме того, запасы разных объектов (блоков, участков) оконтуриваются по одинаковым кондициям, что не всегда оправдано как технологически, так и экономически.

Для повышения обоснованности выемочных контуров следует назначать большое число вариантов кондиций и предусмотреть возможность изменения каждого управляемого параметра в целях выбора его оптимального значения на любом из оцениваемых объектов. В этом случае станет реальным учет различных проявлений природной изменчивости геологических характеристик запасов и использование этих особенностей для улучшения экономических показателей производства.

В широком аспекте под вариантом кондиций понимается определенная комбинация значений управляемых величин, с помощью которых оконтуриваются и оцениваются запасы полезных ископаемых, причем эти значения должны дифференцироваться по объектам оценки в соответствии с индивидуальными особенностями их залегания и разработки, а также с требованиями, которые предъявляются к основным характеристикам запасов выемочного контура.

Ясно, что реализовать идею многовариантного оконтуривания рудных

залежей можно только с помощью ЭВМ. Тогда построение аналитических зависимостей, отражающих влияние кондиций на натуральные и стоимостные показатели производства, не составит особого труда. Наличие такой информации служит реальной предпосылкой для решения практических задач оптимизации выемочных контуров рудных залежей.

Пусть требуется оконтурить запасы по разведочному пересечению при нескольких вариантах бортового содержания металла. Обозначим их через α_{Bk} , $k = \overline{1, K}$ и условимся, что $\alpha_{B1} > \alpha_{B2} > \dots > \alpha_{BK}$.

Сначала оконтуривание проведем при $\alpha_B = \alpha_{B1}$ воспользовавшись алгоритмом, представленным ранее. Если на первом его шаге обнаружится, что ни один из интервалов опробования не удовлетворяет ограничению $\alpha_j \geq \alpha_{B1}$ значение "борта" следует понизить до α_{B2} , α_{B3} и т.д. Когда для некоторого k -го варианта указанное неравенство будет выполнено, производятся все дальнейшие действия алгоритма для k -го, $(k+1)$ -го и т.д. вариантов, вплоть до K -го включительно. Эта процедура выполняется для всех пересечений, представляющих рассматриваемый разрез, блок, залежь или месторождение в целом. Полученные результаты отображаются в табличном или аналитическом виде и используются в дальнейшем анализе.

Аналогично исследуется влияние других параметров кондиций на запасы. При их одновременном изменении составляются возможные комбинации их значений и алгоритм оконтуривания реализуется для каждой такой комбинации.

Другой подход к решению рассматриваемой задачи состоит в отказе от изложенной схемы многовариантного оконтуривания, предусматривающей применение кондиций как управляемых величин. В этом случае положение выемочного контура в пространстве (по мощности залежи) фиксируется путем определения множества непрерывно следующих друг за другом интервалов опробования по каждому разведочному пересечению. Меняя состав этого множества, можно смешать границу контура по висячему и (или) лежащему бокам залежи и анализировать влияние этих изменений на количественные и качественные характеристики запасов.

Преимущества такого подхода особенно ощутимы при корректировке существующих контуров рудных залежей, установленных по действующим на руднике кондициям. Их расширение возможно, когда к оконтуренным балансовым запасам примыкают забалансовые. Если последние залегают в висячем или лежащем боку залежи, производится односторонняя прирезка запасов путем поочередного подключения к выемочному контуру ближайших интервалов опробования, после чего рассчитываются характеристики оконтуриваемых запасов. Здесь в качестве управляемого параметра выступает мощность залежи и оценивается ее влияние на анализируемые показатели.

Такая же задача решается при проведении двухсторонней прирезки запасов, когда забалансовые руды залегают в висячем и лежащем боках залежи. В этом случае на каждом шаге процедуры расширения выемочного контура нужно из двух примыкающих к нему интервалов опробования вводить в него тот, который имеет большее содержание металла. При равном содержании в контур включаются оба интервала.

Если требуется сократить выемочный контур против заданного, из него поочередно исключается крайний интервал с меньшим содержанием металла.

В результате этих действий каждому значению мощности залежи по данному пересечению будут поставлены в соответствие вполне определенные значения содержания ценных компонентов и их линейных запасов, после чего можно легко вывести аналитические зависимости между этими величинами.

Обратимся теперь к задаче формирования всех возможных вариантов оконтуривания запасов по мощности залежи в пределах заданного разведочного пересечения.

Как и раньше, будем исходить из того, что пересечение представлено рядом следующих друг за другом интервалов опробования длиной $l_j = l_j^+ - l_j^-$, где $j = \overline{1, n}$ - индекс интервала; n - их количество; l_j^+ и l_j^- - соответственно координаты конца и начала j -го интервала, которые отсчитываются от точки $l_1^- = 0$.

Составим таблицу с одинаковым числом столбцов и строк, равным количеству интервалов опробования n . Нумерацию столбцов и строк примем в

соответствии с номерами этих интервалов.

Для удобства вычислений над каждым j -м столбцом запишем координату ℓ_j^+ верхней границы j -го интервала, а перед каждой j -ой строкой - координату ℓ_j^- нижней его границы.

Рассчитаем и внесем в клетки таблицы значения разности $m_{jk} = \ell_k^+ - \ell_j^-$ между верхней границей k -го и нижней границей j -го интервалов. Через k обозначен индекс интервала, номер которого больше или равен любому заданному числу в пределах от 1 до n .

В незаполненные клетки таблицы запишем нули.

В результате получаем треугольную матрицу. Каждый j -ый элемент ее главной диагонали отражает длину j -го интервала опробования, а элементы, расположенные над диагональю, - мощность залежи по данному разведочному пересечению, подсчитанную от начала j -го до конца k -го интервала опробования,

Построенная матрица содержит данные о значениях мощности по всем возможным вариантам оконтуривания рудного тела в пределах данного пересечения. Их число равно $N = \frac{n \cdot (n+1)}{2}$, каждый из которых представлен определенным набором смежных интервалов опробования.

Условимся обозначать их двойными индексами jk согласно номеров первого и последнего интервалов, включаемых в набор, а множество интервалов, вошедших в контур при jk -м варианте оконтуривания, - как N_{jk} . Очевидно, что

$$m_{jk} = \ell_k^+ - \ell_j^- = \sum_{j \in N_{jk}} \ell_j, \quad jk = \overline{1, N}, \quad (4.9)$$

т.е. мощность залежи при jk -ом варианте ее оконтуривания равна суммарной длине интервалов опробования, включаемых в контур.

Соответствующие значения среднего содержания полезных компонентов рассчитываются по формуле

$$\alpha_{jk}^s = \frac{\sum_{j \in N_{jk}} \alpha_{js} \cdot \ell_j}{\sum_{j \in N_{jk}} \ell_j}, \quad jk = \overline{1, N}, \quad s = \overline{0, S}, \quad (4.10)$$

где α_{jk}^s - среднее содержание s -го полезного компонента в контуре, установленном при jk -ом варианте оконтуривания; α_{js} - содержание s -го

полезного компонента в пределах j -го интервала опробования; ℓ_j - длина j -го интервала; N_{jk} - множество всех интервалов, включенных в контур при jk -м варианте оконтуривания; N - число вариантов оконтуривания залежи.

Индекс $s = 0$ соответствует содержанию условного металла.

Числитель этой формулы представляет собой суммарный линейный запас s -го ценного компонента (метрограмм или метропроцент), а знаменатель - мощность залежи при jk -ом варианте ее оконтуривания.

Если обозначить линейный запас через $(\alpha_{jk}^s)'$, то $\alpha_{jk}^s = \frac{(\alpha_{jk}^s)'}{m_{jk}}$.

Множества повариантных значений линейного запаса и среднего содержания металла, так же, как и множество значений мощности залежи, можно записать в виде треугольных матриц.

Удобной формой представления результатов расчетов является табл. 4.2, в которой указываются координаты границ залежи по висячему и лежащему бокам, ее мощность по пересечению и содержание полезных компонентов по всем возможным вариантам оконтуривания.

Т а б л и ц а 4.2. Результаты повариантного оконтуривания залежи по разведочному пересечению

№ п/п	№ варианта	Координаты границ залежи по		Мощность залежи по пересечению	Среднее содержание полезных компонентов				
		висячему боку	лежащему боку		1	2	...	S	усл.
	jk	ℓ_j^-	ℓ_k^+	m_{jk}	α_{jk}^1	α_{jk}^2		α_{jk}^s	α_{jk}^0

Эти данные используются при решении задач подсчета запасов, их оптимального оконтуривания и оценки.

Предлагаемый подход легко реализуется на ЭВМ. При этом выполняются следующие действия:

- 1) ввод исходных данных;
- 2) расчет значений мощности залежи по вариантам оконтуривания;

- 3) расчет среднего содержания полезных компонентов по этим вариантам;
- 4) составление таблицы результатов повариантного оконтуривания залежи и вывод ее на печать.

Для облегчения дальнейшего анализа целесообразно до распечатки таблицы отобрать те варианты, которые удовлетворяют определенным требованиям по мощности залежи или содержанию металла, предусмотреть выдачу повариантных значений линейных запасов нормальной, горизонтальной или вертикальной мощности рудного тела по пересечению и т.д.

Указанная схема может использоваться и при формировании множества вариантов переоконтуривания залежи, когда задан ее базовый выемочный контур.

Таким образом, при отказе от традиционного способа оконтуривания залежей по вариантам кондиций расчеты заметно упрощаются. Вместе с тем возможен отбор контуров, удовлетворяющих предъявляемым требованиям по мощности залежи и содержанию металлов. Единственный показатель кондиций, который здесь не учитывается - максимально допустимая мощность безрудного прослоя. Однако его изменения не всегда сказываются на характеристиках запасов выемочного контура. Если же между ними имеется жесткая связь, нужен дополнительный анализ получаемых результатов.

Рассмотрим практический пример решения задачи многовариантного оконтуривания залежи по разведочному пересечению, воспользовавшись исходными данными, приведенными в табл. 4.1.

Составим матрицу $\|m_{jk}\|$, содержащую значения мощности залежи по всем возможным вариантам ее оконтуривания в пределах рассматриваемого пересечения:

ℓ_j^-	ℓ_j^+	0,6	1,5	2,0	3,1	4,3	4,9	5,8	7,1	8,4	9,8
	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1	0,6	1,5	2,0	3,1	4,3	4,9	5,8	7,1	8,4	9,8
0,6	2		0,9	1,4	2,5	3,7	4,3	5,2	6,5	7,8	9,2
1,5	3			0,5	1,6	2,8	3,4	4,3	5,6	6,9	8,3
2,0	4				1,1	2,3	2,9	3,8	5,1	6,4	7,8

3,1	5					1,2	1,8	2,7	4,0	5,3	6,7
4,3	6						0,6	1,5	2,8	4,1	5,5
4,9	7							0,9	2,2	3,5	4,9
5,8	8								1,3	2,6	4,0
7,1	9									1,3	2,7
8,4	10										1,4

Для удобства расчета среднего содержания металла составим матрицу $\|\alpha'_{jk}\|$, элементами которой являются повариантные значения метрограмма:

α'_j	4,8	9,9	3,0	2,2	1,7	3,8	0	20,8	10,4	23,2
α_j	8,0	11,0	6,0	2,0	1,4	6,4	0	16,0	8,0	16,6
ℓ_j	0,6	0,9	0,5	1,1	1,2	0,6	0,9	1,3	1,3	1,4
j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4,8	14,7	17,7	19,9	21,8	25,4	25,4	46,2	56,6	79,8
2		9,9	12,9	15,1	16,8	20,6	20,6	41,4	51,8	75,0
3			3,0	5,2	6,9	10,7	10,7	31,5	41,9	65,1
4				2,2	3,9	7,7	7,7	28,5	38,9	62,1
5					1,7	5,5	5,5	26,3	36,7	59,9
6						3,8	3,8	24,6	35,0	58,2
7							0	20,8	31,2	54,4
8								20,8	31,2	54,4
9									10,4	33,6
10										23,2

В трех строках, расположенных над этой матрицей, записаны первичные данные о метрограмме α'_j , содержании металла α_j и длине интервалов опробования ℓ_j .

В первую строку матрицы $\|\alpha'_{jk}\|$ с номером $j = 1$ заносятся значения метрограмма, которые подсчитываются нарастающим итогом от первого до последнего интервалов, во вторую - элементы первой строки за вычетом метрограмма по первому интервалу ($\alpha'_1 = 4,8$), в третью - элементы второй строки

за вычетом метрограмма по второму интервалу ($\alpha'_2 = 9,9$) и т.д. При этом заполняются только те клетки матрицы, которые лежат на главной диагонали и выше нее, а в остальных проставляются нули.

После этого содержание металла при jk -ом варианте оконтуривания легко находится путем деления jk -го элемента матрицы $\|\alpha'_{jk}\|$ на соответствующий элемент матрицы $\|m_{jk}\|$. Из полученного множества значений содержания металла формируется матрица $\|\alpha_{jk}\|$:

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8,0	9,8	8,9	6,4	5,0	5,2	4,4	6,5	6,7	8,1
2		11,0	9,2	6,0	4,5	4,8	4,0	6,4	6,6	8,2
3			6,0	3,3	2,5	3,1	2,5	5,6	6,1	7,8
4				2,0	1,7	2,7	2,0	5,6	6,1	8,0
5					1,4	3,1	2,0	6,6	6,9	8,9
6						6,4	2,5	8,8	8,5	10,6
7							0	9,5	8,9	11,1
8								16,0	12,0	13,6
9									8,0	12,4
10										16,6

Результаты оконтуривания сводятся в таблицу:

№ п/п	№ варианта	Координаты границ залежи		Мощность залежи по пересечению, м	Среднее содержание металла, г/т
		висячему боку	лежащему боку		
1	(1,1)	0	0,6	0,6	8,0
2	(1,2)	0	1,5	1,5	9,8
3	(1,3)	0	2,0	2,0	8,9
4	(1,4)	0	3,1	3,1	6,4
5	(1,5)	0	4,3	4,3	5,0
...
54	(9,10)	7,1	9,8	2,7	12,4
55	(10,10)	8,4	9,8	1,4	16,6

Для сокращения числа вариантов, рассматриваемых в дальнейших расчетах, из этой таблицы отбираются те, которые удовлетворяют заданным ограничениям. Например, условию $m \geq 8$ м отвечают четыре варианта оконтуривания: (1,9); (1,10); (2,10); (3,10), а максимальным содержанием металла среди них характеризуется вариант (2,10): $\alpha = 8,2$ г/т.

Глава 5. ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ВЫЕМОЧНЫХ ЕДИНИЦ

§ 1. Поблочная оценка запасов полезных ископаемых в заданных контурах разработки

Одно из главных направлений совершенствования промышленной оценки запасов на действующих рудниках - максимальная детализация расчетов по определению экономической целесообразности извлечения полезных ископаемых из недр. Применение на рудниках разных способов и систем разработки, схем вскрытия и подготовки рудных залежей, их территориальная разобщенность, сложная морфология, резкие различия качественных и количественных характеристик запасов приводят к значительному разбросу технологических и экономических показателей производства на разных объектах - блоках, камерах, участках разрабатываемых месторождений.

Однако при оконтуривании и оценке запасов эти особенности, как правило, не принимаются во внимание. Постоянные геологические кондиции рассчитываются на основе средних, одинаковых для всего месторождения, показателей добычи и переработки руды, вследствие чего встречаются ошибки в определении реальной промышленной ценности полезных ископаемых.

Существенного повышения точности оконтуривания и оценки запасов в недрах можно достичь с помощью дифференцированных кондиций – предельных показателей качества полезного ископаемого, распространяющихся на

оцениваемые объекты со сходными горно-геологическими условиями и близкими технологическими и экономическими характеристиками /2/. Их применение требует предварительной группировки выемочных единиц по признаку их однородности в заранее обусловленном смысле, а при существенной дифференциации условий залегания и разработки запасов приходится рассчитывать индивидуальные значения кондиций для каждого оцениваемого объекта.

Условие кондиционности запасов выемочной единицы записывается в обычной форме с помощью натуральных показателей

$$\alpha \geq \alpha_{min} , \quad (5.1)$$

где α - содержание металла (для комплексных руд - условного металла) в оцениваемых запасах; α_{min} - минимальное промышленное содержание металла.

Другой возможный подход к оценке запасов основан на непосредственном сравнении затрат и результатов производства. При этом целесообразность вовлечения в отработку выемочной единицы устанавливается проверкой неравенства

$$Ц \geq С, \quad (5.2)$$

где $Ц$ – извлекаемая ценность полезных компонентов, содержащихся в 1 т добытой руды; $С$ - предстоящие затраты на разведку, добычу, транспортировку и переработку 1 т руды.

Докажем эквивалентность двух форм записи условия кондиционности запасов. Для этого обратимся к формуле для расчета содержания условного металла

$$\alpha = \alpha_1 \cdot k_1 + \alpha_2 \cdot k_2 + \dots + \alpha_S \cdot k_S, \quad (5.3)$$

где $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_S$ - содержание полезных компонентов в оцениваемых запасах; $k_1, k_2 \dots k_S$ - переводные коэффициенты для пересчета содержания полезных компонентов в содержание условного металла.

Если в качестве условного принят первый металл, то $k_1 = 1$, а остальные коэффициенты рассчитываются так:

$$k_2 = \frac{k_{k2} \cdot \varepsilon_2 \cdot \Pi_2}{k_{k1} \cdot \varepsilon_1 \cdot \Pi_1}, \dots, k_S = \frac{k_{kS} \cdot \varepsilon_S \cdot \Pi_S}{k_{k1} \cdot \varepsilon_1 \cdot \Pi_1}. \quad (5.4)$$

Величина промминимума определяется по формуле:

$$\alpha_{min} = \frac{C}{k_{k1} \cdot \varepsilon_1 \cdot \Pi_1}, \quad (5.5)$$

где C - предстоящие затраты, приходящиеся на 1 т добытой руды.

При обосновании постоянных геологических кондиций величины C , k_{kS} , ε_S , входящие в (5.4) и (5.5), принимаются одинаковыми для разных блоков, а при дифференцированной оценке запасов используются их индивидуальные значения, соответствующие конкретным условиям залегания и разработки полезного ископаемого.

С учетом (5.4) запишем (5.5) как

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot \frac{k_{k2} \cdot \varepsilon_2 \cdot \Pi_2}{k_{k1} \cdot \varepsilon_1 \cdot \Pi_1} + \dots + \alpha_S \cdot \frac{k_{kS} \cdot \varepsilon_S \cdot \Pi_S}{k_{k1} \cdot \varepsilon_1 \cdot \Pi_1}, \quad (5.6)$$

или после преобразования

$$\alpha \cdot k_{k1} \cdot \varepsilon_1 \cdot \Pi_1 = \alpha_1 \cdot k_{k1} \cdot \varepsilon_1 \cdot \Pi_1 + \alpha_2 \cdot k_{k2} \cdot \varepsilon_2 \cdot \Pi_2 + \dots + \alpha_S \cdot k_{kS} \cdot \varepsilon_S \cdot \Pi_S. \quad (5.7)$$

Правая часть этого равенства предоставляет собой извлекаемую ценность 1 т руды. Поэтому

$$\alpha \cdot k_{k1} \cdot \varepsilon_1 \cdot \Pi_1 = \Pi. \quad (5.8)$$

Отсюда

$$\alpha = \frac{\Pi}{k_{k1} \cdot \varepsilon_1 \cdot \Pi_1}. \quad (5.9)$$

На основании этой формулы можно сделать вывод, что содержание условного металла является натуральным эквивалентом извлекаемой ценности руды и, наоборот, извлекаемая ценность может рассматриваться как стоимостный эквивалент содержания условного металла.

Что касается промминимума α_{min} , то его эквивалентом будет та нижняя граница извлекаемой ценности руды, которая окупает предстоящие затраты на ее разведку, добычу, транспортировку и переработку.

Переписывая условие кондиционности (5.1) с учетом (5.5) и (5.9)

$$\frac{\Pi}{k_{k1} \cdot \varepsilon_1 \cdot \Pi_1} \geq \frac{C}{k_{k1} \cdot \varepsilon_1 \cdot \Pi_1}, \quad (5.10)$$

приходим к (5.2), что доказывает эквивалентность двух форм записи условия

кондиционности запасов.

Таким образом, любой блок запасов характеризуется двумя парами величин: $(Ц, С)$ и (α, α_{min}) , между которыми существует взаимно однозначное соответствие. Это обстоятельство позволяет предложить наглядную графическую интерпретацию процедуры оценки запасов. Она заключается в отображении указанных пар в виде точек в соответствующих пространствах координат и установленных прямых $Ц = С$ и $\alpha = \alpha_{min}$.

Условимся откладывать по оси абсцисс значения промминимума α_{min} , а на ее дополнительной шкале - предстоящие затраты $С$, приходящиеся на 1 т руды. Масштабы шкал выбираются с учетом соотношения (5.5), связывающего эти величины. Аналогичным образом по оси ординат будем откладывать численные значения содержания условного металла α , а на ее дополнительной шкале - извлекаемую ценность руды $Ц$, ориентируясь при этом на выражение (5.9).

Рассмотрим ситуацию, когда заданное множество блоков оценивается по единому промминимуму $\alpha_{min} = const$ (рис. 5.1).

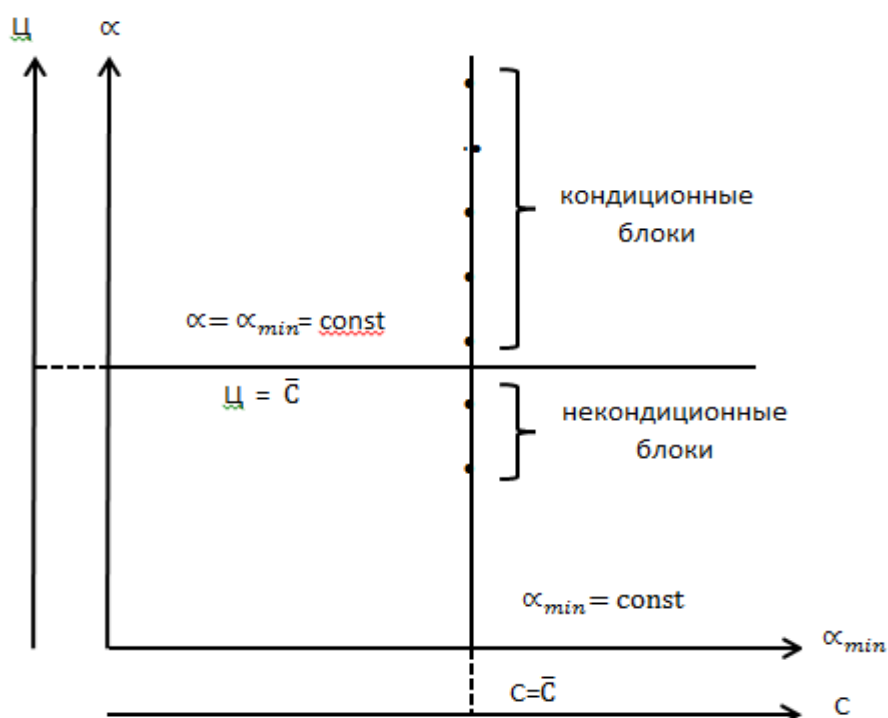


Рис. 5.1. Графическая интерпретация существующего способа оценки запасов по единому промминимуму

Отложим его значение на обеих осях координат и проведем прямые $\alpha = \alpha_{min} = \text{const}$ и $\alpha_{min} = \text{const}$, параллельные этим осям. Нанесем на плоскость точки (α, α_{min}) , соответствующие оцениваемым блокам. Постоянство промминимума означает, что блоки оцениваются в предположении об одинаковых значениях параметров, от которых он зависит, в том числе удельных затрат. Поэтому указанные точки разместятся строго на вертикальной прямой $\alpha = \alpha_{min}$ или по другому $C = \bar{C}$, где \bar{C} - величина удельных затрат, принятая при определении промминимума. Очевидно, что чем выше положение точки на этой прямой, тем более высоким значением извлекаемой ценности характеризуется блок, и наоборот. Граничное условие по минимально допустимому значению извлекаемой ценности, равному затратам \bar{C} , приходящимся на 1 т руды, представляется в виде прямой $\alpha = \alpha_{min} = \text{const}$ (или $C = \bar{C}$), которая проходит параллельно оси абсцисс. Точки, расположенные над этой прямой или непосредственно на ней, отображают блоки, для которых $C \geq \bar{C}$ (и $\alpha \geq \alpha_{min}$), а все остальные соответствуют некондиционным блокам с $C < \bar{C}$ (и $\alpha < \alpha_{min}$).

Следовательно, при оценке кондиционности блоков по единому промминимуму содержание условного металла - единственный отличающийся по блокам натуральный показатель, от которого зависит целесообразность их разработки или оставления в недрах. Точно так же извлекаемая ценность руды является единственным различающимся по блокам стоимостным показателем, определяющим кондиционность или некондиционность их запасов.

Поясним теперь суть дифференцированной оценки запасов. Чтобы выполнить такую оценку, необходимо для каждого блока определить не только извлекаемую ценность C , но и удельные затраты, приходящиеся на 1 т руды. Их значения фиксируются в системе координат (C, S) в виде точек, отображающих множество блоков (рис 5.2).

Точки располагаются уже не на одной прямой, как в предыдущем случае, а занимают некоторую область возможных значений: $C^- \leq C \leq C^+$; $S^- \leq S \leq S^+$. То же самое можно сказать и в отношении эквивалентных им величин α и α_{min} , поскольку при дифференцированной оценке не только содержание условного

металла, но и промминимум α_{min} отличаются друг от друга в блоках с разными условиями залегания и разработки.

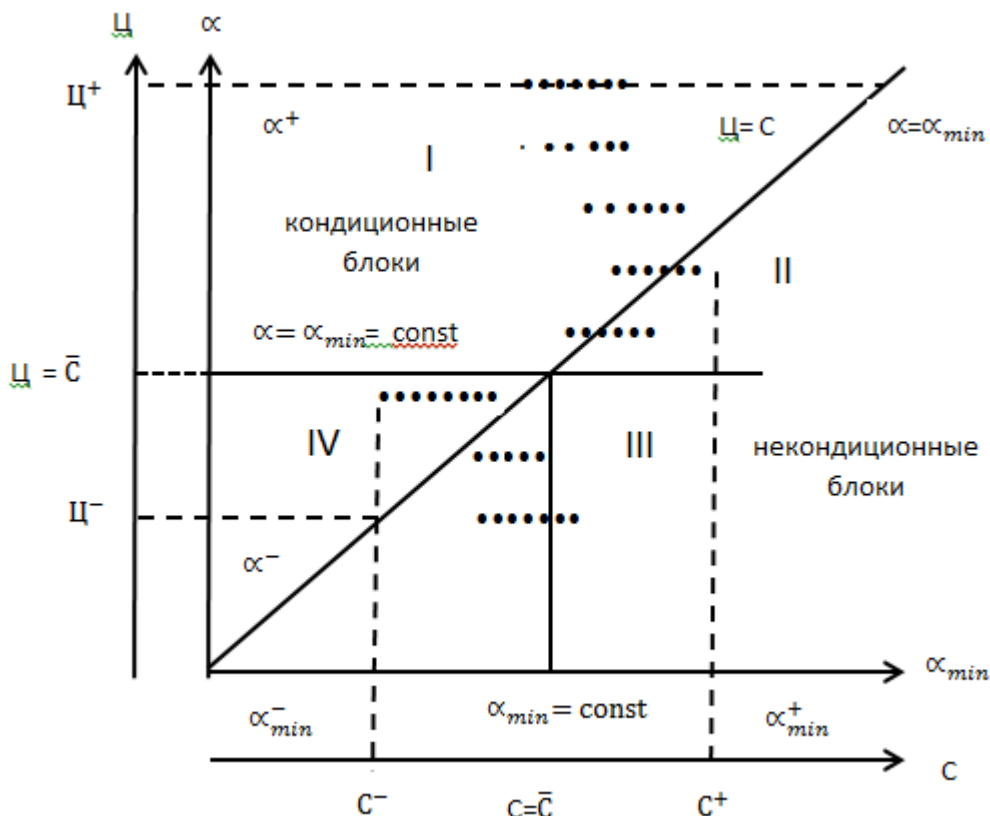


Рис. 5.2. Оценка запасов по дифференцированному промминимуму

Граничная прямая $\alpha = \alpha_{min}$ (или $\alpha = \alpha_{min}$), проходящая под углом 45° , разделяет множество точек на два подмножества. Точки, лежащие выше этой прямой или на ней, соответствуют кондиционным блокам, а ниже – некондиционным.

Таким образом, результаты градации блоков при их оценке по единому промминимуму определяются положением граничной прямой $\alpha = \bar{\alpha}$, а при дифференцированной оценке - прямой $\alpha = \alpha$. При их пересечении в пространстве координат (α, α) образуются четыре области:

I - область кондиционных блоков при их оценке обоими способами. Принадлежащие ей точки удовлетворяют неравенствам $\alpha \geq \bar{\alpha}$ и $\alpha \geq \alpha$;

II - область кондиционных запасов при их оценке по единому промминимуму и некондиционных - при их дифференцированной оценке. Описывается

неравенствами $\alpha \geq \bar{\alpha}$ и $\alpha < \bar{\alpha}$;

III - область некондиционных запасов при их оценке обоими способами. Принадлежащие ей точки удовлетворяют ограничениям $\alpha < \bar{\alpha}$ и $\alpha < \bar{\alpha}$;

IV - область кондиционных запасов при дифференцированной оценке и некондиционных - при оценке по единому промминимуму. Описывается неравенствами $\alpha < \bar{\alpha}$ и $\alpha \geq \bar{\alpha}$.

С помощью натуральных показателей эти области записываются так:

I - $\alpha \geq \alpha_{min} = \text{const}$, $\alpha \geq \alpha_{min}$;

II - $\alpha \geq \alpha_{min} = \text{const}$, $\alpha < \alpha_{min}$;

III - $\alpha < \alpha_{min} = \text{const}$, $\alpha < \alpha_{min}$;

IV - $\alpha < \alpha_{min} = \text{const}$, $\alpha \geq \alpha_{min}$;

Как видим, результаты оценки запасов обоими способами совпадают только в I-ой и III-ей областях, а во II-ой и IV-ой они диаметрально противоположны, т.е. блоки, которые при одном способе признаются кондиционными, не являются таковыми при другом, и наоборот.

Этот вывод подтверждается практическими данными, полученными при оценке запасов золоторудного месторождения.

Несмотря на большие различия условий залегания, линейных размеров и морфологии жил, на этом объекте действует единый промминимум, что равносильно предположению об одинаковом уровне удельных затрат, приходящихся на 1 т руды, добываемой из разных блоков. В действительности же имеет место их значительный разброс. При подземном способе добычи только за счет влияния коэффициента подготовки себестоимость добычи может меняться от 10 до 70 руб/т. На открытых горных работах большое значение имеют тип применяемого оборудования, коэффициенты вскрыши, проектная глубина карьеров и другие. Поэтому в данных условиях необходимо проводить не обобщенную, а индивидуальную оценку каждого блока в отдельности.

Расчеты показали, что только 70% охваченных анализом балансовых блоков можно признать кондиционными после их дифференцированной оценки. В то же время около 9% забалансовых запасов можно вовлечь в отработку, так как это будет

экономически оправдано. В результате уточнения промышленного контура месторождения общая прибыль от его эксплуатации увеличивается на 26,5%, а удельная - на 66%. Затраты на 1 руб. товарной продукции снижаются на 11,7 коп., а среднегодовой экономический эффект составляет 280 тыс. руб.

Казалось бы, все говорит в пользу дифференцированной, поблочной оценки запасов полезных ископаемых, при проведении которой учитывается большее количество факторов, влияющих на экономичность производства. Однако наряду с ее преимуществами имеются и недостатки.

На практике, хотя и редко, но могут встретиться случаи, когда разработка некоторых блоков с высоким содержанием металла экономически нецелесообразна вследствие весьма сложных условий их залегания, небольших запасов, значительных объемов вскрытия и пр. Ясно, что их отбраковка при дифференцированной оценке приводит к снижению среднего содержания металла в суммарных запасах блоков, получивших положительную оценку, по сравнению с его значением, установленным при оценке блоков по единому промминимуму. С другой стороны, если в промышленный контур будут введены блоки с рудой сравнительно низкого качества, которые были забракованы при применении единого промминимума, но оказались кондиционными при их дифференцированной оценке, то среднее содержание металла в запасах промышленного контура тоже понизится.

Что касается общего количества запасов руды и металла, предназначенных к разработке, то оно будет увеличиваться или уменьшаться в зависимости от геологических характеристик запасов блоков, которые включаются или исключаются из промышленного контура. В то же время значения общей и удельной прибыли, получаемой при эксплуатации запасов этого контура, будут всегда выше, чем при усредненной оценке.

Предположим теперь, что большой геологический блок запасов оценивается по некоторому промминимуму и признается кондиционным. Затем в процессе детальной разведки уточняются внутренняя структура и характеристики его запасов, а после проведения разведочных и подготовительных выработок он

представляется в виде нескольких более мелких эксплуатационных блоков. Их кондиционность можно было бы определить с помощью того же промминимума, который применялся при первоначальной оценке крупного геологического блока. Но это будет методически неверно, так как мы имеем дело с объектами разного масштаба и разными характеристиками их запасов. В первом случае это общие, а во втором – индивидуальные геологические, технологические и экономические показатели производства. Целесообразность разработки каждого эксплуатационного блока можно оценить, применяя дифференцированный промминимум. Но тогда некоторые из них могут быть признаны убыточными, а их исключение из выемочного контура приведет к уменьшению суммарных запасов блоков, предназначенных к разработке. Такой результат, как и снижение качества полезного ископаемого, нежелателен, поэтому приходится поступаться соображениями экономии производственных затрат и разрабатывать убыточные участки залежей.

Итак, отступление от принципа окупаемости предстоящих затрат может быть оправдано как с позиций расширения сырьевой базы предприятий и отрасли, так и сохранения качества руды и достигнутых объемов производства металла, но оно должно быть осознано и экономически обосновано. Именно в таких случаях применение нормативов предельных (замыкающих) затрат позволит избежать отмеченных недостатков дифференцированного способа оценки запасов полезных ископаемых.

Немаловажное значение имеет вопрос об отношении к предстоящим и прошлым, уже произведенным, затратам на промышленное освоение минеральных ресурсов. Если при поблочной оценке запасов руководствоваться принципом окупаемости только предстоящих затрат и не принимать во внимание прошлые затраты, можно признать экономически целесообразной добычу убыточных в целом запасов. Основанием для этого служит стремление снизить прямые убытки, которые понесет предприятие в случае отказа от эксплуатации таких блоков. Размер этих убытков равен прошлым затратам, вложенным в их промышленное освоение. Поэтому, если оценка запасов по предстоящим затратам положительна, т.е., когда

$(Ц - С) > 0$, то после их разработки убытки снизятся на величину $(Ц - С) \cdot Q$, где Q - извлекаемые из недр запасы руды, или даже полностью прекроются получаемой прибылью.

При нулевой оценке, т.е. когда $(Ц - С) = 0$, убытки остаются на прежнем уровне, а при отрицательной: $(Ц - С) < 0$ увеличиваются на величину $(Ц - С) \cdot Q$.

Заметим, что если бы кондиционность запасов определялась с учетом полных издержек производства (прошлых и предстоящих), то в выемочный контур вошли бы только безубыточные и прибыльные в целом участки залежей, т.е. при таком подходе неизбежно сокращение сырьевых ресурсов предприятия. Кроме того, прошлые затраты, произведенные для промышленного освоения отбракованных блоков, составили бы тогда прямые убытки и эффективность эксплуатации месторождения снизилась.

Таким образом, принцип окупаемости предстоящих затрат не гарантирует от включения в разработку убыточных в целом запасов, тем не менее их добыча выгодна с позиций частичной окупаемости прошлых затрат, продления срока службы предприятия, возможности получения дополнительной продукции. Поэтому высказываемые некоторыми авторами сомнения в правомерности использования данного принципа при поблочной оценке запасов представляются необоснованными.

При решении рассматриваемой задачи следует учитывать существующую градацию разведанных запасов на балансовые и забалансовые. Для тех и других должны сравниваться две альтернативы - их вовлечение в эксплуатацию или оставление в недрах. Когда из выемочного контура исключается балансовый блок запасов, это ведет к определенному удорожанию добычи руды в оставшихся блоках, так как общие затраты на проведение горно-капитальных и горно-подготовительных выработок, строительство зданий и сооружений распределяются на меньший объем запасов. И наоборот, расширение сырьевой базы предприятия вследствие перевода части забалансовых запасов в балансовые сопровождается удешевлением добычи руды как в целом по месторождению, так и по его блокам, входящим в выемочный контур. Это является еще одним

свидетельством того, что при оценке запасов должны учитываться имеющиеся связи между элементами рассматриваемой системы.

Запасы (балансовые и забалансовые) необходимо оценивать в течение всего срока существования предприятия. Поэтому по каждому блоку требуется постоянно контролировать как прошлые, так и предстоящие затраты, извлекаемую ценность руды, фактически полученную и ожидаемую прибыль.

Следует также учитывать возможность реализации разных технических и технологических решений, направленных на снижение издержек производства, потерь и разубоживания руды, роста производительности труда, расширение круга извлекаемых компонентов, повышение извлечения металлов при обогащении и др. Определив соответствующие технико-экономические показатели, можно оценить кондиционность каждого блока и выбрать для него оптимальный (согласно принятому критерию) вариант решения.

Будем, как и прежде, ориентироваться на принцип окупаемости предстоящих затрат. Заданное множество решений (например, ряд конкурирующих систем разработки блока) отобразим в пространстве координат (α , C) или в (α, α_{min}) в виде точек. Если все они расположатся над (под) граничной прямой $\alpha = C$ ($\alpha = \alpha_{min}$), то принятие любого решения из намеченных не влияет на кондиционность (некондиционность) блока, несмотря на то, что уровень промминимума для них может быть различным.

В этой ситуации вопрос о совместной оптимизации кондиций, систем разработки (или других управляемых параметров) не возникает. Однако, если точки указанного множества располагаются по разные стороны от граничной прямой, экономическая целесообразность разработки блока зависит от того, какое именно техническое решение будет реализовано. Одни из них недостаточно эффективны для перевода блока в разряд кондиционных, другие, наоборот, обеспечивают такую возможность, но характеризуются разными технико-экономическими показателями. Из них для реализации следует выбрать вариант, который удовлетворяет принятому критерию оптимальности, например, максимуму прибыли, получаемой с 1 т погашаемых запасов. Этот показатель

широко применяется при обосновании систем разработки в жестко заданных выемочных контурах, соответствующих действующим кондициям. Здесь же величина промминимума должна определяться непосредственно в процессе решения задачи. В /51,55/ предлагается считать оптимальным тот вариант решения, при котором промминимум принимает наименьшее значение. Этот подход оправдан с позиций расширения сырьевых ресурсов предприятия и его можно использовать на практике для перевода некондиционных блоков в кондиционные. Однако, если такой перевод возможен для нескольких вариантов технического решения, то при выборе любого из них соблюдается требование окупаемости предстоящих затрат и поэтому нет необходимости следовать указанной рекомендации.

После выделения кондиционных блоков производится обычная оптимизация вариантов их разработки для принятия наиболее эффективных решений. В предложенной графической интерпретации процедуры оценки запасов максимальная прибыль достигается в точке, лежащей выше граничной прямой и удаленной от нее на максимальное расстояние. Соответствующие техническое или технологическое решение и значение промминимума оптимальны и могут использоваться при определении кондиционности и параметров разработки блоков, близких по своим характеристикам к рассмотренному.

§ 2. Оконтурившие и оценка запасов выемочных единиц при управляемых контурах разработки

При отсутствии четких геологических контактов полезного ископаемого с вмещающими породами контуры разработки рудных залежей можно менять в определенных пределах с помощью управляемых параметров (бортового содержания металла, мощности залежи и др.). Их влияние на основные характеристики запасов отображается в графическом или аналитическом виде, но чаще всего используется дискретная форма представления исходных данных. Кроме того, эти характеристики зависят от принимаемых технических и

технологических решений. Поэтому при оптимизации выемочных контуров необходимо рассматривать их различные комбинации с вариантами оконтуривания и выбирать из них наилучшую.

Поскольку каждой такой комбинации соответствуют вполне определенные параметры кондиций, например, бортовое и минимальное промышленное содержание металла, в результате решения рассматриваемой задачи устанавливаются их оптимальные значения, при которых достигается экстремум выбранного функционала. Возможны следующие постановки этой задачи:

-максимизировать сумму прибыли, получаемую при эксплуатации оцениваемого объекта ($\Pi \rightarrow \max$);

-минимизировать себестоимость производства металла ($C_m \rightarrow \min$);

-максимизировать запасы основного компонента в выемочном контуре ($M \rightarrow \max$) при заданном уровне рентабельности производства r и т.д.

Отдать предпочтение какой-либо из них трудно, так как на практике приходится сталкиваться с различными ситуациями и требованиями, предъявляемыми к характеристикам запасов выемочного контура. При удовлетворительном состоянии сырьевой базы предприятия можно использовать первую или вторую постановку в целях улучшения экономических результатов производства, реализация третьей обеспечивает прирост ресурсов дефицитного сырья. В любом случае нужно стремиться улучшить хотя бы один из показателей, не ухудшая значения других, что особенно важно при переоконтуривании балансовых запасов на действующих рудниках.

Вопрос оптимизации выемочных контуров рудных залежей решался бы довольно просто, если бы были известны замыкающие затраты на выпускаемую продукцию. Тогда кондиции и соответствующие им контуры повсеместно обосновывались бы на их основе и оптимальным признавался тот вариант оконтуривания, при котором себестоимость производства металла на базе граничных запасов равнялась замыкающим затратам.

Однако до того как будут определены и узаконены эти нормативы, оптимизировать границы разработки рудных залежей можно с разных позиций.

Когда по какому-либо директивному показателю имеет место или прогнозируется срыв выполнения плана, то его целесообразно ввести в целевую функцию решаемой задачи. Это позволит производить оперативное переоконтуривание запасов блоков таким образом, чтобы границы их разработки в наибольшей степени соответствовали складывающейся ситуации с выполнением плана.

В результате выемочные контуры рудных залежей станут управляемыми в пространстве и во времени. Своевременный учет при оконтуривании запасов передовых достижений техники и технологии добычи и переработки руды, принятие оптимальных вариантов решений значительно улучшат показатели работы предприятий и повысят полноту извлечения полезных ископаемых из недр.

В наиболее общем формализованном виде рассматриваемая задача записывается следующим, образом:

$$F(X_{ij}) \rightarrow \text{extr} \quad (5.11)$$

при ограничениях

$$F_k(X_{ij}) \leq f_k, k = \overline{1, K}; \quad (5.12)$$

$$\sum_{i=1}^{m_j} X_{ij} = 1, j = \overline{1, n}; \quad (5.13)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, i = \overline{1, m_j}; \quad (5.14)$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & i = \overline{1, m_j}, j = \overline{1, n}, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (5.15)$$

где $F(X_{ij})$ - целевая функция; $F_k(X_{ij})$ - контролируемые показатели разработки оконтуриваемых запасов; f_k - заданные их значения; k - индекс показателя; X_{ij} - искомая переменная, которая равна 1, если принимается ij -ый вариант разработки выемочной единицы, и 0, если он отвергается; i - индекс варианта технического (технологического) решения; j - индекс варианта оконтуривания.

В ограничениях модели (5.11) - (5.15) должны учитываться требования к основным характеристикам запасов выемочного контура. Состав множества допустимых решений задачи может меняться при переходе от одного варианта оконтуривания к другому. Это объясняется тем, что не всякая технология добычи применима в тех или иных условиях разработки. Из допустимых решений для оптимизации отбираются только такие, при реализации которых блок является

кондиционным согласно принципу окупаемости предстоящих затрат. Данное требование учитывается в модели с помощью неравенства

$$(C_{ij} - C_{ij}) \cdot X_{ij} \geq 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, \quad (5.16)$$

где C_{ij} и C_{ij} - соответственно извлекаемая ценность и предстоящие затраты, приходящиеся на 1 т руды по ij -му варианту разработки блока.

Решения, удовлетворявшие этому ограничению, отображаются в пространстве координат (C, C) в виде точек, лежащих над граничной прямой $C=C$ или непосредственно на ней.

Чтобы не допустить включения в выемочный контур чрезмерно бедных запасов, нужно контролировать также себестоимость производства металла на базе граничных запасов. Для этого в модель вводится ограничение

$$\frac{Z_{i,j+1} \cdot X_{ij+1} - Z_{ij} \cdot X_{ij}}{M_{i,j+1} \cdot X_{ij+1} - M_{ij} \cdot X_{ij}} \leq \bar{C}_m, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n-1}, \quad (5.17)$$

где $Z_{i,j+1}$ и Z_{ij} - предстоящие затраты на эксплуатацию запасов выемочной единицы по смежным вариантам оконтуривания; $M_{i,j+1}$ и M_{ij} - количество извлекаемого в товарную продукцию металла по этим вариантам; \bar{C}_m - предельно допустимая себестоимость производства металла.

Если следовать принципу безубыточности эксплуатации граничных запасов, то в качестве верхнего предела себестоимости металла принимается оптовая цена. С учетом этого ограничение (5.17) можно представить в эквивалентном виде

$$P_{i,j+1} \cdot X_{ij+1} - P_{ij} \cdot X_{ij} \geq 0, \quad (5.18)$$

где $P_{i,j+1}$ и P_{ij} - ожидаемая прибыль от разработки блока по смежным вариантам оконтуривания.

Смысл полученного неравенства очевиден: расширение выемочного контура экономически оправдано до тех пор, пока не начнет уменьшаться величина ожидаемой прибыли, что произойдет только тогда, когда эксплуатация граничных запасов станет убыточной. Для сравнения напомним близкое по своей сути положение, сделанное ранее для непрерывной формы записи основных характеристик запасов: максимум прибыли достигается при соблюдении условия безубыточности эксплуатации граничных запасов.

При достаточно большом числе вариантов оконтуривания разность между значениями оптимизируемого показателя по смежным вариантам в области оптимума должна быть близка к нулю. Поэтому, когда требуется максимизировать прибыль

$$\sum_{j=1}^{m_j} \sum_{i=1}^n \Pi_{ij} \cdot X_{ij} \rightarrow \max, \quad (5.19)$$

достаточно заменить неравенство (5.18) на строгое равенство, из всех удовлетворяющих ему решений задачи отобрать такие, для которых выполняется условие (5.16), и среди них найти решение с наибольшим значением прибыли. Результат оптимизации будет тот же, если отбор допустимых решений производить с учетом ограничений (5.16), (5.17), заменив последнее на строгое равенство и приняв $\bar{C}_m = \Pi$.

Если число рассматриваемых вариантов невелико, можно реализовать схему их прямого перебора с целью определения наилучшего из них. Тогда оптимизация по прибыли сводится к следующему. Строится матрица значений этого показателя $\|\Pi_{ij}\|$. Ее строки соответствуют вариантам оконтуривания оцениваемых запасов, а столбцы - вариантам намечаемых технических или технологических решений. Для их допустимых комбинации проверяется выполнение условий (5.16), (5.17) (или 5.18), а также других ограничений, входящих в модель. Если они удовлетворяются, в соответствующие клетки матрицы вписываются значения прибыли Π_{ij} , которая будет получена при реализации ij -го варианта решения задачи, в остальные клетки заносятся нули. Затем в каждой строке матрицы выбирается максимальный элемент $\max \Pi_{ij}$ и среди них определяется наибольший: $\max \max \Pi_{ij}$. Те строка и столбец, в которых располагается найденный таким образом максимальный элемент матрицы, указывают на оптимальный вариант разработки.

Еще один подход к их оптимизации основан на том факте, что при фиксированных запасах максимумы общей и удельной прибыли достигаются при одинаковом техническом или технологическом решении. Поэтому рекомендуется сначала найти для каждого варианта оконтуривания оптимальное решение по

критерию "максимум прибыли с 1 т погашаемых запасов", как того требуют «Типовые методические указания...» /70/, а затем определить наилучшее положение выемочного контура, при котором достигается наибольшее значение общей прибыли. Здесь также необходимо соблюдать условия безубыточности эксплуатации оконтуриваемых запасов, запасов, расположенных на границе выемочного контура, и, кроме того, контролировать области эффективного применения отобранных по указанному критерию технических и технологических решений.

Наиболее экономичный вариант решения задачи находится при тех же ограничениях, но в качестве целевой функции используется показатель себестоимости производства металла

$$\sum_{j=1}^{m_j} \sum_{i=1}^n C_{ij}^M \cdot X_{ij} \rightarrow \min, \quad (5.20)$$

где C_{ij}^M - себестоимость металла при ij -ом варианте разработки выемочной единицы.

Использование в расчетах оптовых цен часто приводит к нежелательному сокращению предназначенных к разработке запасов. Чтобы не допустить этого, приходится отступать от принципа окупаемости предстоящих затрат, принимая значение предельной себестоимости металла выше оптовой цены. Ее необходимый уровень определяется исходя из конкретных обстоятельств, при которых решается задача. Строгое же ее обоснование возможно только с отраслевых позиций, что требует проведения специальных исследований.

Для дефицитных видов минерального сырья предпочтительнее оптимизировать выемочные контуры по величине запасов основного компонента, извлекаемых из недр

$$\sum_{j=1}^{m_j} \sum_{i=1}^n M_{ij}^0 \cdot X_{ij} \rightarrow \max, \quad (5.21)$$

или по количеству получаемого из них металла

$$\sum_{j=1}^{m_j} \sum_{i=1}^n M_{ij}^{\text{ТОВ}} \cdot X_{ij} \rightarrow \max, \quad (5.22)$$

при удовлетворительных экономических показателях. В этом случае тоже может возникнуть необходимость пойти на нарушение указанного принципа для

расширения сырьевых ресурсов предприятия. Однако открытым остается вопрос о допустимых пределах такого нарушения, правильно определить которые можно только с помощью замыкающих затрат.

В заключение следует заметить, что при дифференцированном подходе к оконтуриванию и оценке запасов выемочных единиц используется наиболее детальная информация о показателях их разработки, что способствует повышению точности обоснования промышленных контуров рудных залежей. Локальная оптимизация кондиций и соответствующих им выемочных контуров совместно с принимаемыми техническими и технологическими решениями могут производиться в рамках предложенной экономико-математической модели общего вида и ее различных модификаций.

Практическая реализация идеи управляемости выемочных контуров в пространстве и во времени позволит проводить оперативное переоконтуривание рудных залежей в соответствии с меняющимися условиями их разработки, применяемой техникой и технологией добычи и переработки руды, действующими ценами и т.д. В результате улучшатся основные показатели работы предприятия, полнота и эффективность извлечения полезных ископаемых из недр.

Принцип окупаемости предстоящих затрат - основополагающий при рассмотренном способе оценки запасов. Однако он не гарантирует от включения в эксплуатацию убыточных объектов, так как во внимание не принимаются произведенные в прошлом затраты на их промышленное освоение. Разработка таких объектов может быть оправдана в целях расширения сырьевых ресурсов предприятия и сокращения прямых убытков, которые могут допускаться в случае их оставления в недрах.

При дифференцированном способе оценки запасов среднее содержание металла в суммарных запасах кондиционных выемочных единиц может снизиться вследствие отбраковки высококачественных участков залежей, со сложными условиями разработки, из-за которых не соблюдается условие окупаемости предстоящих затрат и включения в контур разработки запасов сравнительно низкого качества, для которых это условие выполняется. Кроме того, существует

возможность сокращения сырьевой базы предприятия за счет перевода определенной части кондиционных в целом запасов в категорию убыточных.

При поблочном методе оценки запасов рассматривается только отдельный элемент системы и не принимаются во внимание его связи с остальными элементами и системой в целом. Поэтому в рамках этого метода нельзя решить вопрос о взаимной обусловленности выемочных контуров разных объектов, оптимизировать характеристики суммарных их запасов, увязав последние с основными показателями работы предприятия и отрасли.

Эти обстоятельства ограничивают область эффективного применения дифференцированного способа оконтуривания и оценки запасов. Тем не менее, было бы неправильно отказываться от этого способа, так как благодаря ему можно с максимальной детализацией проводить экономическую классификацию запасов месторождений, готовить необходимую информацию для решения рассматриваемых задач на более высоких иерархических уровнях, использовать его там, где отмеченные недостатки несущественны. После обоснования и утверждения замыкающих (предельных) затрат на выпускаемую в отрасли продукцию данный метод может найти широкое применение в массовых технико-экономических расчетах.

Очевидно, что основным правилом, которым нужно руководствоваться при пересмотре промышленных контуров рудных залежей, должно быть требование неуменьшения суммарных балансовых запасов руды и металлов, подсчитанных по воем оцениваемым выемочным единицам, а также среднего содержания металлов в них. Соблюдение этого правила особенно важно для дефицитных видов полезных ископаемых.

Поэтому можно рекомендовать после уточнения промышленных контуров с помощью рассматриваемого способа проверять соблюдение этого правила, применяя неравенства

$$\sum_{i=1}^n B_i \geq B_{\Sigma}; \quad (5.23)$$

$$\sum_{i=1}^n M_i^s \geq M_{\Sigma}^s; \quad (5.24)$$

$$\alpha_{\Sigma}^s \geq \bar{\alpha}_{\Sigma}^s \quad (5.25)$$

где B_i , M_i - соответственно запасы руды и s-го металла, признанные экономически целесообразными к разработке по i-ому блоку, $i = \overline{1, n}$, n - общее число оцениваемых блоков балансовых и забалансовых руд; B_Σ , M_Σ^s - суммарное количество балансовых запасов руды и s-го металла в оцениваемых блоках до корректировки промышленных контуров; $\bar{\alpha}_\Sigma^s$, α_Σ^s - среднее содержание s -го металла в балансовых запасах до и после корректировки.

Если указанные неравенства выполняются, результаты дифференцированной оценки запасов выемочных единиц с полным основанием могут быть признаны удовлетворительными. После их утверждения составляются и реализуются проекты и планы добычи.

При нарушении хотя бы одного из ограничений (5.23) - (5.25) делается вывод о том, что при использовании действующих цен или предельных (закрывающих) затрат, на основе которых проводилась оценка запасов, нельзя обеспечить требование неумножения суммарного количества балансовых запасов руды и металлов, а также неухудшения их качества. В связи с этим перед вышестоящими органами управления должен ставиться вопрос о пересмотре цен или нормативов предельных затрат на выпускаемую продукцию.

Глава 6. ИНТЕГРИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ВЫЕМОЧНЫХ ЕДИНИЦ

§ 1. Сущность и принципы интегрированной оценки запасов

При обосновании выемочных контуров рудных залежей следует учитывать, что каждая из них представлена обычно несколькими геологическими или эксплуатационными блоками. Изменение границ разработки в любом из них влияет как на индивидуальные характеристики их запасов, так и на суммарные их запасы. К тем и другим предъявляются вполне определенные требования, например по качеству, экономичности, от которых зависят полнота извлечения полезного ископаемого из недр, конечные результаты работы предприятия и отрасли в целом.

Кроме того, нужно иметь в виду, что производственная деятельность рудников обеспечивается работой не одной, а многих (иногда десятков) выемочных единиц. Следовательно, оконтуривать и оценивать их запасы нужно не изолировано, а в совокупности и во взаимосвязи друг с другом. При этом важно, чтобы показатели, по которым ведется оценка, были увязаны с плановыми показателями работы предприятия.

Итак, принципиальная разница между дифференцированным и интегрированным способами оценки запасов заключается в том, что в первом объектом анализа является отдельная выемочная единица, во втором - заданное их множество.

При локальной оптимизации кондиций и контуров разработки рудных залежей наиболее полно учитывается информация, относящаяся к оцениваемому объекту, однако не принимаются во внимание требования, предъявляемые к характеристикам суммарных запасов выемочных единиц. В результате появляется возможность принятия ошибочных решений, приводящих к неоправданному снижению полноты и экономичности разработки месторождений. Поэтому необходимо, сохранив детализацию анализа, присущую локальному подходу, оптимизировать выемочные контуры с более высоких, системных позиций.

Вопросы совместной оценки и оконтуривания запасов разных добычных объектов изучены недостаточно и требуют глубокого теоретического обоснования.

Обратимся к простейшему примеру интегрированной оценки запасов двух выемочных единиц, для которых определены функции получаемой прибыли в зависимости от извлекаемых запасов руды:

$$\Pi_{\Sigma}^1(Q_1) = 6,98 - 16,5 \cdot 10^{-3} \cdot Q_1 - \frac{426}{Q_1}, \text{ млн. руб.}, \quad (6.1)$$

$$\Pi_{\Sigma}^2(Q_2) = 9,56 - 10,52 \cdot 10^{-3} \cdot Q_2 - \frac{9,61}{1,553 + 5,263 \cdot 10^{-3} \cdot Q_2}, \text{ млн. руб.} \quad (6.2)$$

Локальная оптимизация контуров разработка этих объектов позволила установить, что максимальные значения прибыли $(\Pi_{\Sigma}^1)^0 = 1,674$ и $(\Pi_{\Sigma}^2)^0 = 3,900$ млн. руб. достигаются при добыче в них соответственно $Q_1^0 = 161$ и $Q_2^0 = 121$ тыс. т руды. В данном случае величины Q_1 и Q_2 связаны с бортовым

содержанием металла зависимостями:

$$Q_1(\alpha_{B1}) = 412,5 - 137,5 \cdot \alpha_{B1}, \text{ тыс. т,} \quad (6.3)$$

$$Q_2(\alpha_{B2}) = 655 - 190 \cdot \alpha_{B2}, \text{ тыс. т,} \quad (6.4)$$

с помощью которых нетрудно подсчитать, что для первой выемочной единицы оптимальным является значение "борта" $\alpha_{B1}^0 = 1,83\%$, для второй $\alpha_{B2}^0 = 2,81\%$.

Поставим теперь задачу - максимизировать суммарную прибыль, получаемую от разработки обоих объектов:

$$\Pi_{\Sigma}(Q_1, Q_2) = \Pi_{\Sigma}^1(Q_1) + \Pi_{\Sigma}^2(Q_2) \rightarrow \max. \quad (6.5)$$

Кроме ограничений на значения переменных Q_1 и Q_2 , которые могут меняться в пределах $103 \leq Q_1 \leq 378$ и $85 \leq Q_2 \leq 522$, никаких дополнительных условий накладывать пока не будем.

После дифференцирования функции $\Pi_{\Sigma}(Q_1, Q_2)$ и приравнивания к нулю частных производных получаем уравнения

$$\frac{426}{Q_1^2} = 16,5 \cdot 10^{-3}; \quad \frac{9,61 \cdot 5,263 \cdot 10^{-3}}{(1,553 + 5,263 \cdot 10^{-3} \cdot Q_2)^2} = 10,52 \cdot 10^{-3},$$

из которых находим оптимальное решение задачи: $Q_1 = 161$ тыс.т; $Q_2 = 121$, тыс.т.

Таким образом, результаты оптимизации обоими способами полностью совпадают. Отсюда следует вывод о том, что, если при оконтуривании запасов выемочных единиц требуется максимизировать общую прибыль без ограничений на другие показатели, правомерно использовать как тот, так и другой метод. При этом гарантируется строгое соблюдение принципов безубыточности эксплуатации граничных запасов и экономической эквивалентности кондиций, действующих на разных объектах.

Оптимальные контуры разработки их запасов устанавливаются не при одинаковых, а при разных значениях бортового содержания металла, которые учитывают индивидуальные особенности изменения основных параметров оруденения и зависящих от них показателей производства. Это хорошо видно на рис. 6.1, где приведены графики функций

$$\Pi_{\Sigma}^1(\alpha_{B1}) = 0,17 + 2,27 \cdot \alpha_{B1} - \frac{3,096}{3 - \alpha_{B1}}, \quad (6.6)$$

$$P_{\Sigma}^2(\alpha_{B2}) = 2,67 + 2,0 \cdot \alpha_{B2} - \frac{9,61}{5 - \alpha_{B2}}, \quad (6.7)$$

полученных из выражений (6.1) и (6.2) путем подстановки в них (6.3) и (6.4).

Если бы оптимизация суммарной прибыли проводилась при обычном синхронном изменении бортового содержания металла в разных выемочных единицах, то ее максимальная величина составила бы $P_{\Sigma}(\alpha_B^0) = 5,08$ млн. руб. и достигалась при $\alpha_B^0 = \alpha_{B1}^0 = \alpha_{B2}^0 = 2,0\%$.

Однако снижение "борта" относительно этого уровня в первой выемочной единице и увеличение во второй приводят к заметному росту общей прибыли. Сумма $P_{\Sigma}(\alpha_B^1, \alpha_B^2) = 5,57$ млн. руб. достигает максимума только тогда, когда максимальной оказывается прибыль в отдельных выемочных единицах: $P_{\Sigma}^1(\alpha_{B1}^0) = 1,67$ млн. руб. и $P_{\Sigma}^2(\alpha_{B2}^0) = 3,90$ млн. руб., т.е., когда соблюдается требование безубыточности эксплуатации граничных запасов.

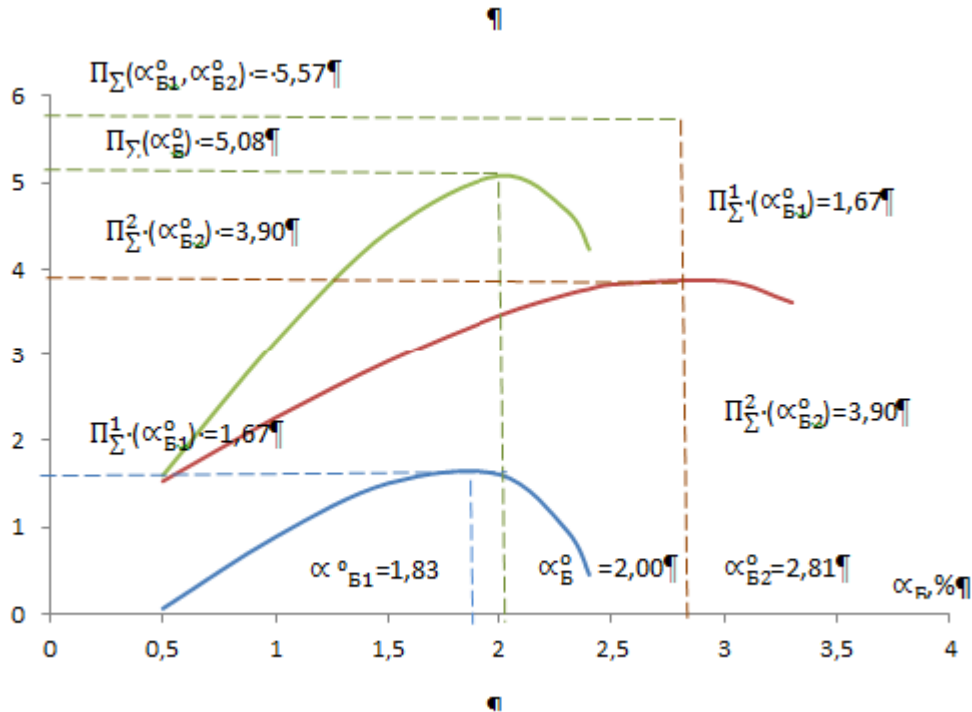


Рис.6.1. Влияние бортового содержания металла на получаемую прибыль

В этом случае разработка оцениваемых объектов в контурах, установленных с помощью оптимальных и дифференцированных по объектам значений бортового содержания $\alpha_{B1}^0 = 1,83\%$ и $\alpha_{B2}^0 = 2,81\%$ дает большую на $5,57 - 5,08 = 0,49$ млн. руб. (или на 9,6%) прибыль. Очевидно, что при любом другом варианте оконтуривания

такой уровень прибыли достигнут не будет.

Рассмотренный пример отражает ситуацию, при которой задачу глобальной оптимизации

$$P_{\Sigma}(\alpha_{B1}, \alpha_{B2}, \dots) \rightarrow \max \quad (6.8)$$

можно свести к решению частных задач

$$P_{\Sigma}^i(\alpha_{Bi}) \rightarrow \max, i = \overline{1, n}. \quad (6.9)$$

Основанием для этого служит, во-первых, аддитивность принятого критерия оптимальности, во-вторых, отсутствие каких-либо ограничений на другие характеристики запасов и показатели производства. Однако при таком подходе полнота извлечения полезного ископаемого из недр чаще всего оказывается неудовлетворительной. Приходится идти на разработку убыточных участков залежей, чтобы загрузить существующие мощности, продлить период работы рудника, добыть большее количество руды и содержащихся в ней металлов.

Учитывая эти обстоятельства, решим нашу задачу по тому же критерию оптимальности (6.8), но при ограничениях на суммарное количество добываемой руды

$$Q_1 + Q_2 \geq Q, \quad (6.10)$$

товарного металла

$$M_{\text{ТОВ}}^1 + M_{\text{ТОВ}}^2 \geq M_{\text{ТОВ}}, \quad (6.11)$$

и допустимые пределы изменения управляемых переменных Q_1 и Q_2 . Примем $Q = 400$ тыс. т и $M_{\text{ТОВ}} = 14$ тыс. т и учтем функции, связывающие количество товарного металла, получаемое при разработке выемочных единиц, с извлекаемыми запасами руды:

$$M_{\text{ТОВ}}^1(Q_1) = 8,03 - \frac{473}{Q_1}, \quad (6.12)$$

$$M_{\text{ТОВ}}^2(Q_1) = 11,86 - \frac{10,68}{1,553 + 5,263 \cdot 10^{-3} \cdot Q_2}. \quad (6.13)$$

Для наглядности проведем оптимизацию графическим путем в двухмерном пространстве переменных Q_1 и Q_2 . Как видно из рис. 6.2, в точке А с координатами (161, 121) достигается глобальный оптимум функции прибыли $P_{\Sigma}(Q_1, Q_2)$, а в точке В(196,304) - условный, удовлетворяющий заданным ограничениям по руде и

металлу. Именно здесь линия уровня прибыли касается области Ω и целевая функция $\Pi_{\Sigma}(Q_1, Q_2)$ достигает значения 4,837 млн. руб.

Чтобы получить такую прибыль, из первой выемочной единицы необходимо добыть $Q_1^0 = 195$ тыс. т, а из второй $Q_2^0 = 304$ тыс. т руды, причем запасы их должны быть оконтурены по дифференцированным значениям бортового содержания металла $\alpha_{B1}^0 = 1,57\%$, $\alpha_{B2}^0 = 1,85\%$, Тогда суммарное количество извлекаемых запасов руды составит $Q^0 = Q_1^0 + Q_2^0 = 196 + 304 = 500$ тыс. т,

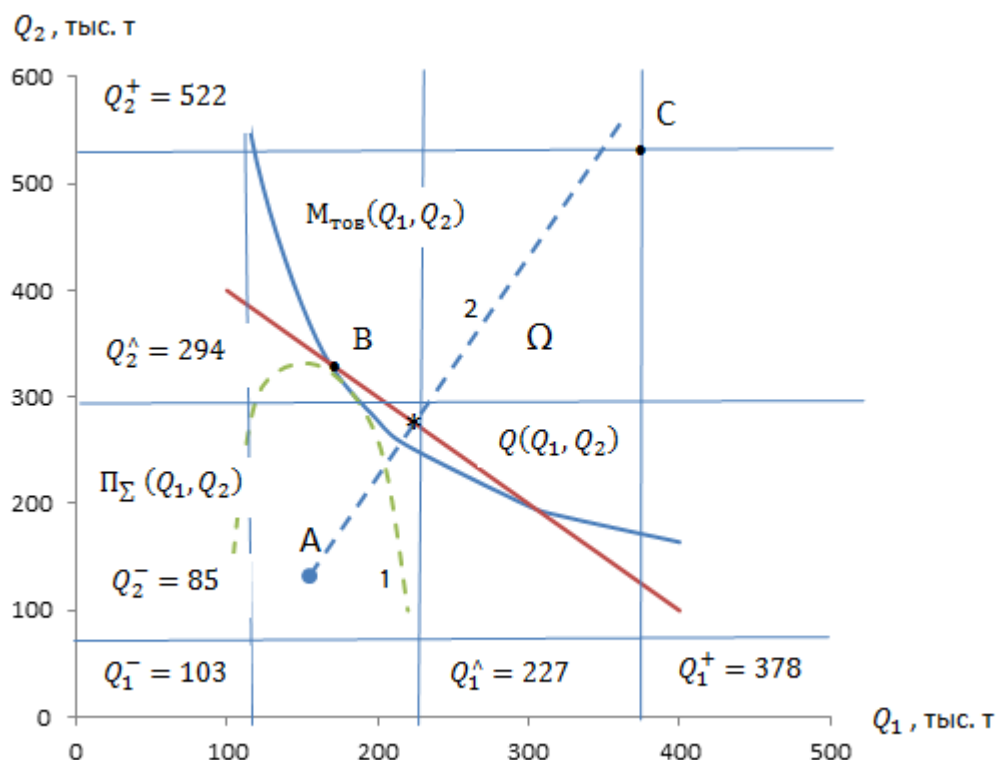


Рис. 6.2. Совместная оптимизация полноты извлечения запасов двух выемочных единиц.

1 - линия прибыли; 2 – линия равной себестоимости производства металла на базе граничных запасов

товарного металла $M_{\text{ТОВ}}^0 = M_{\text{ТОВ}}^1 + M_{\text{ТОВ}}^2 = 5,62 + 8,47 = 14,09$ тыс.т. Как видим, все условия поставленной задачи полностью выполняются.

Какие же результаты будут получены при максимально полном извлечении полезного ископаемого из недр, т.е. когда $Q_1^0 = 378$ тыс. т, а $Q_2^0 = 522$ тыс. т (точка С на рис. 6.2)? В этом случае $\alpha_{B1}^0 = 0,25\%$, $\alpha_{B2}^0 = 0,7\%$; $Q^0 =$

$378+522 = 900$ тыс. т; $M_{\text{ТОВ}}^0 = 6,78 + 9,38 = 16,16$ тыс. т; $P_{\Sigma}^0 = 0,384+1,833=1,449$ млн. руб.

Таким образом, рост количественных характеристик запасов сопровождается заметным снижением суммы прибыли. Более того, разработка первой выемочной единицы оказывается вообще убыточной, и если бы мы применили способ дифференцированной оценки, ее следовало бы отнести в разряд некондиционных.

Однако прибыль, получаемая при разработке второго добычного объекта, полностью перекрывает этот убыток, вследствие чего совместная эксплуатация оцениваемых запасов может быть признана экономически оправданной. Этот пример наглядно показывает одно из основных преимуществ метода интегрированной оценки ресурсов минерального сырья, а именно - возможность расширения выемочных контуров и сокращения потерь запасов на худших участках залежей за счет высокой эффективности разработки лучших при удовлетворительных технико-экономических показателях их совместной разработки.

Такое расширение, естественно, должно проводиться в разумных пределах, чтобы не допустить вовлечения в добычу чрезмерно бедных, убогих руд. В этих целях необходимо контролировать себестоимость производства металла на базе граничных запасов в каждой из оцениваемых выемочных единиц. При заданном предельном ее значении существует единственный вариант оконтуривания, при котором соблюдается условие экономической эквивалентности кондиций, действующих на разных объектах. Но до тех пор, пока не узаконены замыкающие затраты, будет иметься определенная свобода выбора этой величины. В каждом конкретном случае нужно исходить из условий решения задачи и стремиться наилучшим образом учесть требования, предъявляемые к характеристикам не только суммарных, но и граничных запасов.

В нашем примере себестоимость производства металла на границе выемочного контура первой добычной единицы описывается функцией

$$C_M^{ГР}(Q_1) = 34,884 \cdot 10^{-3} \cdot Q_1^2, \text{ руб /т,} \quad (6.14)$$

второй -

$$C_M^{ГР}(Q_2) = 5,184 \cdot 10^{-3} \cdot Q_2^2 + 3,059 \cdot Q_2, \text{ руб /т.} \quad (6.15)$$

Линия равной себестоимости производства металла на базе граничных запасов, соответствующая уравнению

$$C_M^{ГР}(Q_1) = C_M^{ГР}(Q_2), \quad (6.16)$$

проходит через точку А, но заметно отклоняется от точек В и С. Следовательно, в первом случае условие (6.16) строго соблюдается, а в двух других нарушается. Это объясняется тем, что для оптимального решения задачи безусловной максимизации суммарной прибыли равенство $C_M^{ГР}(Q_1) = C_M^{ГР}(Q_2) = Ц$, где Ц - оптовая цена на металл, обязательно выполняется. При изменении постановки задачи, когда учитываются разного рода ограничения или применяются другие критерии оптимальности, необходимо специально вводить требования к экономичности эксплуатации граничных запасов.

Пусть, например, предельная себестоимость производства металла \bar{C}_M в два раза выше оптовой цены ($\bar{C}_M = 2 \cdot Ц$). Тогда верхние пределы возможного изменения, управляемых, переменных Q_1 и Q_2 уменьшатся соответственно до $Q_1 = 227$ тыс. т и $Q_2 = 294$ тыс. т, т.е. область допустимых решений задачи резко сузится.

Более того, при строгом соблюдении равенства (6.16) оно вырождается в точку. Поэтому для обеспечения некоторой свободы выбора оптимального решения целесообразно вместо равенства (6.16) ввести в условия задачи неравенства

$$C_M^{ГР}(Q_1) \leq \bar{C}_M \text{ и } C_M^{ГР}(Q_2) \leq \bar{C}_M, \quad (6.17)$$

гарантирующие оставление за контуром разработку чрезмерно бедных запасов. Тем самым допускается определенное отступление от принципа экономической эквивалентности кондиций, действующих на разных объектах. Однако, во-первых, оно не столь значительно, каким могло бы быть, если бы неравенства (6.17) не принимались во внимание, и, во-вторых, такой прием вполне оправдан необходимостью учета других важнейших ограничений на характеристики запасов и показатели производства. Поэтому он может применяться как временная мера, пока не будут узаконены замыкающие затраты на выпускаемую в отрасли продукцию, тем более, что для их обоснования необходим тщательный анализ

влияния, которое они оказывают на полноту и эффективность разработки каждого месторождения.

В рассматриваемом примере условия (6.17) меняют не только область допустимых решений задачи, но и само оптимальное решение. При $\bar{C}_m = 2 \cdot Ц$ максимум прибыли смещается в точку, обозначенную на рис. 6.2 звездочкой. Соответствующий вариант оконтуривания и разработки запасов характеризуется следующими показателями:

$$Q_1^0 = 206 \text{ тыс. т}, Q_2^0 = 294 \text{ тыс. т}, \alpha_{B1}^0 = 1,50\%, \alpha_{B2}^0 = 1,90\%,$$

$$(M_{\text{ТОВ}}^1)^0 = 5,73 \text{ тыс. т}, (M_{\text{ТОВ}}^2)^0 = 8,42 \text{ тыс. т},$$

$$(P_{\Sigma}^1)^0 = 1,513 \text{ млн. руб.}, (P_{\Sigma}^2)^0 = 3,367 \text{ млн. руб.},$$

$$Q^0 = 500 \text{ тыс. т}, M_{\text{ТОВ}}^0 = 14,15 \text{ тыс. т}, P_{\Sigma}^0 = 4,88 \text{ млн. руб.}$$

Эти цифры мало отличаются от полученных при оптимизации прибыли без учета ограничения (6.16), но данное обстоятельство не может служить основанием для признания их бесполезными. Практическая равноценность указанных решений есть следствие заданных условий задачи, в других ситуациях она может и не наблюдаться.

Таким образом, необходимость контроля себестоимости производства металла на базе граничных запасов и ее сравнения с предельными (в идеальном случае - с замыкающими затратами) не вызывает сомнения. Не менее важно учитывать при оконтуривании рудных залежей весь комплекс показателей, по которым производится планирование и управление работой рудников.

В настоящее время кондиционность комплексных руд оценивается главным образом по содержанию в них условного металла. Вследствие этого за проектным контуром разработки могут оказаться хотя и нерентабельные в целом, но сравнительно "богатые" по какому-либо одному (или нескольким) компонентам блоки. И наоборот, к балансовым могут быть отнесены запасы с рядовыми концентрациями металлов, при условии окупаемости предстоящих затрат на их эксплуатацию, т.е. имеет место неопределенность в оценке залежей комплексных руд по содержанию в них реальных металлов.

Такая неопределенность существует во всех проектах кондиций и

материалах подсчета запасов полиметаллических месторождений. Обычное предположение о равенстве себестоимости добычи руды из разных объектов и других величин, влияющих на кондиционность полезных ископаемых, приводит к тому, что некоторые забалансовые блоки имеют более высокие экономические показатели, чем балансовые, т.е. с этих позиций тоже допускается недостаточно четкая их градация.

Конечная цель работы рудников состоит в добыче руды, содержащей вполне реальные, а не условные металлы. И вполне естественно, если именно по ним будут оцениваться запасы комплексных руд, чтобы уже при обосновании выемочных контуров создать необходимый базис для успешного выполнения перспективных и текущих планов производства и при необходимости корректировать их в нужном направлении. При этом обязательно должны контролироваться показатели, отражающие экономическую сторону работы предприятия.

Если для каждого добычного объекта задано несколько возможных вариантов технических и технологических решений (например, ряд конкурирующих систем разработки), то в первую очередь следует определить области их эффективного применения по схеме, изложенной в предыдущем разделе, а затем проводить интегрированную оценку и оптимальное оконтуривание запасов выемочных единиц с учетом указанных областей. В результате будет не только установлено наилучшее положение пространственных границ разработки выемочных единиц, но и выбраны наиболее эффективные технические и технологические решения.

Принятая ориентация на комплексную, интегрированную и оптимальную оценку запасов приводит к необходимости решения оптимизационных задач большой размерности, практическая реализация которых может осуществляться с помощью экономико-математических моделей, алгоритмов и программ для ЭВМ.

§ 2. Экономико-математические модели оптимального оконтуривания и оценки запасов выемочных единиц

Следует различать перспективную и текущую формы оценки ресурсов минерального сырья. Первая проводится при составлении проектов кондиций для всего месторождения, проектировании строительства или реконструкции рудника и перспективном планировании работы предприятия и отрасли, когда решаются вопросы эффективного использования выделяемых капитальных вложений, обоснования производственных мощностей, баланса производства и потребления и пр. Эта форма оценки здесь не рассматривается. Основное внимание уделяется текущим задачам, требующим постоянного решения на действующих рудниках.

Объектами первоочередной оценки являются балансовые и забалансовые запасы, расположенные на уже отработанных, отработываемых и подготавливаемых к отработке горизонтах. Они представлены определенным множеством блоков (геологических и эксплуатационных), границы разработки которых жестко заданы или могут изменяться с помощью управляемых параметров кондиций, а также прямым назначением нескольких вариантов оконтуривания залежи в пределах блока.

Промышленный контур, установленный с помощью действующих на руднике постоянных геологических кондиций, выступает в качестве общей базы сравнения для всех возможных вариантов оконтуривания. При определении экономической целесообразности его корректировки используются индивидуальные характеристики запасов оцениваемых объектов, а требование улучшения хотя бы одного показателя, характеризующего их суммарные балансовые запасы, при неухудшении остальных (если это, конечно, возможно) является один из наиболее важных условий рассматриваемых здесь задач.

Не менее важен вопрос о том - какой критерий оптимальности должен приниматься в той или иной ситуации.

В последние годы нашла широкое признание среди специалистов концепция оценки запасов полезных ископаемых по величине дифференциальной горной ренты, получаемой в результате их эксплуатации. Этот показатель, безусловно, наиболее полно отражает народнохозяйственный эффект от отработки добычных объектов. Однако практическое его использование в настоящее время невозможно

из-за отсутствия утвержденных замыкающих затрат на различные виды продукции, получаемой при переработке рудного сырья. Кроме того, не совсем еще ясны принципы согласования народнохозяйственных и хозрасчетных интересов при принятии решений на местах. Поэтому в расчетах вместо замыкающих затрат, как правило, фигурируют действующие оптовые цены, что приводит к резкому сокращению количества запасов, предназначенных к извлечению из недр,

С учетом этого обстоятельства в предлагаемых моделях за критерий оптимальности принят показатель максимального количества основного металла, которое можно получить в результате эксплуатации запасов, вошедших в контур отработки. Правомерность такого выбора становится очевидной если учесть, что на многих рудниках цветной металлургии, эксплуатирующих месторождения крайне дефицитных видов полезных ископаемых, весьма остро стоит задача научно обоснованного расширения промышленных контуров в целях максимальной загрузки производственных мощностей по добыче и переработке руды, металлургическому переделу.

Принятие указанного критерия как раз и нацелено на повышение полноты извлечения именно тех сырьевых ресурсов, в которых ощущается постоянная нехватка. При этом не должна полностью исключаться возможность применения других критериев оптимальности - той же прибыли или себестоимости выпускаемой продукции с обязательным контролем полноты выемки разведанных запасов.

В конечном счете можно рекомендовать увязывать цель оптимизации с фактическим состоянием сырьевой базы производства и перспективами ее расширения, степенью дефицитности добываемых руд и выпускаемой продукции, выполнением текущих и долгосрочных планов при соблюдении жесткого контроля со стороны органов Госгортехнадзора над конечными результатами текущего переоконтуривания рудных залежей. Только в этом случае будет обеспечено согласование принципов охраны и рационального использования недр, обязательного выполнения утвержденных планов производства и правил безопасности ведения горных работ.

Первая из моделей предназначена для решения задачи интегрированной оценки запасов добычных единиц при неуправляемых контурах. Предусматривается, что для каждой из них заранее определена оптимальная технология добычи по критерию "максимум прибыли (или минимум убытков) с 1 т погашаемых запасов". Поэтому в модели фигурируют технико-экономические показатели, соответствующие этим вариантам технологии.

Словесная формулировка решаемой задачи: из заданного множества выемочных единиц (блоков, камер, панелей и пр.) отобрать такие, разработка которых обеспечит получение максимально возможного количества основного металла при условии выполнения ряда ограничений на основные характеристики суммарных и граничных запасов.

Математическая модель этой задачи имеет вид:

максимизировать суммарное количество основного металла, получаемое при разработке оцениваемых запасов

$$L(X) = \sum_{j=1}^n \theta_{1j} \cdot Q_j \cdot X_j \quad (6.18)$$

при ограничениях на:

а) среднее содержание металлов в извлекаемых запасах

$$\alpha_s \leq \frac{\sum_{j=1}^n \alpha_{sj} \cdot Q_j \cdot X_j}{\sum_{j=1}^n Q_j \cdot X_j}, \quad s = \overline{1, S}; \quad (6.19)$$

б) количество товарной руды в контуре отработки

$$Q \leq \sum_{j=1}^n Q_j \cdot X_j; \quad (6.20)$$

в) сумму получаемой прибыли

$$\Pi \leq \sum_{j=1}^n P_j \cdot Q_j \cdot X_j - C_0; \quad (6.21)$$

г) уровень рентабельности эксплуатации запасов выемочного контура (по отношению к себестоимости)

$$r \leq \frac{\sum_{j=1}^n P_j \cdot Q_j \cdot X_j - C_0}{\sum_{j=1}^n C_j \cdot Q_j \cdot X_j + C_0}; \quad (6.22)$$

д) себестоимость производства s-го металла на базе граничных (худших) блоков

$$C_{mj}^s \leq \bar{C}_m^s; \quad (6.23)$$

в) значения управляемых переменных

$$X_j = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, j = \overline{1, n}, \quad (6.24)$$

где j - индексы выемочных единиц, $j = \overline{1, n}$; θ_{1j} - выход основного металла с 1 т товарной руды, добываемой из j -й выемочной единицы; Q_j - запасы товарной руды в j -ой выемочной единице; X_j - искомые переменные задачи, определяющие выбор или отбраковку выемочных единиц; α_s - среднее содержание s -го металла в товарной руде базового контура разработки; α_{sj} - среднее содержание s -го металла в товарной руде j -ой выемочной единицы; Q - количество товарной руды в базовом контуре; Π - общая прибыль, которую намечалось получить при отработке запасов базового контура; P_j - удельная прибыль (убытки) с 1 т руды, добываемой из j -ой выемочной единицы (подсчитывается с учетом предстоящих, а не полных затрат); C_0 - постоянная составляющая общих затрат, которая не зависит от величины извлекаемых запасов; r - уровень рентабельности (по отношению к себестоимости) разработки запасов базового контура; C_j - предстоящие затраты на добычу, транспортировку и переработку руды из j -ой выемочной единицы; C_{mj}^s - себестоимость производства s -го металла из запасов j -ой выемочной единицы; \bar{C}_m^s - предельная себестоимость производства s -го металла.

В результате реализации модели (6.18) - (6.24) определяется оптимальный набор выемочных единиц, при котором количество основного металла, получаемое при их разработке, оказывается максимальным, а все другие контролируемые показатели принимают значения не хуже заданных.

В такой постановке часть балансовых запасов может быть признана нецелесообразной к разработке и, наоборот, некоторые участки забалансовых руд войдут в выемочный контур, так как это будет экономически оправдано. Модель позволяет проводить совместную оценку большого числа выемочных единиц по целому комплексу натуральных и стоимостных показателей, которые легко увязываются с плановыми показателями работы предприятия. Поэтому отпадает необходимость в приведении всех полезных компонентов к условному металлу, как это обычно делается на практике. Модель базируется на индивидуальных

характеристиках запасов выемочных единиц, соответствующих конкретным условиям их разработки и принятой оптимальной технологии добычи, т.е. уровень детализации исходной информации тот же, что и при дифференцированном, поблочном способе оценки. Это гарантирует объективность выводов о промышленной ценности полезного ископаемого на всех участках.

В модели учитываются предельно допустимые затраты на производство металлов на базе худших, граничных запасов, что исключает возможность разубоживания богатых руд чрезмерно бедными. Кроме того, появляется реальная возможность увязать хозрасчетные интересы предприятия с народнохозяйственными интересами в наиболее полном и экономически оправданном извлечении минеральных ресурсов из недр.

Рассмотренная постановка задачи интегрированной оценки запасов выемочных единиц по комплексу показателей ориентирована на специфические условия месторождений с четкими геологическими контактами между рудными телами и вмещающими породами. На таких объектах управление выемочным контуром сводится главным образом к изменению набора входящих в него блоков.

Однако существует широкий класс месторождений, на которых границы залегания и разработки рудных залежей по их мощности и площади определяются только по результатам анализа данных опробования разведочных скважин и выработок. В этих условиях оптимизация выемочных контуров заключается в выборе наилучшего согласно принятому критерию оптимальности набора блоков и наилучшего варианта оконтуривания каждого из них при соблюдении ряда ограничений на контролируемые характеристики суммарных и граничных запасов.

Каждому намеченному варианту оконтуривания поставим в соответствие вариант технического или технологического решения, при котором достигается максимум прибыли (или минимум убытков) с 1 т погашаемых запасов. Показатели именно этих оптимальных решений вводятся затем в модель интегрированной оценки и оптимального оконтуривания запасов выемочных единиц. Тогда, оптимизируя границы разработки залежей, мы одновременно будем производить поиск наилучшего технического или технологического решения. Предназначенная для

этого модель при том же составе контролируемых показателей, что и в выражениях (6.18) - (6.24), и принятом критерии оптимальности имеет следующий вид:

максимизировать суммарное количество основного металла, получаемое в результате разработки оконтуриваемых запасов

$$L(X) = \sum_{i=1}^{m_j} \sum_{j=1}^n \theta_{ij}^1 \cdot Q_{ij} \cdot X_{ij} \quad (6.25)$$

при ограничениях на:

а) среднее содержание металлов в товарной руде

$$\alpha_s \leq \frac{\sum_{i=1}^{m_j} \sum_{j=1}^n \alpha_{sj} \cdot Q_{ij} \cdot X_{ij}}{\sum_{i=1}^{m_j} \sum_{j=1}^n Q_{ij} \cdot X_{ij}}, \quad s = \overline{1, S}; \quad (6.26)$$

б) суммарное количество товарной руды в контуре отработки

$$Q \leq \sum_{i=1}^{m_j} \sum_{j=1}^n Q_{ij} \cdot X_{ij}; \quad (6.27)$$

в) суммарную прибыль, получаемую от эксплуатации запасов, вошедших в контур отработки

$$\Pi \leq \sum_{i=1}^{m_j} \sum_{j=1}^n P_{ij} \cdot Q_{ij} \cdot X_{ij} - C_0; \quad (6.28)$$

г) уровень рентабельности разработки запасов, предназначенных к выемке из недр

$$\Gamma \leq \frac{\sum_{i=1}^{m_j} \sum_{j=1}^n P_{ij} \cdot Q_{ij} \cdot X_{ij} - C_0}{\sum_{i=1}^{m_j} \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot Q_{ij} \cdot X_{ij} + C_0}; \quad (6.29)$$

д) себестоимость производства металлов из руды, добываемой в каждой выемочной единице

$$\left(C_0^s + \frac{C'_{ij}}{S \cdot \theta_{ij}^s} \right) \cdot X_{ij} \leq \bar{C}_M^s; \quad (6.30)$$

е) то же, на базе граничных запасов выемочных единиц

$$C_0^s + \frac{C'_{i+1,j} \cdot Q_{i+1,j} \cdot X_{i+1,j} - C'_{i,j} \cdot Q_{i,j} \cdot X_{i,j}}{S \cdot (\theta_{i+1,j}^s \cdot Q_{i+1,j} \cdot X_{i+1,j} - \theta_{i,j}^s \cdot Q_{i,j} \cdot X_{i,j})}, \quad s = \overline{1, S}, \quad i = \overline{1, m_j} - 1, \quad j = \overline{1, n}; \quad (6.31)$$

ж) условие обязательного выбора одного из вариантов оконтуривания в блоках, о которых заведомо известно, что они должны извлекаться из недр

$$\sum_{i=1}^{m_j} X_{ij} = 1, \quad j \in J_1; \quad (6.32)$$

з) условие, обеспечивающее возможность временного оставления в недрах отдельных блоков до их следующей переоценки:

$$\sum_{i=1}^{m_j} X_{ij} \leq 1, j \in J_2 ; \quad (6.33)$$

и) численные значения управляемых переменных задачи

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, i = \overline{1, m_j}, j = \overline{1, n}, \quad (6.34)$$

где $L(X)$ - суммарное количество основного металла, получаемое при разработке запасов, вошедших в выемочный контур; $X = \{X_{ij}\}$ - множество булевых переменных, отражающих принятие ($X_{ij}=1$) i -го варианта оконтуривания запасов j -го блока (выемочной единицы) или отказ от него ($X_{ij}=0$); i - индекс варианта оконтуривания запасов в блоках, $i = \overline{1, m_j}$; j - индекс выемочной единицы, $j = \overline{1, n}$; θ_{ij} - выход основного металла в готовую продукцию с 1 т товарной руды, добываемой в j -ой выемочной единице, при i -ом варианте оконтуривания ее запасов; Q_{ij} - запасы товарной руды в j -ой выемочной единице при i -ом варианте оконтуривания; α_s - минимально допустимое значение среднего содержания s -го металла в суммарных извлекаемых запасах выемочных единиц; s - индекс металла, который учитывается при подсчете запасов и по которому ведется планирование добычи, $s = \overline{1, S}$; α_{ij}^s - среднее содержание s -го металла в товарной руде j -ой выемочной единицы при i -ом варианте ее оконтуривания; Q, Π, r - заданные граничные значения соответственно суммарных извлекаемых запасов руды, прибыли и уровня рентабельности производства (по отношению к себестоимости); P_{ij} - удельная прибыль с 1 т товарной руды, добываемой в j -ой выемочной единице при i -ом варианте оконтуривания; C_{ij} - предстоящие затраты на добычу, транспортировку и переработку 1 г руды из j -ой выемочной единицы при i -ом варианте ее оконтуривания; C_0 - постоянная составляющая общих затрат, которая не зависит от величины извлекаемых запасов; C_0^s - прямые затраты на производство весовой единицы s -го металла; C'_{ij} - предстоящие затраты на добычу, транспортировку и переработку 1 т руды из j -ой выемочной единицы при i -ом варианте ее оконтуривания, подсчитанные без учета прямых расходов на производство извлекаемых металлов и попутных продуктов; θ_{ij}^s - выход s -го металла с 1 т товарной руды, добываемой в j -ой выемочной

единице при i -ом варианте ее оконтуривания; \overline{C}_M^s - предельная себестоимость производства s -го металла; J_1 - множество индексов выемочных единиц, разработка которых в предстоящем периоде является обязательной; J_2 - множество индексов выемочных единиц, которые могут не вовлекаться в эксплуатацию в предстоящем периоде.

Данная модель, как и предыдущая, является моделью дискретного программирования с булевыми переменными и может быть реализована на ЭВМ с помощью соответствующих алгоритмов и программ. Результатом ее реализации в конкретных условиях явится, во-первых, набор предназначаемых к эксплуатации выемочных единиц, во-вторых, оптимальные контуры разработки их запасов и, в-третьих, соответствующие этим контурам оптимальные варианты технических и технологических решений.

Хотя в моделях не представлены в явном виде параметры кондиций, их легко определить на основе полученного оптимального решения. Установленные таким образом значения могут заметно отличаться от тех величин, которые получаются при использовании известных расчетных способов. Это объясняется тем, что кондиционность запасов трактуется здесь шире, чем это принято в существующей теории и на практике.

Основное внимание уделено контролю целого ряда важнейших стоимостных и натуральных показателей, характеризующих суммарные и граничные запасы выемочных единиц, которые увязываются с конечными и текущими целями работы предприятий. Их хозяйственные интересы согласовываются с народнохозяйственными интересами в бережном, рациональном использовании разведанных запасов введением в модели не только действующих оптовых цен, но и предельных затрат на выпускаемую продукцию.

При таком подходе существует принципиальная возможность плановой разработки убыточных для предприятий запасов, если это экономически оправдано с более высоких, отраслевых позиций.

Оптимальный уровень цен и предельных затрат должен обосновываться на вышестоящих уровнях управления на основе передаваемой снизу информации о

влиянии изменений на количественные, качественные и экономические характеристики извлекаемых запасов. Представленные здесь модели или их различные модификации могут использоваться для подготовки этой информации, если рассматривать указанные величины как управляемые параметры. Практическая реализация этих возможностей окажет положительное влияние на конечные результаты работы горнорудных предприятий и подотраслей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптимизация кондиций и соответствующих им границ разработки рудных залежей - задача большой народнохозяйственной важности, успешное решение которой позволит получить в масштабах страны огромную экономию общественного труда и средств. К сожалению, существующий уровень их научного обоснования не отвечает возросшим требованиям к рациональному и эффективному использованию невозобновляемых ресурсов минерального сырья. Длительное время, особенно в последнее десятилетие, проводятся интенсивные исследования, направленные на устранение имеющихся недостатков в данной области. Однако окончательному и быстрому решению проблемы препятствует ее большая сложность, а также отсутствие комплексного, системного охвата вопросов, возникающих при обосновании выемочных контуров. Обычно предлагается то или иное решение частных задач, но проблема в целом не решается.

Подавляющее большинство специалистов высказываются за необходимость дополнить постоянные геологические кондиции так называемыми эксплуатационными, дифференцированными по объектам оценки кондициями, применение которых позволило бы точнее и оперативнее определять экономически целесообразные границы разработки рудных залежей на действующих рудниках. Проведенные по заданию ГКНТ СССР исследования позволили создать научно-методическую базу, которая легла в основу проекта /2/. На этой основе намечается разработать и передать на производство отраслевые

инструкции по проведению технико-экономической оценки кондиционности запасов разных видов полезных ископаемых в специфических условиях их эксплуатации. Наряду с этим стоит задача дальнейшего развития теории и методов обоснования параметров кондиций на действующих горных предприятиях.

В данной работе предпринята попытка рассмотреть проблему с системных позиций, используя для этого методологию системного анализа. Месторождение полезных ископаемых рассматривается как большая иерархически организованная система, состоящая из множества объектов оценки и эксплуатации и входящая в систему более высокого уровня - сырьевую базу предприятия, объединения, подотрасли. Типичное свойство этой системы - ее управляемость, под которой понимается возможность изменения границ разработки рудных залежей, количественных, качественных и экономических характеристик извлекаемых из недр запасов с помощью кондиций и принимаемых к реализации технических и технологических решений. Поэтому вполне реальной является задача оптимизировать "поведение" рассматриваемой системы для достижения наилучших результатов производства.

На данном этапе исследований рассмотрены вопросы обоснования кондиций на нижележащих уровнях управления: разведочное пересечение, блок запасов, выемочная единица, группа выемочных единиц или заданное множество блоков. Задачи более высоких уровней (рудник, группа рудников и т.д.) требуют особого анализа.

Значительные различия природных особенностей оруденения на разных участках залежей, применяемой техники и технологии добычи и переработки руда приводят к тому, что влияние кондиций на основные характеристики запасов выемочного контура в пределах каждого участка сугубо индивидуально, поэтому крайне важно выявить и учесть эти особенности при оконтуривании и оценке рудных залежей.

Сделан вывод о необходимости обязательного контроля себестоимости производства металлов на базе граничных (худших) участков.

Важную роль в повышении полноты и эффективности разработки

месторождений полезных ископаемых должна сыграть повсеместная экономическая классификация их запасов.

Существенно облегчить и ускорить подготовку исходных данных для практического решения задач оптимального оконтуривания и оценки рудных залежей можно с помощью ЭВМ. С этой целью предложены алгоритмы повариантного оконтуривания и подсчета запасов, которые могут применяться в системах САПР и АСУ рудников.

Рассмотрены особенности применения дифференцированного и интегрированного способов выемочных единиц.

Установлено, что при локальном подходе к решению рассматриваемых задач не учитываются вполне реальные в производственных условиях требования к количеству оконтуриваемых запасов, содержанию в них реальных (а не условных) металлов и т.д. Естественно, что полученные таким образом решения не всегда приемлемы.

В отличие от этого при интегрированной, комплексной оценке выемочных единиц контуры их разработки ориентированы на те ограничения, которые накладываются на основные характеристики не только граничных, но и суммарных запасов. Последние легко увязываются с плановыми показателями работы предприятий, что позволяет реализовать на практике идею управляемости промышленных контуров рудных залежи исходя из поставленных целей и конкретных условий производства.

При таком подходе полностью сохраняется детализация анализа, свойственная дифференцированному, поблочному способу оценки запасов, однако оптимальные границы и разработки устанавливаются с более высоких системных позиций.

Предлагаются экономико-математические модели совместной оценки и оптимального оконтуривания запасов выемочных единиц, относящиеся к классу моделей дискретного программирования с булевыми переменными. Из-за их большой размерности они могут быть реализованы только на ЭВМ с помощью соответствующих алгоритмов и программ.

При решении рассматриваемых задач учитывается возможность реализации на оцениваемых объектах разных технических и технологических решений. Выбор их оптимальных вариантов производится по критерию "максимум прибыли (или минимум убытков) с 1 т погашаемых запасов". Для оптимизации выемочных контуров рудных залежей на предприятиях с неудовлетворительным состоянием сырьевой базы используется критерий "максимальное количество основного металла, получаемое при эксплуатации оцениваемых запасов" при соблюдении ограничений на натуральные и стоимостным ш тали производства.

Для согласования хозрасчетных и народнохозяйственных интересов в бережном и эффективном использовании сырьевых ресурсов в модели введены не только оптовые цены, но и предельные затраты на выпускаемую продукцию.

Очевидно, что работа на этом не заканчивается. Наряду с широкой апробацией предлагаемых моделей в различных условиях намечается учесть в дальнейших исследованиях динамику и стохастичеку горного производства и приступить к обоснованию выемочных контуров рудных залежей на более высоких уровнях управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников Н.В., Агошков М.И. Задачи научных исследований в области комплексного освоения месторождений, использования минерального сырья и охраны недр// Комплексное использование минерального сырья. 1979. № 7. С. 3-11.
2. Типовые методические положения применения кондиций на твердые полезные ископаемые в процессе разработки месторождений (проект). М., 1983. 37 с.
3. Пожарицкий К.Л. Основные положения при определении минимума промышленного содержания металлов в руде// Горный журнал, 1947. № 9. С. 3-7.
4. Пожарицкий К.Л. Расчет минимального промышленного содержания в комплексных, многокомпонентных рудах// Вопросы горного дела. М. 1948. С. 407-412.
5. Рачковский С.Я. Определение минимального промышленного содержания металлов в рудах цветных металлов// Цветные металлы. 1948. № 5. С. 62-65.
6. Агошков М.И., Бронников Д.М. К методике определения минимального промышленного содержания металла в руде// Труды ИГД АН СССР. 1954. Т. I. С. 47-51.
7. Рура Д.М. О промышленном минимуме и промышленной руде// Колыма. 1956. № 7. С. 14-19.
8. Здоров В.М. Об установлении границы промышленной части месторождения// Труды НИГРИзолото. 1957. Вып.23. С.15-17.
9. Володомононов Н.В. Горная рента и принципы оценки месторождений. М., 1959. 80 с.
10. Инструкция о содержании и порядке представления на утверждение ГКЗ СССР проектов кондиций, необходимых для подсчета запасов полезных ископаемых. М., 1965. 44 с.
11. Абрамов М.К. Особенности расчета минимального промышленного содержания для комплексных руд// Научные труды Института "Иргиредмет". 1965. Вып. 13. С. 210-218.
12. Погребницкий Е.О., Терновой В.И. Некоторые вопросы кондиций для месторождений полезных ископаемых// Записки ЛГИ. 1967. Т. 52, вып. 2. С. 111-121.

13. Погребницкий Е.О., Терновой В.И. Принципы и методы комплексной оценки месторождений полезных ископаемых// Теоретические основы разведки: (Материалы конференции). Л., 1973. С. 144-166,
14. Сиразутдинов А.М. Определение промышленного содержания металла в руде// Труды ИГД АН КазССР, 1969. Т.42.С.10-15.
15. Гатов Т.А. Техничко-экономическое обоснование уровня минимального содержания цветных металлов в руде, М., 1967. 156 с.
16. Байконуров О.А., Баязитов Н.Х. Методика поблочной оценки промышленного значения бедных руд// Труды КазПТИ, 1967., Т. 26. С. 569-575.
17. Ахметов А.Р. К вопросу покамерной оценки руд Джекказганского месторождения// Труды ИГД АН КазССР. 1968. Т. 30. С. 61-54.
18. Ахметов А.Р. Исследование влияния горнотехнических факторов на минимальное содержание металла в руде; (На примере участков малой мощности Джекказганского месторождения); Автореф. дис,...канд.техн.наук. Алма-Ата. 1969. 21 с.
19. Байконуров О.Д., Каргажанов З.К. К вопросу определения промминимума для разрабатываемых полиметаллических месторождений// Труды ИГД АН КазССР. 1967. Т. 25. С. 77-85.
20. Каргажанов З.К. Экономическая оценка месторождений руд цветных металлов. Алма-Ата, 1976. 134 с.
21. Жаксыбаев Н.К., Карабач Т.Л., Среданович А.В. Оценка экономической эффективности добычи и обогащения полиметаллических руд Зырянского месторождения// Горный журнал. 1972. № 10. С. 5-8.
22. Марголин А.М., Бурдо Л.П. Определение кондиций с учетом технологической освоенности запасов рудных месторождений// Советская геология. 1971. № 1. С. 81-93.
23. Каждан А.Б., Кобахидзе Л. П. Особенности геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых в условиях действующих горных предприятий// Известия вузов. Геология и разведка. 1969. № 7. С. 124-130.
24. Гурецкий В.М., Копаев В.А. Принципы дифференцированного определения

минимального промышленного и бортового содержания металла в руде по этапам разработки недр. М. 1970. 16 с.

25. Гурецкий В.М. Подземная разработка месторождений с неравномерным оруденением. М., 1977. 160 с.

26. Котов Г.К., Жернаков Ю.И. Экономическое управление бортовым содержанием полезных компонентов рудных месторождений// Управление горным производством. Свердловск, 1977, С. 108-114,

27. Рожков В.В. О целесообразности изменения кондиций по разделению медных и медно-свинцовых руд Дзержинского месторождения// Участие молодых ученых и специалистов в повышении эффективности работы предприятий цветной металлургии. Усть-Каменогорск, 1977. С. 92-93.

28. Симаков В.А. Обоснование промминимума экономическим сравнением вариантов оконтуривания рудных месторождений// Известия вузов. Геология и разведка. 1971. № 11. С. 138-143.

29. Симаков В.А. Экономическое обоснование минимально-промышленного содержания металла в рудах// Известия вузов. Геология и разведка. 1972. № 3. С. 126-133.

30. Симаков В.А., Домбровский А.Л. Промминимум на месторождениях Хрустальненского горно-обогатительного комбината// Совершенствование систем и технологии разработки жильных месторождений. Владивосток. 1975. С. 178-181.

31. Хрущов Н.А. Экономические основы расчета кондиций на минеральное сырье// Советская геология. 1973. № 2. С. 3-9.

32. Тестер Н.М. Определение кондиций по качеству при подземной эксплуатации рудных месторождений методами поэтапной оптимизации// Экономические исследования в горной промышленности, М., 1975. Вып. I. С. 55-56.

33. Терпогосов З.А. К проблеме рационального использования запасов полезных ископаемых из недр// Совершенствование методов рационального извлечения запасов полезных ископаемых из недр. М., 1978. С. 13-21.

34. Танделов А.Е. Кондиции по содержанию на стадии эксплуатации месторождения и их обоснование// Там же. С. 48-69.

35. Гусев А.А. Эксплуатационные кондиции при разработке жильных месторождений // Там же. С. 70-73.

36. Каргажанов З.К. Основные положения по установлению эксплуатационных кондиций // Комплексное использование минерального сырья. 1979. № 5. С. 61-68.

37. Терпогосов З.А. Анализ состояния вопроса по установлению кондиций с выявлением степени использования недр при подземной разработке вольфрамо-молибденовых месторождений // К проблеме рационального использования недр. М., 1979. С. 9-14.

38. Терпогосов З.А. Предельные показатели качества запасов отдельных участков месторождения // Там же. С. 59-76.

39. Сиразутдинов А.М., Жиганов Е.В., Степанов Н.П. О влиянии изменения кондиций на технико-экономические показатели некоторых предприятий Казахстана // Там же. С. 15-20.

40. Сиразутдинов А.М., Жиганов Е.З., Степанов Н.П. Показатели эксплуатационных кондиций на руды цветных металлов и методические основы их определения // Там же. С. 87-94.

41. Дронов Н.В. Анализ практики установления кондиций на полезные ископаемые // Там же. С. 21-25.

42. Дронов Н.В. Исходные принципы и методические положения по определению кондиций на стадии эксплуатации месторождений // Там же. С. 111-120.

43. Каргажанов З.К. Целесообразность установления, состав и назначение эксплуатационных кондиций // Там же. С. 95-110.

44. Яковлев М.А. Анализ использования кондиций при подземной разработке рудных месторождений Средней Азии // Там же. С. 26-31.

45. Естаев М.Б. Практика установления и динамика изменения кондиций при освоении месторождений // Там же. С. 32-40.

46. Естаев М.Б. Основные положения по установлению кондиций в процессе эксплуатации месторождений // Там же. С. 139-145.

47.Свирский М.А., Вейсман В.В, Чудненко В.К. О некоторых особенностях оценки запасов на эксплуатируемых месторождениях// Там же. С. 41-45.

48.Свирский М.А., Вейсман В.В. Зуева А.Г. Некоторые положения по установлению эксплуатационных кондиций для рудных месторождений// Там же. С. 146-155.

49.Агабалян Ю.А. К основным положениям по установлению кондиций на полезные ископаемые в процессе эксплуатации// Там же. С. 167-179.

50.Плеханов В.К. Основные положения по определению эксплуатационных кондиций на руды Кривбасса// Там же. С. 156-166.

51. Байбусинов Ш.Ш., Балясов В.П., Бондарев Г.Г. О составе кондиций для месторождений слюды// Там же. С. 180-195.

52. Попов А.П. К методике определения эксплуатационных кондиций// Там же. С. 204-209.

53. Белов М.А, Исходные положения в обосновании минимальных содержаний полезного компонента в руде// Там же. С.210-214.

54. Суменков М.С., Кисляк В.М., Еремин Н.Я. Математическое моделирование производственной программы с учетом переменного бортового содержания полезного компонента в руде// Известия вузов. Горный журнал. 1979. № 11. С. 27-33.

55. Байбусинов Ш.Ш. Экономическое обоснование промышленного минимума на стадии эксплуатации// Известия вузов. Геология и разведке» 1979 № 1. С. 121-124.

56. Яковлев М.А., Жуков Н.А. Состав кондиций на стадии эксплуатации рудных месторождений подземным способом// Горно-экономическая оценка параметров подземной разработки рудных месторождений. Фрунзе, 1960. С. 24-29.

57. Рыжов В. П., Красавин А.Г. Построение изолиний технико- экономических показателей на маркшейдерских планах методами геометрии недр//Повышение полноты и качества извлечения запасов при разработке жильных месторождений. М., 1980. С. 38-48.

58. Инструкция о содержании, оформлении и порядке предъявления в ГКЗ СССР технико-экономических обоснований кондиций на минеральное сырье. М. 1984. 24 с.

59. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой. М., 1975. 191 с.
60. Квейд Э. Анализ сложных систем. М., 1969. 619 с.
61. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М., 1969. 216 с.
62. Райзберг Б.А., Голубков Е.П., Пекарский Л.С. Системный подход в перспективном планировании. М., 1975. 271 о.
63. Астахов А.С. Экономическая оценка запасов полезных ископаемых. М., 1981. 287 с.
64. Временная типовая методика экономической оценки полезных ископаемых. М., 1980. 29 с.
65. Резниченко С.С. Основы теории оптимизации кондиций на руду при проектировании и эксплуатации карьеров. Автореф. дисс. докт. техн. наук. М., 1977. 32 с.
66. Сергеев О.П. Графическое выравнивание качественной характеристики запасов руды железорудных месторождений// Разведка и охрана недр. 1951. № 3. С. 21-23.
67. Марголин А.М. Оценка запасов минерального сырья. Математические методы. М., 1974. 361 о.
68. Гатов Т.Д. Экономическая оценка месторождений цветных металлов. М., 1975. 262 с.
69. Техничко-экономическая оценка извлечения полезных ископаемых из недр// Под ред. М.И. Агошкова. М., 1975. 312 о.
70. Типовые методические указания по оценке экономических последствий потерь полезных ископаемых при разработке месторождений// Сборник руководящих материалов по охране недр. М., 1977. С. 86-125.
71. Отраслевая инструкция по определению, нормированию и учету потерь и разубоживания руды и песков на рудниках и приисках МЦМ СССР// Сборник инструктивных материалов по охране и рациональному использованию полезных ископаемых. М., 1977. С. 3-111.
72. Прокофьев А.П. Оконтуривание рудных тел при подсчете запасов. М., 1955.

111 с.

73. Кузьмин В.И. Геометризация и подсчет запасов месторождений твердых полезных ископаемых, М. 1967. 244 с.

74. Коган И.Д. Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. М. 1971. 295 с.

75. Ушаков И.Н. Горная геометрия. М., 1979. 440 с.

76. Каждан А.Б., Гуськов О.И., Шиманский А.А. Математическое моделирование в геологии и разведке полезных ископаемых. М. 1979. 168 с.

77. Каллистов П.Л. Изменчивость оруденения и плотность наблюдений при разведке и опробовании// Советская геология. 1956. № 53. С. 110-151.

78. Низгурецкий З.Д. Построение горно-геометрических графиков с применением ЭЦВМ// Маркшейдерское дело. Л., 1974. Вып. I. С. 136.

79. Калаченко А.А., Панкуль М.И., Гаврилова Л.Г. и др. Выделение рудных интервалов и подсчет по ним средних содержаний// Математические методы в геологии. Алма-Ата. 1971. Вып. 2. С. 229-233.

80. Ашаев Ю.П. Система автоматизированного выделения кондиционных пропластов, подсчета запасов руд и объемов пород на руднике Жанатас/ Экспресс - информация КазНИИНТИ. Алма-Ата. 1983. Вып. 100. 13 с.

81. Боярский Э.Ф., Погорелов А.М., Сатинов К.А. Управление процессом выделения кондиционного сырья// Вестник АН КазССР. 1977. № 4. С. 73-76.

82. Цнльковский В.Н., Поникаровский В.Е., Тарасова Г.В., Танайно А.С. Метод решения задачи выделения оптимальных границ при геометризации месторождений// САПР горнодобывающих предприятий: (Тез. докл. Республ. науч.-техн. конф. Ташкент, 1984. С. 116-117.

83. Кудряшов Л.И., Кузьмин В.И. Геометризация и учет запасов месторождений твердых полезных ископаемых. М., 1981. 275 с.

84. Теория и практика комплексного освоения месторождений цветных металлов / Сиразутдинов А.М., Жиганов Е.В., Дороненко Ф.Г. и др. Алма-Ата, 1986. 200 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Глава 1. ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ КОНДИЦИЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ КОНТУРОВ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ РУДНИКАХ.....	6
§ 1. Кондиции в системе горнорудного производства.....	6
§ 2. Обзор развития методологии установления и применения кондиций на действующих рудниках.....	13
§ 3. Современное состояние теории и практики обоснования эксплуатационных кондиций	28
Глава 2. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ГРАНИЦ РАЗРАБОТКИ ЗАПАСОВ.....	47
§ 1. Представление о месторождении как о большой и сложной системе...	47
§ 2. Методологические принципы системной оптимизации контуров разработки рудных залежей.....	53
Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНДИЦИЙ НА ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАПАСОВ ВЫЕМОЧНОГО КОНТУРА.....	74
§ 1. Анализ зависимости качественных и количественных характеристик запасов от кондиций.....	74
§ 2. Влияние кондиций на технологические и экономические показатели производства.....	92
Глава 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОКОНТУРИВАНИЯ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ.....	113
§ 1. Общие положения.....	113
§ 2. Оконтуривание залежи по заданным кондициям.....	119
§ 3. Многовариантное оконтуривание рудных тел.....	128
Глава 5. ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ВЫЕМОЧНЫХ ЕДИНИЦ.....	136

§ 1. Поблочная оценка запасов полезных ископаемых в заданных контурах разработки.....	136
§ 2. Оконтуривание и оценка запасов выемочных единиц при управляемых контурах разработки	147
Глава б. ИНТЕГРИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ВЫЕМОЧНЫХ ЕДИНИЦ.....	155
§ 1. Сущность и принципы интегрированной оценки запасов.....	155
§ 2. Экономико-математические модели оптимального оконтуривания и оценки запасов выемочных единиц	164
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	173
ЛИТЕРАТУРА.....	177

Александр Александрович Лисенков

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТУРОВ РАЗРАБОТКИ
РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ НА ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКАХ

Утверждено к печати Ученым советом Института
горного дела Академии наук Казахской ССР

Зав. редакцией Н.Л. Селиванова

Редактор С.Г. Новикова

Оформление художника С.С. Слабоспицкого

Корректор С.И. Осколкова

ИБ № 2285

Подписано в печать 04.02.87. УГ I20I5.

Формат 60x841/16. Бум. тип. № I.

Офсетная печать. Усл. п. л. 10.

Усл. кр.- отт. 10. Уч.-изд. л. 10,9.

Тираж 500. Заказ 33. Цена 1р. 70 к.

Издательство "Наука" Казахской ССР

480100, г. Алма-Ата, ул. Пушкина, 111/113

Типография издательства "Наука" Казахской ССР

480021, г. Алма-Ата, ул. Шевченко, 28