ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ

ИНСТИТУТ ИМ. А.П. КАРПИНСКОГО» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

**Методические рекомендации по выделению и обоснованию перспективных участков недр на твердые полезные ископаемые по результатам региональных геолого-геофизических и геологосъемочных работ**

Санкт-Петербург

2018 г.

**Методические рекомендации по выделению и обоснованию перспективных участков недр на твердые полезные ископаемые по результатам региональных геолого-геофизических и геологосъемочных работ**

Составители: А.К. Иогансон, С.Н. Калабашкин, Ю.Б. Миронов, А.А. Пуговкин, Л.В. Смелова, С.В. Соколов, С.Н. Шахова, Н.Н. Шерстюк, В.П. Феоктистов

Подготовлены актуализированные «Методические рекомендации по выделению и обоснованию перспективных участков недр на ТПИ по результатам региональных геолого-геофизических и геолого-съемочных работ». Рекомендации содержат прогнозную оценку геологических структур при региональных геолого-геофизических и геологосъемочных работах, включающую критерии прогнозирования перспективных участков недр, рекомендации по методике комплексной прогнозной оценки перспективных участков недр на твердые полезные ископаемые, количественную оценку прогнозных ресурсов металлических, неметаллических полезных ископаемых и твердого топлива.

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  | стр. |
| --- | --- |
| Список принятых сокращений ……………………………………………………. | 4 |
| Введение ……………………………………………………………………………. | 5 |
| Общие положения …………………………………………………………………. | 6 |
| 1. Выделение и обоснование перспективных участков недр при региональных геолого-геофизических и геологосъемочных работах …………………………. | 7 |
| * 1. Критерии прогнозирования ………………………………………………….. | 8 |
| * 1. Поисковые минерагенические признаки ………………………………..…. | 13 |
| * 1. Рекомендации по методике комплексной прогнозной оценки перспективных участков недр на твердые полезные ископаемые ………………………….. | 16 |
| 2. Количественная оценка прогнозных ресурсов категории Р3 металлических и неметаллических полезных ископаемых…………………………………. | 17 |
| 2.1. Метод аналогии………………………………………………………………... | 18 |
| 2.2 Метод экспертных оценок…………………………………………………….. | 21 |
| 2.3 Оценка прогнозных ресурсов по результатам литохимической съемки…… | 22 |
| 2.4. Оценка прогнозных ресурсов по результатам геофизических исследований……………………………………………………………................................... | 31 |
| 2.5. Метод прямого расчета………………………………………….……………. | 37 |
| 3. Количественная оценка минерагенического потенциала металлических и неметаллических полезных ископаемых…………………………………………. | 38 |
| 4. Количественная оценка угольного потенциала и прогнозных ресурсов углей категории Р3. ………………………………………………………………….. | 38 |
| Список использованных источников……………………………………………... | 44 |

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АГХП –аномальное геохимическое поле

ГДП – геологическое доизучение ранее заснятых площадей в масштабе 1:200 000

ГСР-200 – геологическая съёмка масштаба 1:200 000

МЗ – минерагеническая зона

МП – минерагеническая провинция

МСБ – минерально-сырьевая база

РП – рудное поле

РУ – рудный узел

РР – рудный район

РС – рудогенная система

РФС – рудоформирующая система

СФК - структурно-формационный комплекс

ТПИ – твёрдые полезные ископаемые

**Введение**

Настоящие Методические рекомендации представляет собой актуализированную версию Методического руководства по оценке и учету минерагенического потенциала (минерагенических ресурсов) и прогнозных ресурсов категории Р3 металлических и неметаллических полезных ископаемых, подготовленного во ВСЕГЕИ в 2005 г., для научно-методического обеспечения работ по обоснованию выделения, оценке и паспортизации перспективных объектов с оцененным минерагеническим потенциалом и прогнозными ресурсами категории Р3. Данное Методическое руководство вошло в качестве приложения в «Регламент обоснования, апробации, учета и мониторинга информации о металлогеническом потенциале и прогнозных ресурсов категории Р3 стратегических, высоколиквидных и остродефицитных видов сырья» [30].

Необходимость актуализации обусловлена:

– возросшими требованиями к достоверности и обоснованности прогнозных оценок;

– накопленным практическим опытом работ по переоценке и учету прогнозных ресурсов.

Настоящие Методические рекомендации составлены на основе действующих отраслевых нормативных документов и методических рекомендаций. Особенностями рекомендаций, в отличие от Методического руководства 2005 г., являются  описание прогнозных критериев для выделения перспективных участков недр.

В соответствии с действующим положением о порядке проведения ГРР по этапам и стадиям одной из основных задач, которая должна быть решена при выполнении работ по составлению Государственных геологических карт масштаба 1:1 000 000 и 1:200 000, является «комплексная оценка минерагенического потенциала изученной территории», «определение прогнозных ресурсов категорий Р3…» [25].

Региональная прогнозная оценка площадей заключается в последовательном решении следующих задач:

1. Выделение потенциально рудоносной минерагенической зоны с критериями прогнозирования и параметрами оцениваемой зоны.
2. Определение в пределах перспективной минерагенической зоны положение потенциально рудоносных рудных районов, зон и узлов, т.е. локализация площади вероятного нахождения прогнозируемых месторождений.
3. Расчет величины прогнозных ресурсов категории Р3.

**ОБЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ**

Вся совокупность разномасштабных минерагенических единиц образует единый иерархический ряд, куда входят минерагенические пояса, мегапровинции, провинции, субпровинции (мегазоны), зоны, рудные районы, зоны, узлы, рудные поля и месторождения. Минерагенические единицы рассматриваемого единого ряда могут быть с некоторой долей условности подразделены на четыре группы - обзорного масштаба (минерагенические пояса - мегапровинции - провинции - субпровинции), региональные мелко–, среднемасштабные (минерагенические мегазоны, зоны, продуктивные бассейны), средне-крупномасштабные (рудные районы, узлы) и локальные (рудные поля, месторождения).

Наиболее крупными единицами минерагенического районирования континентов являются *планетарные минерагенические пояса* (Тихоокеанский, Средиземноморский и др.) и *мегапровинции* платформ (Восточно-Европейской, Западно-Сибирской и др.).

Под планетарными минерагеническими поясами понимаются крупные сегменты земной коры площадью n×107 км2, в строении которых принимают участие вертикальные и латеральные ряды структурно-формационных комплексов разновозрастных складчато-надвиговых областей, объединенных в единую суперструктуру в ходе нескольких последовательных тектоно-магматических циклов. К минерагеническим мегапровинциям платформ относятся ряды структурно-формационных комплексов, слагающие щиты (фундамент) и естественно плитные образования чехла этих блоков земной коры, сформированных в ходе нескольких тектоно-магматических (щиты) и тектоно-седиментационных (чехол плит) циклов.

*Минерагенические провинции и субпровинции* представляют следующий таксономический уровень минерагенического районирования. Под минерагеническими провинциями понимаются блоки земной коры, соответствующие уровню отдельных складчато-надвиговых областей, срединных массивов (микроконтинентов), вулканогенных поясов (активных окраин континентов); щитов и крупных структур платформенного чехла с характерными для них ассоциациями месторождений полезных ископаемых, сформированными в ходе одного или двух-трех последовательно проявленных тектоно-магматических и тектоно-седиментационных циклов (Уральская, Алтае-Саянская, Сибирская платформы и др.). Площадь -сотни тысяч – первые миллионы км2 (n×105–n×106 км2).

Важнейшими единицами мелкомасштабного регионального минерагенического районирования с точки зрения количественного прогнозирования являются *минерагенические зоны***,** в основу выделения которых положены естественные ряды геологических и ассоциирующих с ними рудных формаций определенного тектонического или геодинамического положения, в совокупности соответствующие структурно-минерагеническому или минерагеническому комплексу, проекция контуров которого на горизонталь – плоскость (карту) в общих чертах определяет границы минерагенических (структурно-минерагенических) зон.

Это относительно линейная по форме площадь размером в десятки – первые сотни тысяч км2 (n×104–n×105 км2). Для минерагенических подразделений, аналогичных по размерам, но не имеющих отчетливо выраженной линейности, применяется термин *минерагеническая область (МО).*

Таким образом, под минерагенической зоной понимается блок земной коры, часто эквивалентный структурно-формационной зоне, профилирующую рудоносность которого определяет ряд родственных пространственно-совмещенных геологических и рудных формаций той или иной стадии тектоно-магматического (тектоно-седиментационного) цикла, соответствующих определенным геодинамическим (палеогеодинамическим) обстановкам.

Практическая рудоносность минерагенических зон неравномерна по площади и проявляется в виде рудных узлов и районов, локализованных в них автономно (дискретно), но при этом почти полностью определяющих их суммарную продуктивность [21].

*Рудный район (рудоносная зона* в линейном варианте), площадь (n×103–n×104 км2) –развития отчетливыхпризнаков рудоносности, включающая несколько месторождений и значительное число благоприятно сочетающихся минерагенических факторов, представленных обычно несколькимирудоформирующими системами – и отличающаяся более высокой рудонасыщенностью по сравнению с окружающими территориями; включает, как правило, ряд пространственно сближенных однотипных рудных узлов и полей. Контуры рудных районов (рудоносных зон) определяются сочетанием естественных границ (геологических, геохимических, геофизических, геоморфологических и пр.). Термин *угольный район (УР)* применяется как к линейным, так и к субизометричным площадям [21].

Рудный район (РР) как минерагенический объект представляет собой совокупность сближенных и однотипных *рудных узлов*.

*Рудный узел (РУ)* – аномально рудоносный участок земной коры площадью (n×102 – 1,5×103) км2, относительно изометричных или неправильных очертаний, образованный локальным сочетанием благоприятных минерагенических факторов, проявленных в одной или нескольких РФС (осадочных, магматических, гидротермально-метасоматических и др.), вмещающий совокупность пространственно сближенных рудных объектов (или рудных полей), среди которых есть как минимум одно месторождение. Как и в РР, контуры рудных узлов очерчиваются естественными (геологическими или дизъюнктивными) границами или их сочетаниями. Для линейных в плане минерагенических подразделений данного ранга рекомендуется используемый в геологической практике термин рудная зона (РЗ) [21].

Рудные районы и узлы, как и минерагенические зоны, могут быть как с установленной рудоносностью, так и потенциальные, характеризующиеся только наличием прогнозных ресурсов. В некоторых случаях могут выделяться рудные районы и узлы вне минерагенических зон.

Оценка минерагенических зон и бассейнов проводится с помощью минерагенического потенциала (минерагенических ресурсов), а рудные районы, зоны, узлы оцениваются прогнозными ресурсами категории Р3.

Согласно «Классификации …» *прогнозные ресурсы категории Р3*учитывают лишь потенциальную возможность открытия месторождений того или иного вида полезного ископаемого на основании благоприятных магматических, стратиграфических, литологических, тектонических, палеогеографических предпосылок и поисковых признаков, выявленных в оцениваемом районе при средне- и мелкомасштабном региональном геологическом и прогнозно-минерагеническом изучении недр, дешифрировании дистанционных материалов, анализе результатов геофизических и геохимических исследований [10].

Минерагенический потенциал (минерагенические ресурсы) учитывается в потенциальных перспективных минерагенических зонах, бассейнах или их частях вне контуров ранее выделенных рудных и потенциальных рудных районов, зон, узлов с оцененными прогнозными ресурсами.

Количественная оценка минерагенического потенциала (минерагенических ресурсов) перспективных минерагенических зон, бассейнов или их частей производится на основе аналогии с изученным типовыми минерагеническими зонами, бассейнами с известной продуктивностью.

1. **Выделение и обоснование перспективных участков недр при региональных геолого-геофизических и геологосъемочных работах**

Целью регионального геологического прогноза любого масштаба является выделение и количественная оценка рудоносности перспективных площадей, структур, участков в рангах минерагенической зоны, рудного района и рудного узла.

* 1. **Критерии прогнозирования**

Оптимальная система прогнозных критериев для выделения перспективных участков недр должна базироваться, прежде всего, на выявлении устойчивых связей в размещении оруденения в геологических структурных комплексах с их определенными вещественно-геодинамическими типами и особенностями состава и строения, т.е. внутренней структурой геологических комплексов. Ранжирование прогнозных критериев по степени значимости и масштабности проявления производится с учетом принимаемой геолого-генетической модели прогнозируемых месторождений. Для прогнозных исследований любого масштаба в качестве главных критериев прогнозирования данного полезного ископаемого рассматриваются те, которые основываются на выявленных связях оруденения этого полезного ископаемого с вещественными и структурными в широком смысле особенностями геолого-структурных обстановок локализации оруденения. Остальные рудоконтролирующие факторы и, соответственно, прогнозные критерии являются в той или иной степени производными от структурных и вещественных, а поэтому рассматриваются как вспомогательные.

Под главными понимаются те критерии, при отсутствии одного из которых вероятность обнаружения месторождений минимальна. Вспомогательные критерии позволяют уточнять прогнозную оценку конкретных площадей и повышают вероятность выявления рудоносных структур, рудных полей и месторождений. При переходе от одного масштаба прогнозирования к другому изменяется набор главных и вспомогательных критериев.

При выделении и обосновании перспективных участков недр на твёрдые полезные ископаемые при проведении региональных геолого-геофизических и геологосъёмочных работ, как правило, анализируются следующие критерии – стратиграфический, литолого-фациальный, магматический, структурный, геодинамический, геоморфологический, формационный и др.

*Стратиграфические* критерии основаны на устойчивых связях оруденения с определенными уровнями и типами геологического разреза земной коры. Эти критерии наиболее важны при прогнозировании и поисках осадочных, вулканогенно-осадочных, метаморфогенных и стратиформных месторождений.

Геохронологический или региональный стратиграфический контроль связан с проявлением крупных глобальных эпох рудообразования.

Стратиграфический критерий выражается в том, что рудоносные формации накапливаются на определенных стадиях развития геологических структурных комплексов. Стратиграфическая приуроченность свойственна не просто телам полезных ископаемых или так называемым продуктивным горизонтам, а в первую очередь осадочным рудоносным формациям, которые в качестве присущих им компонентов включают в себя эти тела и продуктивные горизонты. Закономерной стратиграфической приуроченностью характеризуются месторождения угля, горючих сланцев, фосфоритов, медистых песчаников и др.

Некоторые эпигенетические месторождения связаны с определенными стратиграфическими единицами – с горизонтами, благоприятными для замещения в процессе гидротермальных преобразований (алтайские полиметаллические месторождения), или с горизонтами, играющими роль экрана (сурьмяные и ртутные месторождения Средней Азии) [18].

*Литолого-фациальные критерии* базируются на выявлении и использовании тесных связей полезных ископаемых с осадочными и вулканогенно-осадочными формациями (комплексами) определенного состава и их типичными литофациями. Для целей поисков и прогнозирования месторождений полезных ископаемых литологические критерии часто используются как литолого-фациальные, отражающие специфику локализации рудоносных формаций и связи оруденения с определенными лито-фациями пород. Наиболее эффективными эти критерии оказываются при поисках и прогнозировании осадочного, вулканогенно-осадочного и стратиформного оруденения (железные и марганцевые руды, полиметаллы, коры выветривания золота, россыпи).

Установлена связь рудоносных литофаций с палеогеографическими обстановками стратифицированных толщ земной коры.

Для эндогенных месторождений литолого-фациальные критерии имеют ограниченное значение. Литологический контроль эндогенного оруденения определяется, прежде всего, физико-механическими свойствами и химическим составом пород. Так как пористость, хрупкость, трещиноватость являются благоприятными факторами для формирования рудных залежей, а плотные, пластичные и вязкие породы обеспечивают экранирующую способность, повышая интенсивность рудообразования [12].

Благоприятны для избирательного замещения рудными минералами доломиты, битуминосные известняки, карбонатно-углеродистые песчаники, гравелиты, образующие благоприятные «критические горизонты», в которых формируются рудные тела.

*Магматические критерии* предполагают наличие генетических или парагенетических связей оруденения с магматическими телами – с плутонами, экструзивными, субвулканическими телами, поясами даек и малых интрузий, способствуя выносу рудного вещества из глубин в верхние горизонты земной коры и на поверхность магматическими расплавами и сопровождающими их флюидами. Генетические связи характерны, прежде всего, для магматических месторождений, ассоциирующих с ультраосновными, основными и щелочными породами. К таким рудным объектам относятся месторождения хромитов, титана, медно-никелевых сульфидных руд с платиноидами, золотом, алмазов, циркония, гафния, тория, апатита, редких земель.

Среди магматических месторождений известны ликвационные и кристаллизационные их типы. При поисках и прогнозировании промышленного оруденения важнейшее значение имеет степень дифференцированности рудоносных магматических расплавов. Наиболее продуктивными оказываются расслоенные, концентрически зональные и многофазные интрузивы.

Постмагматические месторождения эндогенного класса связаны со становлением гранитоидных плутонов, малых интрузий, даек и вулканитов. К ним относятся редкометалльные пегматитовые, медно-молибденовые и золото-медно-порфировые месторождения; скарновые магнетитовые, золото-платиновые, касситеритовые, полиметаллические сульфидные; грейзеновые и кварцево-сульфидные жильные золоторудные, связанные с гранитами и гранодиорит-плагиогранитными интрузиями; колчеданные и полиметаллические – с вулканитами; гидротермальные халькофильные (Pb, Zn, Cu, Bi, Те, Ag, Au) и литофильные (W, Мо, Sn) – с гранитоидами повышенной основности, малыми интрузиями и дайками гранодиорит-диоритов, лампрофиров, монцонитов, сиенитов, гранит- и гранодиорит-порфиров [12].

Из других магматических критериев важное поисковое значение имеют рудоносные эксплозивные и эксплозивно-гидротермальные брекчии и трубки взрыва. Они образуются в тесной связи процессов магмофлюидной деятельности с рудогенезом. Содержат повышенные концентрации полезных компонентов железа, полиметаллов, золота, серебра, сурьмы, ртути и нередко создают рудные скопления промышленного значения.

Глубина становления интрузивных тел различных комплексов оценивается на основе фациального анализа отдельных интрузивов. Выделяются поверхностная (эффузивно-покровная), приповерхностная (субвулканическая до 0,5-1 км), гипабиссальная (2 км), мезоабиссальная (3 км), абиссальная (более 5 км) фации магматических пород. Наиболее продуктивными оказываются магматиты субвулканической – гипабиссальной (халькофильные металлы и руды золото-серебряной формации и мезоабиссальной – абиссальной (литофильные, редкометалльные, комплексные золото-платиноидно-редкометалльные фации).

*Структурные критерии* основаны на закономерностях размещения оруденения в определенных структурах разного типа и разных масштабов.

Размещение рудных полей контролируется, как правило, крупными тектоническими элементами. К ним относятся глубинные разломы, складчатые зоны, предгорные прогибы, внутригорные котловины, платформенные антеклизы и синеклизы.

Особенно большое рудоконтролирующее значение имеют глубинные разломы. Трансконтинентальные и региональные линеаменты контролируют положение минерагенических провинций и крупнейших рудных поясов. В узлах пересечения таких структур поперечными трансформными разломами размещаются рудные районы, рудные поля и уникальные месторождения медноколчеданных и полиметаллических руд Алтая, Урала, Средней Азии, Забайкалья и других регионов. Глубинные разломы и зоны «сквозного типа», проявляющиеся в пределах складчатых областей и на пересечении их с жесткими массивами. Они контролируют размещение структурно-формационных и минерагенических зон, внедрение интрузивов и определяют линейное, линейно-узловое размещение рудных узлов.

На региональном уровне учитывается также принадлежность минерагенических провинций и рудных районов к крупным структурно-формационными элементам земной коры: щитам, плитам, континентальным платформам, складчатым или активизированным областям.

С платформенными областями преимущественно связаны крупные каменноугольные и соленосные бассейны, коры выветривания экзогенных месторождений железа, марганца, никеля, бокситов и фосфоритов. Складчатые области наиболее благоприятны для локализации эндогенных месторождений [12].

Складчатые, террейновые и куполовидные структуры различных порядков определяют положение рудных районов и рудных узлов. Они также контролируют размещение месторождений. Особенно благоприятными для размещения оруденения оказываются антиклинории, купола поднятий, компенсационные синклинали, изгибы складчатых структур по простиранию и падению, участки их пересечений крупными разломами и зонами трещиноватости, сдвиги, надвиги чаще оказываются рудоподводящими каналами. Для полиметаллических руд оруденение чаще приурочено к периклинальным замыканиям, осложненных разрывами [18].

*Геодинамические критерии* определяются концепцией тектоники литосферных плит. При этом наибольшее прогнозно-минерагеническое значение имеют: рифтовые зоны, островодужные системы, континентальные активные, пассивные и трансформные окраины, обдукции и коллизии. Для внутриконтинентальных рифтов характерны бимодальная и щелочная серии магматических пород и следующая минерагеническая зональность: хром-платина, медь-свинец-цинк, редкие земли-ниобий-тантал (иногда олово).

Для островодужных систем характерны известково-щелочная и щелочно базальтовая серии и халькофильная минерагеническая специализация, включающая: медь, свинец-цинк, золото.

Для зон андского типа характерно изменение состава магматических пород от известково-щелочного на краю континента до редкометалльных гранитов и щелочного на участках, удаленных от края континента. Минерагеническая зональность в этом случае имеет следующий вид: золото-молибден, свинец-цинк, олово-вольфрам, редкие земли ниобий-тантал [6].

Зоны обдукции представлены аллохтонными пластинами офиолитов (океанская кора) залегающими на континентальной коре. Магматизм и минерагения зон обдукции и коллизии обусловлены палингенным гранитообразованием и мобилизацией вещества при метаморфизме.

Минерагенический прогноз складчатых (подвижных) поясов в настоящее время опирается и на террейновый анализ. При этом террейны являются фрагментами различных тектонических образований: кратонов, пассивных, активных и трансформных континентальных окраин, островных дуг, океанских и окраинно-морских бассейнов. Все они в прошлом находились на различном удалении от мест их современного расположения. Предполагается, что аккреционные и коллизионные процессы, формирующие орогенные пояса, сопровождаются дезинтеграцией и совмещением в единой структуре фрагментов разнородных и разнотипных структурных элементов [5].

*Геоморфологические критерии* основаны на пространственной связи месторождений полезных ископаемых с древними и современными формами рельефа.

К ним относятся положительные и отрицательные формы рельефа, возникающие вдоль рудоносных горизонтов и структур. Положительные формы рельефа образуются в том случае, когда рудные тела и минерализованные окружающие породы обладают относительно высокой устойчивостью к выветриванию по сравнению с окружающей геологической средой. Они свойственны выходам рудоносных пегматитовых и кварцевых жил, минерализованным метасоматическим кварцитам, окварцованным породам, минерализованным дайкам, интрузивным телам, подверженных окварцеванию. Такие геоморфологические формы отчетливо проявляются в степных и пустынных районах Алтая, Тывы, Казахстана, Средней Азии.

Отрицательные формы рельефа – ложбины, впадины, воронки, ямы характерны для скрытых рудоносных структур, расположенных в зонах минерализованных разломов, повышенной трещиноватости пород, контактов разнородных толщ или рудных месторождений, залегающих среди устойчивых к выветриванию горных пород. Они связаны с процессами перераспределения минерального вещества при выветривании первичных руд и минерализованных пород при формировании зон окисления сульфидных месторождений. Подобные явления возникают с образованием рудоносного карста в известняках, где формируются марганцевые руды и бокситы, а также продуктивные силикатно-никелевые коры выветривания по ультрабазитам [12].

Геоморфологический анализ используется также при поисках и прогнозировании древних россыпей и остаточных месторождений кор выветривания.

*Формационные критерии* характеризуют генетические обстановки формирования рудовмещающих и рудых комплексов. По определению Ю.А. Кузнецова под геологической формацией (осадочной, магматической, метаморфической) понимаются естественные сообщества пород, возникающие в определённой геологической обстановке и отвечающие отдельным этапам развития того или иного участка земной коры [22].

Формационные критерии указывают на возможность обнаружения месторождений, которые обычно связаны с крупными геологическими телами, которые характеризуются определенным сочетанием и составом горных пород, строением, связью с тектоническими структурами.

*Рудная формация* принимается в качестве основной классификационной единицы при мелко-среднемасштабном прогнозировании.

Под рудной формацией, согласно Российскому металлогеническому словарю, принимается характерный тип рудной минерализации, выделяемой по минеральному составу и близким геологическим условиям залегания (по Смирнову С.С., Кузнецову Ю.А. и др.) [31].

Выделение перспективных площадей по геологической ситуации основано на приуроченности определенных рудно-формационных типов месторождений к определенным геологическим обстановкам.

Формационные факторы предполагают наличие тесных связей полезных ископаемых с определенными геологическими формациями или их составными частями (ассоциациями пород). Типовыми примерами являются устойчивые взаимосвязи медноколчеданных и полиметаллических месторождений со спилит-базальтовой и риолит-базальтовой (спилит-кератофировой) формациями эвгеосинклиналей, редкометалльных месторождений – с орогенной формацией слюдяных гранитов батолитового типа, сульфидных медно-никелевых руд – с габбро-норитовой и трапповой формациями платформ и т.д.

Закономерное сочетание определенных типов месторождений с конкретными формациями определяется единством процессов магматизма и рудообразования.

Не менее тесные взаимосвязи полезных ископаемых с определенными формациями свойственны классу экзогенных месторождений. Осадочные руды железа, марганца, бокситов, фосфоритов, каменной соли, углей, никеленосных кор выветривания, россыпей формировались одновременно с экзогенными геологическими формациями определенного типа.

Формационные критерии характерны для всех типов рудоносных структурно-формационных комплексов и определяют специфику оруденения.

*Палеотектонические критерии* определяют пространственное положение синдиагенетического оруденения в осадочных бассейнах литолого-фациальных зон, благоприятных для аккумуляции рудных компонентов в ходе седиментогенеза.

Для эпигенетического оруденения палеотектонические структуры контролируют зоны разгрузки рудоносных рассолов и вод палеоартезианских систем и положение окислительно-восстановительных барьеров.

*Палеогеографические критерии* тесно связаны с формационным и палеотектоническим критериями. Сущность палеогеографического критерия определяется связью оруденения с определенными типами обстановок осадконакопления в бассейнах седиментации - маринными, субмаринными, субаэральными, прибрежно-морскими, лагунно-дельтовыми, застойных котловин и т.п.

*Палеоклиматические* *критерии* имеет определенное значение для оруденения, формирующегося преимущественно в субаэральных бассейнах и обнаруживающего связь с климатическими поясами.

*Гидрогеологические критерии* определяет гидрохимические и гидродинамические особенности артезианских бассейнов, области питания и разгрузки и играет важную роль в локализации эпигенетического оруденения.

*Петрохимический и геохимический критерии* основываются на том, что породы рудоносных формаций отличаются своеобразным составом и геохимическими особенностями.

Установлено, например, что породы некоторых меденосных формаций отличаются повышенной калиевостью, золото-сурьмяная минерализация локализуется в породах с повышенными содержанием глинозема и т.п. Породы, слагающие рудоносные линзы, отличаются от безрудных аналогов большим геохимическим своеобразием. Это связано как с первичной син-диагенетической спецификой их образования, так и с наложением постседиментационных рудообразующих процессов. При этом происходит трансформация первичной осадочной геохимической структуры пород. Обычно это приводит к обособлению профилирующих для данного геологического структурного комплекса рудных элементов. Так, пестроцветные породы, контролирующие медное оруденение, характеризуются четко обособленной ассоциацией - медь, свинец, цинк, серебро в породах, контролирующих золото-сурьмяное оруденение, присутствуют сурьма, золото, мышьяк, медь, кобальт.

*Метаморфический критерий* разработан применительно дислоцированным (трансформированным) комплексам, например, с вольфрам-сурьмяно-золотым оруденением. Он основывается на установленном факте преимущественной локализации такого оруденения в пределах низкотемпературных хлорит-серицит-карбонатной или серицит-хлоритоидной зон регионального зонального метаморфизма.

*Гидротермально-метасоматические критерии.* В качестве прогнозного критерия используются ореолы околорудно-измененных пород, сопровождающих эпигенетическое оруденение. В меденосных красноцветных терригенных формациях наиболее показательны в этом отношении осветленные породы с вторичной эпигенетической серой и зеленовато-серой окраской. В карбонатно-терригенных и карбонатных цинково-свинцовоносных формациях широко проявлены доломитизация и окремнение, ртутная минерализация в терригенных породах сопровождается интенсивной аргиллизацией. Основной признак уранового оруденения - зоны пластового окисления и т.д.

Для критериев прогноза алмазов, помимо *геофизических*, широко используются *минералогические критерии*, как наиболее надежные. При концентрации ореолов рассеяния алмазов и минералов-спутников в древних промежуточных коллекторах с целью выяснения направления, дальности переноса и условий транспортировки кимберлитового материала производятся палеогеографические реконструкции.

* 1. **Поисковые минерагенические признаки**

Поисковыми признаками рудоносности считаются факторы, прямо или косвенно указывающие на присутствие полезного ископаемого в пределах изучаемого объема недр. К ним относятся геологические, минералогические, геохимические, геофизические, геоботанические, геоморфологические, историко-геологические и иные факты, прямо или косвенно указывающие на наличие или на возможность выявления полезных ископаемых. Условно поисковые признаки делятся на прямые и косвенные.

***Прямые признаки*** непосредственно указывают на наличие оруденения – выходы полезных ископаемых, ореолы рассеяния, наличие рудных минералов в горных породах, шлиховые, шлихо-геохимические, геохимические ореолы рудных минералов и элементов, являющихся основными компонентами полезного ископаемого прогнозируемого типа, отвалы древних выработок, шлаки с вкраплениями полезного ископаемого и др.

***Косвенные признаки***свидетельствуют о происходивших процессах рудообразования или о возможном присутствии полезных ископаемых – измененные околорудные породы, наличие во вмещающих породах жильных минералов, характерных для полезного ископаемого прогнозируемого типа, геофизические аномалии, интерпретируемые как аномалии рудной природы, геохимические аномалии элементов спутников прогнозируемого сырья, данные дистанционного зондирования, специфические локальные формы рельефа и др.

Изменённые околорудные породы различаются по типу формирующихся измененных пород, наличие которых свидетельствует о процессах рудообразования, хотя они и не всегда сопровождаются оруденением. Наиболее важными для поисков являются гидротермально и метаморфически измененные околорудные породы – магнезиальные и известковые скарны, грейзены, альбититы, калишпатиты, березиты-листвениты, гумбеиты, пропилиты, эйситы, аргиллизиты. Преобразование пород обычно предшествует рудоотложению, а иногда и совмещается с ним.

Минералы и элементы-спутники оруденения используются в качестве косвенных признаков потенциальной рудоносности структур. Индикаторную роль могут играть: минералы-спутники, индикаторные минеральные ассоциации, отдельные типоморфные черты минералов, количественные показатели минералов-индикаторов по мере приближения к рудным телам, соотношения минералов и элементов-спутников в рудах.

При проведении региональных геохимических работ по потокам рассеяния прогноз рудных полей и узлов осуществляется по совокупности традиционно используемых концентрационных и разработанных в последнее время структурных *геохимических признаков*. Структурные признаки включают:

а) Степень упорядоченности структур АГХП[[1]](#footnote-1). Продуктивные АГХП халькофильной, золотой и серебряной специализаций характеризуются объемно зональным строением. Зональность проявляется в закономерной позиции ореолов привноса и выноса центростремительных (элементов рудного комплекса) и центробежных (преимущественно сидерофильных) элементов [33]. От центра к периферии выделяются следующие зоны (рис. 1):

- ядерная зона - область концентрации центростремительных и деконцентрации центробежных элементов;

- зона обмена, характеризующаяся диаметрально противоположным спектром;

-фланговая зона концентрации - область повышенных содержаний центростремительных элементов при субфоновых центробежных.

Состав центростремительных элементов отражает металлогеническую специализацию (благородные металлы, халько-, литофильные элементы) соответствующих рудогенных систем. Спектр центробежных элементов вне зависимости от ранга АГХП универса





Рис.1 Строение аномального геохимического поля ранга РУ Валунистое (Чукотка)

лен (Cr, Ni, V, Mn, Ti, Co Zn, Ba), что предопределяет возможность широкого использования установленной закономерности в прогнозных целях.

б) Иерархическое строение аномальных геохимических систем (АГХС[[2]](#footnote-2)). Проявляется в закономерной последовательной локализации младших членов системы в пределах АГХП старшего ранга.

в) Иерархическая структура концентраций центростремительных элементов (главных элементов рудного комплекса). Поэтапное концентрирование элементов в процессе развития многоуровневой системы проявляется в квантовании содержаний, т.е. в наличии фиксированных их интервалов на каждом уровне организации АГХС. Масштаб и уровень концентрации рудных элементов на конечных этапах развития РС определяют промышленную значимость объекта. При прогнозе по данным съемки масштаба 1:200 000 потенциально золоторудных полей – это относительно контрастные ореолы золота и элементов-спутников, оконтуренные по 2-3 градациям; потенциально золоторудных узлов – мозаичные ореолы, оконтуренные по 1 градации.

г) Позиция младших членов в АГХП старших рангов. Продуктивные АГХП младших рангов локализуются в основном в приграничных областях ядерной зоны и зоны обмена (чаще в контурах последней) АГХП старших рангов.

Концентрационные признаки включают:

а) Полиэлементный состав комплексных аномалий ранга РП, РМ в котором проявлена ассоциация элементов–индикаторов соответствующего типа оруденения. По результатам анализа химического состава АГХП, с последующим сравнением геохимических спектров гипергенных аномалий с составом известных типовых объектов конкретных формационных типов, оценивается формационная принадлежность прогнозируемого по геохимическим данным оруденения. При этом рудные объекты разной формационной принадлежности различаются по наборам и порядкам расположения элементов в ранжированных рядах кларков концентраций, а также по величинам и отношениям коэффициентов концентрации элементов.

б) Прогнозные ресурсы металла, полученные с применением усовершенствованной методики [33, 34, 2], опирающейся на теоретически обоснованную и практически широко апробированную систему выбора параметров и характеристик аномалий и прогнозируемого оруденения, являются главным геохимическим критерием выделения перспективных аномалий и очередности их изучения (заверки).

*Геофизические аномалии* являются поисковыми признаками месторождений, хотя далеко не все они бывают вызваны присутствием залежей полезных ископаемых. На стадии региональных работ, в зависимости от выполняемых видов работ, они могут являться:

- гравитационными аномалиями – зафиксированные в гравитационном поле участки с отклонениями значения ускорения силы тяжести от нормальных, обусловлены неоднородностью строения земной коры. Положительные аномалии бывают вызваны наличием относительно крупных масс пород с высокими плотностными характеристиками. Такие аномалии часто фиксируются над залежами железных руд, хромитов, сульфидов и других рудных тел;

- магнитными аномалиями – изменения напряженности магнитного поля, вызванные присутствием неодинаковых по магнитным свойствам пород., характеризуются повышенными, сравнительно с вмещающими породами, содержаниями магнитных минералов, вызывают положительные магнитные аномалии, интенсивность которых зависит от типа руд и их объема;

- электрическими аномалиями – обусловленные отклонением электромагнитного поля от его нормального значения. Руды многих месторождений по сравнению с вмещающими породами характеризуются повышенной электропроводностью, более низкими показателями электрического сопротивления. В зависимости от вида работ они могут являться аномалиями кажущегося удельного электрического сопротивления, аномалиями естественного электрического поля, аномалиями вызванной поляризации и др.;

- радиоактивными аномалиями – вызванные присутствием повышенных концентраций радиоактивных элементов в рудах, и являющиеся поисковым признаком для обнаружения месторождений радиоактивного сырья.

Интенсивные и контрастные магнитные и радиоактивные аномалии могут непосредственно указывать на наличие рудных скоплений и тогда относятся к прямым поисковым признакам.

Другие типы геофизических аномалий – сейсмические, гравитационные, электрические, магнитные низкой и средней интенсивности должны рассматриваться как косвенные признаки оруденения. Они позволяют выявлять рудоносные разломы, скрытые рудоносные интрузивы, рудолокализующие контакты пород, крупные скопления в них железных, хромитовых, сульфидных руд (гравитационные, электрические и магнитные аномалии) и нефтегазоносные структуры (сейсмические аномалии). Неоднородные электрические поля и аномалии отражают контакты пород, тектонические зоны, водоносные горизонты, угольные пласты, зоны сульфидной минерализации, включающие и промышленные залежи руд. Наиболее эффективными оказываются результаты комплексной интерпретации геофизических данных [12].

Данные дистанционного зондирования Земли способствуют установлению основных закономерностей в расположении главных минерагенических зон и их корреляцию с геологическими структурами, выявлению практически всего комплекса геолого-тектонических элементов, являющихся объектами изучения при геологической съемке: площадные и стратифицированные и нестратифицированные объекты, прослеживание границ пластов и маркирующих горизонтов, даек, разрывных нарушений, выделение тектонических блоков и т.д.

* 1. **Рекомендации по методике комплексной прогнозной оценки перспективных участков недр на твердые полезные ископаемые**

Комплексная оценка перспективных участков недр на оруденение осуществляется путем сочетания прогнозных исследований при соответствующих региональных геолого-геофизических и геологосъемочных работах мелкого и среднего масштабов (1:1 000 000-1:200 000). Прогнозирование производится на основе обобщения результатов всех ранее проведенных съемок масштаба 1:200 000 и крупнее с использованием геофизических, геохимических, аэрокосмических и других данных [31].

К числу главных прогнозных элементов-признаков относятся рудно-формационные, структурно-тектонические, геофизические, геохимические, обосновывающие возможность выявления месторождений полезных ископаемых определенного рудно-формационного и геолого-промышленного типов, а также прямые признаки, указывающие на присутствие полезного ископаемого в коренных породах, делювиальных и аллювиальных отложениях, шлиховых ореолах и других средах.

Данные для оконтуривания перспективных площадей получают при геологическом, космоаэрогеологическом, геофизическом и геохимическом картировании проявленности прогнозных критериев и признаков. Представления о распространении полезного ископаемого по простиранию и на глубину могут базироваться как на данных геофизических и геохимических методов исследований или единичных горных выработок, так и на аналогии с эталонным объектом.

*Мелкомасштабное прогнозирование.* Основой выделения и обоснования прогнозных ресурсов на твёрдые полезные ископаемые по результатам мелкомасштабных геолого-геофизических и геологосъёмочных работ являются поисковые критерии и признаки на оруденение изучаемых площадей.

При прогнозировании минерагенических зон и рудных районов главную роль играют тектонические, стратиграфические, формационные, рудно-формационные, литолого-фациальные, магматические, некоторые геофизические критерии и признаки.

Минерагенический анализ при составлении геологических карт масштаба 1:1 000 000 нового поколения направлен на решение следующих основных задач [36]:

* определение минерагенической специализации геологических подразделений и их связи с рудообразованием;
* выявление эпох рудообразования;
* минерагеническое районирование;
* определение перспективных площадей, направления и очередности ГРР.

Для слабо изученных в минерагеническом отношении (недостаточная информация для прогнозирования по категории Р3) регионов или при установлении новых признаков рудоносности в отношении дефицитных видов сырья по формационным критериям рекомендуется определять минерагенический потенциал (МП) крупных таксонов (минерагенических зон и областей) [21].

*Среднемасштабное прогнозирование.* К основным задачам выделения и обоснования перспективных участков недр на твёрдые полезные ископаемые по результатам геолого-геофизических и геологосъёмочных работ масштаба 1: 200 000 следует отнести:

* изучение прогнозно-поисковых критериев и поисковых признаков, характерных для рудных объектов прогнозируемого типа;
* выявление, оценка их рудоконтролирующей роли, прослеживание их на поверхности и на глубине по результатам геологических наблюдений, геофизических, геохимических, дистанционных методов;
* выявление и обоснование перспективных рудных объектов (потенциальных рудных районов и рудных узлов);
* качественная и количественная оценка прогнозных ресурсов выделенных объектов;
* изучение (или уточнение) закономерностей размещения рудных объектов прогнозируемого типа.

При выделении и обосновании перспективных участков недр анализируются рудоконтролирующие факторы – стратиграфические, литолого-фациальные, структурные, магматические, рудно-формационные, геоморфологические критерии. Учитываются данные формационного анализа геологических образований региона и эрозионный срез рудоносных структур. При прогнозировании рудных узлов основное значение приобретает минералого-геохимические, минералогические, геолого-структурные и многие геофизические предпосылки и признаки [20].

Формационные рудоконтролирующие факторы определяются по результатам формационного анализа осадочных, магматических, метаморфических образований, их структурно-вещественным особенностям и по типу связи с объектами полезных ископаемых (рудоконтролирующие геологические формации). Рудоконтролирующие формации разделяются на: 1) *рудовмещающие*, являющиеся благоприятной средой для рудоотложения; 2) *рудоносные материнские*, служащие основным источником рудного вещества в рудном процессе; 3) *рудоносные продуктивные*, содержащие в качестве составной части сингенетические (осадочные, магматические и др.) полезные ископаемые; 4) *рудогенерирующие* (рудообразующие)*,* играющие роль источника рудного вещества, энергии и отчасти рудотранспортирующих агентов в процессе рудообразования. Формационные металлотекты являются обычно синтезом стратиграфических, литолого-фациальных, магматических, метаморфо­метасоматических факторов [20].

Условиями эффективного решения всех этих задач является применение и использование:

* комплексности качественной и количественной интерпретации геологических, геофизических, геохимических и дистанционных материалов при картографировании минерагенических факторов и поисковых признаков, изучении закономерностей размещения объектов прогнозирования;
* прогнозно-поисковых моделей объектов полезных ископаемых.

Главными технологическими операциями прогнозно-минерагенических исследований являются выявление зональности (рудной, геохимической, гидротермально-метасоматической), связей между минерагеническими факторами, поисковыми признаками и параметрами геофизических и геохимических полей.

1. **Количественная оценка прогнозных ресурсов категории Р3  металлических и неметаллических полезных ископаемых**

Объектом оценки прогнозных ресурсов категории Р3 является площадь, имеющая геологические границы и совпадающая с минерагеническим таксоном ранга рудного района, зоны, узла или его частью, перспективная на выявление месторождений известного в российской или мировой МСБ геолого-промышленного или рудно-формационного типа.

Разнообразие методов оценки прогнозных ресурсов предопределяется следующими обстоятельствами:

* принципиальной возможностью решения одной и той же задачи различными путями;
* отличием объектов оценки по иерархическому уровню (минерагенические зоны, рудные районы и рудные узлы);
* многообразием геологических обстановок проявления оруденения (щиты, платформы, складчатые области и т. п.); его структурно-морфологических (жильные, штокверковые, пластообразные, гнездообразные и т. д.), генетических (осадочные, плутоногенные. вулканогенные, метаморфогенные, кор выветривания) и других особенностей.
* различной исходной информацией (геологическая, геохимическая, геофизическая, аэрокосмическая, экономическая и т. д.);
* состоянием изученности;
* другими причинами объективного и субъективного характера.

Определяющими критериями при выборе методов оценки прогнозных ресурсов являются масштаб исследований, ранг объекта оценки (рудоносная площадь того или иного иерархического уровня, геохимическая или геофизическая аномалия подтвержденной рудоносной природы).

**2.1. Метод аналогии**

Наиболее часто применяемым, простым и доступным широкому кругу геологов является метод геологической аналогии. *Главным условием его использования является сопоставление минерагенических объектов (оцениваемого и эталонного) одинакового пространственно-иерархического ранга.*

Количественная оценка прогнозных ресурсов категории Р3 методом аналогии реализуется, как правило, в варианте определения удельной площадной (реже объемной) продуктивности рудоперспективных территорий по отношению к эталонному объекту. В этом случае количество прогнозных ресурсов находится в прямой зависимости от размера площади и глубины распространения ожидаемого оруденения, от удельной продуктивности эталонного объекта и степени сходимости оцениваемого и эталонного объектов, которая учитывается поправочным (понижающим) коэффициентом.

Технология количественной оценки прогнозных ресурсов категории Р3 методом аналогии включает [27]:

- выбор эталонного объекта с установленными геологическими границами, известным геолого-промышленным типом месторождения, запасами полезного ископаемого, включая погашенные (при наличии уникального месторождения его масштаб принимается в количестве, соответствующем рядовому месторождению);

- определение площади (объема) эталонного объекта;

- вычисление площадной (объемной) удельной продуктивности объекта-эталона;

- определение площади прогнозируемого объекта;

- распространение площадной (объемной) удельной продуктивности объекта-эталона на площадь прогнозируемого объекта оценки;

- введение поправочного (понижающего) коэффициента подобия.

Площадная удельная продуктивность объекта-эталона (g) рассчитывается через сумму запасов полезного ископаемого, включая погашенные, в единицах массы (M1) со-ответствующего полезного ископаемого, и площадь эталонного объекта (S1, км2) по формуле: g = M1/S1.

Площадь эталонного объекта (S1) должна быть сопоставима с площадью оцениваемого объекта, одинакового минерагенического ранга.

Прогнозные ресурсы нового объекта (М2) определяются через значение его площади (S2) и удельной продуктивности эталона по формуле:

М2 = К\*·g∙\*S2

К – коэффициент подобия, варьирующий от 0,1 до 1,0, устанавливается экспертно исходя из идентичности геологических параметров и признаков объекта оценки и эталона; обычно принимается на уровне 0,5.

Объемная продуктивность рассчитывается через удельную продуктивность единицы площади эталона на 1 м глубины его оценки (Пуд.) по формуле:

Пуд. = Рэт./(Sэт.\*Нэт.), где:

Рэт. – сумма запасов, включая погашенные, в единицах массы соответствующего вида полезного ископаемого.

Sэт. – площадь эталона, км2;

Нэт. – глубина геометризации запасов эталона, м.

Количество прогнозных ресурсов категории Р3 нового объекта определяется по формуле:

Р3 = S2\*Пуд.\*·Н\* ∙К, где:

S2 – площадь объекта оценки прогнозных ресурсов, км2; Н – глубина оценки прогнозных ресурсов, принимаемая исходя из доступной для отработки глубины прогнозируемого оруденения, м.

Площадь (или объем) эталонных и оцениваемых территорий принимается на данном уровне обобщения однородной, одинаково характеризующейся в любой точке данной удельной рудоносностью. Необходимые для расчетов по методу аналогии значения удельной рудоносности (табл. 1,2) получают исходя из геометрических параметров и параметров рудоносности эталонных объектов. Надежность получаемых оценок во многом определяется статистически выявленным диапазоном колебаний значений удельной рудоносности. Закон распределения оценок прогнозных ресурсов будет подобен закону распределения значений удельной рудоносности. Для расчета наиболее вероятной оценки прогнозных ресурсов очевидно следует пользоваться и наиболее вероятным значением удельной рудоносности.

Таблица 1

Значение удельной продуктивности (g, тонн/км2) рудных узлов для некоторых рудных формаций в типовых геологических обстановках (ЦНИГРИ, ВСЕГЕИ и др., 1986)

| Рудные формации (в скобках металл, для  которого рассчитана g) | Пределы колебаний значений g | Наиболее вероятные значения g (в скобках указаны  вероятности) |
| --- | --- | --- |
| Железорудная кремнисто-гематитовая (Fe) | 1 \*104 – 1 \* 106 | n\*104 (0,6) |
| Железорудная оолитовая (Fe) | 1×105 – 1×105 (0,8) | (1-5) ×105 (0,8) |
| Титанистых магнетитов (Fe) | 3×105 – 9×105 | n×105 (1) |
| Апатит-редкометалльно-железорудная карбонатитовая (Fe) | 3×104 - 1×105 | n×104 (0,7) |
| Железорудная скарновая (Fe) | 3×103 - 3×105 | n×104 (0,6) |
| Железорудная магнезио-ферритовая скарновая (Fe) | 4×104 – 6×104 | (4-6) ×104 (1) |
| Апатит-титан-железорудная (Fe) | 5×104 - 8×104 | (5-8) ×104 (1) |
| Железорудная кварцитовая, магнетит-гематитовый тип (Fe) | 2× 105 - 5×105 | (2-5) ×105 (1) |
| Кор выветривания, мартитовый тип (Fe) | n×104 - n×105 | n×104 - (1-2) ×105 |
| Кор выветривания, тип бурых железняков (Fe) | n×103 - n×104 | n×102 – n ×104 |
| Хромитовая с платиноидами (Cr) | n×102-3 - n×104 | n×104 |
| Медно-цинковая колчеданная (Cu) | n×10- 880 | 100-200 (0,3) |
| Медно-цинковая колчеданная (Zn) | n×10 - 500 | n×10(0,8) |
| Медно-свинцово-цинковая колчеданная (Cu) | n×10 - 400 | 100-200 (0,5) |
| Медно-свинцово-цинковая колчеданная (Pb+Zn) | n×10 -1400 | 100-200 |
| Медистых песчаников (Cu) | n×10 -1500 | 300-600 (0,2) |
| Медно-цинковая черносланцевая (Cu) | 10-160 | 50-600 (0,3) |
| Сульфидная медно-никелевая (Ni) | n-1000 | n×10 (0,7) |
| Медно-молибденовая порфировая (Cu) | n×10 - 900 | 100-200 (0,4) |
| Медно-молибденовая порфировая (Mo) |  | 7-9 |
| Медно-свинцово- цинковая (Pb+Zn) | n×10 - 200 | n×10 (0,8) |
| Свинцово-цинковая карбонатная (Pb+Zn) | n×10 - 400 | 100-200 (0,6) |
| Железо-марганец-свинцово-цинковая (Pb+Zn) | 500 - 1200 | 500-800 (0,5) |
| Ртутная опалитовая (Hg) | n×0,01 -2 | n\*0,1 (0,8) |
| Ртутная лиственитовая (Hg) | n×0,01 -4 | 1-2 (0,5) |
| Ртутная аргиллизитовая карбонатная (Hg) | n×0,01 -6 | n×0,1 (0,6) |
| Ртутная аргиллизитовая терригенная (Hg) | n×0,01 -10 | n×0,1 (0,5) |
| Ртутная флюорит-сурьмяная джаспероидная (Hg) | n×0,1 -n | n |
| Ртутная флюорит-сурьмяная джаспероидная (Sb) | n×0,1 - n\*10 | n×10 (0,7) |
| Сурьмяная и вольфрамосурьмяная аргиллизитовая (Sb) | n×0,1 - n\*10 | n×0,1 (0,7) |
| Золото-сурьмяная березитовая (Sb) | n×0,1 - n\*10 | n× (0,5) |
| Сурьмяная сульфосольно-полисульфидная беризитовая (Sb) | n×0,1 - n | n |
| Никелевая силикатная (Ni) | n×- 100 | 50-60 (0,4) |
| Вольфрамовая редкометалльная грейзеновая (WO3) | n×0,1 - 20 | n× (0,6) |
| Вольфрамовая скарновая (WO3) | n×0,1 - 30 | n× (0,5) |
| Вольфрамовая гумбеитовая (WO3) |  | n× 10 |
| Касситеритовая силикатно-сульфидная (Sn) | 3-7 | n×(1) |
| Касситеритовая кварцевая (Sn) | 2-28 | n× (0,75) |
| Уран-редкоземельная терригенная палеодолин (U)[[3]](#footnote-3) | (1-5)×104 | (1-5)×104 (0,5) |
| Урановая терригенная наложенных впадин (U) | (1-3)×104 | (1-5)×104 (0,5) |

Таблица 2

Удельная продуктивность рудоносных площадей для различных геолого-промышленных типов коренных месторождений золота в кг/км2 (ЦНИГРИ, 2002)

| Геолого-промышленные типы месторождений | Минерагенические зоны | Рудные районы | Рудные узлы | Рудные поля |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| В вулкано-плутонических поясах и областях ТМА | 5-10 | 50-120 | 200-800 |  |
| Жилы |  |  |  | 1000-5000 |
| Жильные и минерализованные зоны |  |  |  | 5000-15000 |
| Штокверки |  |  |  | 15000-30000 |
| В терригенных комплексах миогеосинклиналей | 8-12 | 50-200 | 200-800 |  |
| Жилы |  |  |  | 1000-5000 |
| Жильные и минерализованные зоны |  |  |  | 10000-30000 |
| Штокверки |  |  |  | 30000-80000 |
| В вулканогенно-кремнистых комплексах эвгеосинклиналей | 10-15 | 50-200 | 500-1000 |  |
| Жилы |  |  |  | 4000-8000 |
| Жильные и минерализованные зоны |  |  |  | 2000-3000 |
| Штокверки |  |  |  | 4000-6000 |

Кроме коэффициента подобия, могут применяться и другие, отражающие специфику отдельных геолого-промышленных типов эталонных объектов, величины которых должны быть обоснованы.

Для метода аналогии могут использоваться также (статистические) геолого-промышленные модели месторождений. Вариации запасов полезных ископаемых в различных геолого-промышленных типах ограничиваются, как правило, собственными диапазонами, что позволяет скорректировать оценки, полученные через площадную (объемную) продуктивность объектов.

Прогнозные ресурсы получают положительную геолого-экономическую оценку при условии, если их масштабы и качество свидетельствуют о возможности открытия на прогнозной территории экономически значимого объекта, исходя из его вероятностных параметров и требований к тому, что месторождение не должно быть меньше по размеру и хуже по качеству среднего месторождения в ранговом ряду экономически значимых объектов соответствующего геолого-промышленного типа.

**2.2 Метод экспертных оценок**

В случае резкой «информационной недостаточности», при отсутствии эталонов, слабой изученности оцениваемого объекта, при прогнозе месторождений новых геолого-промышленных типов, уникальных объектов и т. п. применяются методы экспертных оценок. В то же время правильно организованная экспертная оценка может применяться практически во всех случаях оценки минерагенического потенциала (минерагенических ресурсов) и прогнозных ресурсов. Ее элементы, как и суждения по аналогии, в той или иной мере присутствуют при оценке любым методом. Часто производится экспертная «корректировка» прогнозных оценок, полученных другими методами.

Оценку прогнозных ресурсов или ее корректировку может производить один эксперт (простая экспертиза) или группа экспертов, то есть используются индивидуальный или коллективный опыт, интуиция и знание исследователей. В последнем случае полученные прогнозные оценки отражают коллективное мнение группы экспертов, превосходящее по надежности индивидуальное суждение.

Существует несколько методов экспертных оценок в зависимости от приемов организации опроса, подбора экспертов, последующей математико-статистической обработки результатов опроса (Бешелев, Гуревич, 1980). При геологическом прогнозе применяются главным образом два наиболее известных из них - Монте-Карло и Дельфи (Белонин, 1978; Бугаец, 1986), не считая упрощенных способов организации и обработки экспертных данных путем простого усреднения полученных оценок.

При применении любого метода экспертной оценки можно различать два подхода: экспертная оценка цели прогноза и экспертная оценка различных факторов, предопределяющих состояние цели прогноза. В последнем случае оценка прогнозных ресурсов производится по тем или иным формулам прямого расчета. Однако значения входящих в формулу параметров определяются по результатам экспертизы.

Сущность оценки прогнозных ресурсов по методу Монте-Карло заключается в следующем. Каждый эксперт указывает интервал две крайние оценки минерагенических или прогнозных ресурсов, в некоторых модификациях метода также и ряд других возможных оценок и их вероятности (так называемые субъективные вероятности). Получив достаточно много таких оценок и предположив на том или ином основании вид функции их распределения, рассчитывают как параметры последнего среднее арифметическое, модуль, дисперсию этих чисел. В качестве наиболее вероятной оценки прогнозных ресурсов принимается среднеарифметическое или модальное значение или указывается вероятностная кривая возможных оценок ресурсов.

Широко известен и другой метод экспертной оценки метод Дельфи, использующий усредненные данные ряда параллельных экспертиз. Для процедур сбора и обработки данных по методу Дельфи характерны анонимность, регулируемая обратная связь и групповой ответ (Бешелев, Гуревич, 1980). Анонимность достигается спецификой индивидуального опроса. Регулируемая обратная связь происходит за счет проведения нескольких туров опроса (до 4-5), обработки результатов статистическими методами и сообщения их экспертам. С помощью статистических приемов уменьшается разброс индивидуальных оценок и получается групповой ответ, в котором правильно отражено мнение каждого эксперта.

Метод Дельфи широко используется для долгосрочного прогнозирования в различных областях, причем существует множество его модификаций. Описание алгоритма работы по методу Дельфи приведено, в частности, в книге С.Д. Бешелева и Ф.Г. Гуревича (1980). В этой работе также всесторонне рассмотрены вопросы подготовки экспертиз.

Примеров сложно организованных и тщательных в методическом отношении экспертиз для оценки минерагенического потенциала (минерагенических ресурсов) и прогнозных ресурсов объектов различного ранга очень немного. Как уже отмечалось, методически простые приемы экспертных оценок прогнозных ресурсов, включая оценки, даваемые одним экспертом, распространены довольно широко и практически (во всяком случае, на стадии апробации и утверждения) всегда присутствуют при прогнозных оценках ресурсов минерального сырья любыми методами.

**2.3. Оценка прогнозных ресурсов по результатам литохимической съемки**

Разработанная во ВСЕГЕИ [33,34,2] методика прогноза при производстве геохимических работ по потокам и вторичным ореолам рассеяния предусматривает оценку прогнозных ресурсов по категории Р3  рудных объектов старших рангов (РР, РУ, РП) с учетом доли кондиционного металла, а также на основе теоретически обоснованной и практически широко апробированной системы выбора параметров и характеристик аномалий и прогнозируемого оруденения. Она базируется на результатах геохимической типизации месторождений различной формационной принадлежности; на установленных зависимостях доли концентрированных форм нахождения элементов (α – коэффициент балансовых руд) от площади аномальных геохимических полей (АГХП) и кларка содержаний элемента в земной коре, значений коэффициента соответствия вторичный ореол – первичный ореол (*k*) от сульфидности прогнозируемого оруденения и ландшафтных условий локализации аномалий; на результатах анализа и синтеза разрозненных данных о значениях коэффициента соответствия поток – вторичный ореол (*k*') при различных способах пробоподготовки. Составной частью методики являются способы отражения аномальных площадей в ореольном варианте (масштаб 1:200 000), геометризации разноранговых АГХП по признаку квантования содержаний рудных элементов, оценки суммарной рудоносности полиметальных прогнозируемых рудных объектов; адаптированные применительно к АГХП старших рангов методические подходы при определении вертикального размаха оруденения (*Н*) на основе принципа подобия.

Оценка прогнозных ресурсов предусматривает следующую последовательность операций [33,34]:

1. Оценка площадной продуктивности (Р) литохимических потоков рассеяния по следующей известной формуле:

Р = (‾С – СФ) х S,(1)

где‾*С* – среднеореольное содержание элемента; *СФ* – фоновое содержание; *S* – площадь ореола.

2. Расчет площадной продуктивности ореолов главных компонентов прогнозируемого оруденения на уровне рудного тела (РРТ) по следующей формуле:

РРТ,(2)

где α – доля балансовых руд, *k* – коэффициент соответствия ореольных продуктивностей вторичного остаточного и первичного литохимических ореолов, *kI* - коэффициент соответствия продуктивностей: при литохимической съемке по потокам рассеяния – потока рассеяния и вторичного ореола, при литохимической съемке по наложенным вторичным ореолам - сорбционно-солевого наложенного ореола и остаточного вторичного ореола (в том числе выявленного по результатам тиллевой съемки).

1) Определение доли балансовых руд (α) производится, исходя из установленной ранее [33, с. 85) функциональной зависимости этой величины от площади ореола (*S*) и кларка элемента в земной коре (К) по формулам, представленным в табл.3.

2) Значение коэффициента соответствия продуктивностей вторичного остаточного и первичного ореолов (*k*) определяется для данного рудного элемента в зависимости от типа оруденения, условий формирования и типа вторичного литохимического ореола исходя из статистических данных, накопленных в ходе предшествующих геохимических работ в сходных условиях. Среднестатистические значения коэффициента соответствия ореольных продуктивностей золота в зависимости от сульфидности прогнозируемого оруденения и ландшафтных условий локализации АГХП на Дальнем Востоке приведены в таблицах 4 и 5. При отсутствии данных коэффициент принимается равным единице.

Таблица 3

Зависимость значений доли балансовых руд от распространенности микроэлементов в земной коре (К) и площади (ранга) аномалий [33]

| Группа по распространенности | Интервал К (в г/т) | Химический элемент | Зависимость α – S  Средние значения α для АГП ранга РМ , РП, РУ, РР, РО |
| --- | --- | --- | --- |
| Средней распространенности | ≥ 170 | Ti, P, Ba, Sr, Zr, Mn | α = antln (-0,71 ln S – 0,50) (3)  0,28; 0,054; 0,011; 0,0021; 0,0004 |
| Малораспространенные | 10 – 110 | Ni, Co, Cr, V, Li, Pb, Cu, Zn, Th, Nb, Y, Ga, Ce La, Rb, B, Sc | α = antln (-0,65 ln S – 0,52) (4)  0,29; 0,065; 0,015; 0,0033; 0,0007 |
| Редкие | 1,0 – 4,0 | Be, Sn, W, Mo, Ta, Hf, Ge, U, As | α = antln (-0,60 ln S – 0,47) (5)  0,32; 0,081; 0,020; 0,0051; 0,0013 |
| Очень редкие | 0,05 – 0,5 | Sb, Cd, In, Hg, Se, Ag, Bi | α = antln (-0,58 ln S – 0,34) (6)  0,35; 0,099; 0,026; 0,0068; 0,0018 |
| Редчайшие | 0,0001 – 0,01 | Pd, Au, Pt, Re, Te, Ir, Os, Rh | α = antln (-0,52 ln S – 0,43) (7)  0,37; 0,11; 0,034; 0,010; 0,0031 |

Примечание. *S* в км2

Таблица 4

Зависимость значений коэффициента соответствия ореольных продуктивностей золота (k) от сульфидности прогнозируемого золотого оруденения (SS) и крутизны склонов в условиях Дальнего Востока [33]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Элементарные  ландшафты | Сульфидность золотого оруденения | | | Формулы зависимости  k – SS |
| Убогосульфидные | Малосульфидные | Умеренносульфидные, сульфидные |
| Крутых  склонов | 1,0 / 2,0 | 4,0 / 1,9 | 8,0 / 2,1 | k= antln (0,654 ln SS+ 1,842) (8) |
| Склонов средней крутизны | 0,5 / 1,5 | 2,0 / 1,7 | 4,0 / 1,8 | k= antln (0,654 ln SS+ 1,191) (9) |
| Пологих склонов | 0,15 / 1,8 | 0,8 / 1,8 | 2,0 / 1,9 | k= antln (0,929 ln SS+ 0,530) (10) |

Примечание. Перед чертой — k, за чертой — ε±1. SS – показатель сульфидности, численно равный сумме содержаний в рудах сульфидообразующих элементов: Pb, Zn, Cu, As, Sb, Bi, Co (в %).

Таблица 5

Зависимость значений коэффициента соответствия k от сульфидности прогнозируемого оруденения халькофильной специализации и крутизны склонов в условиях Дальнего Востока с использованием данных Г.И. Хорина [37]

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Элемент | Убого-, малосульфидные | | | Умеренносульфидные, сульфидные | | |
| Крутые склоны | Склоны средней крутизны | Пологие склоны | Крутые склоны | Склоны средней крутизны | Пологие склоны |
| Ag  Pb  Zn  Sn  As  Bi  W  Mn  Cu  Mo | 0.9/2.0  3.0/1.7  1.1/1.8  3.1/2.1  2.2/1.7  2.1/1.7  1.7/1.3  2.4/1.6  1.2/1.8  1.4/1.8 | 0.6/2.0  1.7/1.8  0.8/1.8  1.8/2.2  1.6/1.7  1.8/1.4  1.5/1.4  1.1/1.6  1.0/1.9  0.9/1.8 | 0.3 /2.1  0.7/1.8  0.4/2.1  1.3/2.1  1.0/1.8  1.1/1.8  0.9/1.6  0.9/1.8  0.8/1.8  0.6/1.9 | 3.0/1.9  3.5/1.8  1.5/2.1  4.2/2.1  3.3/1.7  3.1/1.7  2.9/1.6  3.2/1.7  1.4/1.7  1.6/1.2 | 1.5/1.9  2.0/1.7  0.9/2.0  2.1/2.1  1.9/1.7  1.9/1.7  1.8/1.4  1.7/1.6  1.1/1.8  0.9/1.4 | 0.6/2.2  1.3/1.9  0.5/2.1  1.5/2.1  1.2/1.7  1.2/1.8  1.1/1.7  1.0/1.7  0.9/1.8  0.8/1.4 |

Примечание. Перед чертой — k, за чертой — ε±1

3) Выбор значений коэффициента соответствия продуктивностей потока и вторичного ореола (*kI*) производится с использованием среднестатистических данных по опыту работ в сходных условиях (табл. 6). При поисках по сорбционно-солевым потокам рассеяния, формирующимся за счет физико-химической миграции элементов в районах с пологим рельефом и ослабленной механической денудацией, могут потребоваться специальные местные определения (по тем бассейнам водосбора, где имеются геохимически изученные рудные объекты).

Таблица 6

Средние значения коэффициента соответствия k′ в горно-таежных ландшафтах Дальнего Востока в зависимости от технологии пробоподготовки [33]

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Элемент | | As | Pb | Mn | Ti | Ag |
| Метод пробо-  подготов-ки | Мокрая ситовка, k′м | - | 0,57/1,1  4 |  | 1,7/1,5  2 | 1,48/1,5  5 |
| Стандарт-ный k′0 | 1,19/1,2  45 | 1,07/1,2  61 | 1,09/1,5  ? |  | 1,14/1,4  24 |
| k′0/ k′м | | - | 1,9 |  | - | 1,5 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| W | Zn | | Mo | P | Au | Bi | Li |
| 0,54/1,5  3 |  | | 0,68/1,3  3 | 1,3/1,8  2 | 1,05/1,7  4 | - | 1,8  1 |
| 0,82/1,2  64 | 1,78/1,3  37 | | 1,43/1,3  14 | 5  ? | 2,07/2,1  32 | 1,32/1,4  28 | - |
| 0,8 |  | | 2,1 | 3,8 | 2,0 | 1,0 | - |
|  | |
| Cu | Zr | | Be | La | Y | Yb | Sn |
| 0,62/1,4  5 |  | | 0,46  1 | 3,7  1 | 1,2  1 | 1,22  1 | - |
| 0,98/1,1  19 | - | | - | 5,0  ? | 2,0  ? | - | 1,92/1,9  48 |
| 1,6 | - | | - | 1,4 | 1,7 | - | - |

Примечание. При оценке средних значений k′ автором использованы первичные данные: по мокрой ситовке – В.В. Домчака, А. А. Васильева, по стандартному методу пробоподготовки – Г. И. Хорина, А. Д. Ананченко, В. П. Бородина, В. А. Кононова, А. А. Матвеева, А. П. Полквого и автора; в числителе перед чертой - k′, за чертой - ε+1, в знаменателе – количество определений.

3. Определение протяженности оруденения на глубину или площади выхода рудных объектов на поверхность осуществляется на основе принципа подобия [35]. В зависимости от наличия и полноты имеющейся информации об эталонных объектах и морфологии прогнозируемого оруденения такая оценка производится по четырем вариантам [33,34].

Вариант I – сведения о параметрах (Q – запасы, РртЭ – продуктивность АГХП ранга РТ, НЭ – протяженность на глубину) генетически родственного эталонного (известного) объекта отсутствуют. В этом случае в первом приближении определение протяженности на глубину контрольного объекта (НК) осуществляется с использованием приведенных в таблице 6 параметров РртЭ и НЭ (столбцы 7,8) среднего по запасам условного месторождения (С), характеризующегося среднестатистической протяженностью оруденения на глубину (НЭ) по следующим формулам:

 (11)

НК = χ НЭ, (12)

где χ - коэффициент подобия; Р - определяется по формуле (2).

В процессе оценки ресурсов АГХП на конкретных территориях эталонные параметры могут уточняться и дополняться с учетом генетических и морфологических особенностей прогнозируемого оруденения.

Вариант II – на исследуемой площади известно одно месторождение. В этом случае при оценке АГХП с прогнозируемой генетически близкой минерализацией используются установленная протяженность эталонного объекта (НЭ), а продуктивность АГХП ранга РТ () оценивается по следующей формуле:

, (13)

где Q – разведанные запасы известного объекта (т); НЭ – установленная на объекте протяженность оруденения на глубину (м); d – средневзвешенная объемная масса вмещающих пород (т/м3).

Далее оценка χ и НК проводится по формулам (3,4).

Вариант III применяется при наличии данных о группе известных месторождений конкретной специализации. Определение протяженности оруденения на глубину производится на основе статистически устойчивых зависимостей между РРТ и Н (рис. 2-5). В настоящее время такие зависимости установлены для золота, серебра и редкоземельных элементов (Соколов, 2004):

для Au Н= antln (0,625 ln PРТ + 4,967) (14)

для Ag Н= antln (0,774 ln PРТ +2,083) (15)

для TR Н= antln (0,400 ln PРТ +2,250) (16)

Вариант IV (рис. 6-8) применяется при прогнозе месторождений, характеризующихся разнообразной морфологией рудных тел с преобладанием изометричных форм рудных залежей (Ni, Ti, Mo и др.). В качестве исходного параметра рационально использовать не протяженность оруденения на глубину (НРТ), а площадь выхода на дневную поверхность рудного тела (S), которая определяется по следующей формуле:

, (17)

где РТ – среднерудное содержание по известным объектам: в среднем равно для Ni – 2%, для Ti – 20%, для Mo – 0,2% (табл. 6).

В дальнейшем эта величина используется при оценке прогнозных ресурсов аномальных геохимических полей (см. ниже).

4. Оценка прогнозных ресурсов металлов (в тоннах) аномальных геохимических полей (варианты I-III) осуществляется по следующей формуле:

 (18)

При прогнозе месторождений никеля, титана, молибдена (вариант IV) ресурсы оцениваются по следующим формулам:

для Ni Q= antln (1,139ln S – 5,536) (19)

для Ti Q= antln (0,763 ln S + 0,38) (20)

для Mo Q= antln (1,038 ln S + 4,68) (21)

5. Оценка комплексной рудоносности АГХП старших рангов (РП, РУ, РР) при региональных геохимических поисках производится по значению коэффициента суммарной рудоносности (КРД), представляющего собой сумму промышленно значимых ресурсов всех элементов, нормированных через минимально промышленные запасы (Qmin см. в табл. 7):

КРД=, (22)

где Qi и  - прогнозные ресурсы и минимально промышленные запасы i-го элемента; n - количество элементов (в т. ч. попутные компоненты) с промышленно значимыми прогнозными ресурсами, для которых Qi >.

|  |  |
| --- | --- |
| гр | гр |
| Рис. 2. Зависимость запасов и протяженности оруденения на глубину для золоторудных месторождений Дальнего Востока | Рис. 3. Зависимость продуктивности оруденения и протяженности на глубину золоторудных месторождений Дальнего Востока |
| Месторождения: 1 – Маломыр, 2 – Бамское, 3 – Глухое, 4 – Хаканджинское, 5 – Березитовое, 6 – Многовершинное (РТ верхнее), 7 – Дяппе, 8 – Буриндинское, 9 – Многовершинное (РТ Центральное), 10 – Аскольд, 11 – Колчеданный утес, 12 – Хаканджинское (РТ-3), 13 – Агние-Афанасьевское, 14 – Тумнинское, 15 – Многовершинное (РТ Тихое), 16 – Кварцитовое | |

|  |  |
| --- | --- |
| гр |  |
| Рис. 4. Зависимость продуктивности и протяженности оруденения на глубину некоторых серебряных месторождений мира.  Месторождения:1 –Потоси; 2 –Мильюачака; 3 −Брокен-Хилл; 4 −Хилтон-Майн; 5-6 – Гуана-Хуата: 5−жила Арана, 6 −гл. шахта; 7 –Теркеней. | Рис. 5. Зависимость продуктивности и протяженности оруденения на глубину редкоземельных проявлений Северного Приамурья. |

|  |  |
| --- | --- |
| гр7Ni | гр |
| Рис. 6. Зависимость запасов и площади выхода рудных тел на поверхность для месторождений никеля.  Месторождения: 1 − Каталахти (Финляндия), 2 − Ленк-Лейк (тело А), 3 − Каула (Печенга), 4 − Аллареченское (Печенга), 5 − Восток (Печенга). | Рис. 7. График зависимости запасов и площади выхода рудных тел на поверхность для месторождений молибдена.  Месторождения:1 − Жирекенское; 2 − Бугдаинское; 3 − Юред, 4 − Хайленд-Велли, 5 − Алис-Арм, 6 − Чукикамата, 7 − Эсперанса, 8 − Гендерсон, 9 − Бингем, 10 − Браден, 11 − Мятисвара, 12 − Квеста-I. |

|  |  |
| --- | --- |
| гр5Ti | Рис. 8. График зависимости запасов и площади выхода рудных тел на поверхность для месторождений титана  Месторождения: 1 − Чинейское (Читинская обл.); 2 − Кручининское (Читинская обл.); 3 − Телльнес (Норвегия); 4 − Стунганген (Норвегия); 5 − Отанмяки (Финляндия); 6 − Бол. Сэйим (Амурская обл.); 7 − Куранахское (Амурская обл.) |

Таблица 7

Параметры условного среднестатистического месторождения Mo, Cu, W, Bi, Sn, Pb, Zn, Li, Cr, Mn, Ti, V, Co, Ni, P, Be, Nb, Au, Ag, TR

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Элемент | 3 | 2 | 2 | 2 | 2  Qmin | Рэрт (м2%)  (для‾Qc) | Нэ (м)  (для‾Qc) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| W 1 | 0,3 – 2,5  1,0 | 0,8 – 8,0  2,5 | 8,0 – 80  25 | 80 – 800  250 | 0,8 | 1,3х103 | 600 |
| Мо | 0,06 – 0,5  0,2 | 1,0 –10  3,0 | 10 – 100  30 | 100-10000  300 | 1,0 | 4,0х103 | 300 |
| Sn | 0,4 – 1,5  0,5 | 0,5 – 5,0  2,0 | 5,0 – 50  15 | 50-500  150 | 0,5 | 2,0х103 | 300 |
| Bi | 0,1 – 1,0  0,2 | 0,2 – 1,0  0,5 | 1,0 – 10  3,0 | 10-100  30 | 0,2 | 4,0х102 | 300 |
| Cu | 0,2 – 6,0  0,8 | 10,0 – 100  30 | 100-1000  300 | 1000-10000  3000 | 10 | 4,0х104 | 300 |
| Li 1 | 0,2 – 0,7  0,4 | 10 – 25  15 | 25-150  60 | 150-600  300 | 10 | 8,0х103 | 300 |
| Nb | 0,3 – 1,0  0,6 | 7,0 – 35  15 | 35-210  90 | 210-1400  500 | 7,0 | 7,2х103 | 500 |
| Pb+Zn | 2,0 – 10  5,0 | 60 – 600  200 | 600-6000  2000 | 6000-60000  20000 | 60 | 1,6х105 | 500 |
| Be 1 | 0,02 – 1,0  0,3 | 0,2 – 1,0  0,5 | 1,0 – 5,0  2,5 | 5,0 – 20  10 | 0,2 | 5,6х102 | 180 |
| Ni | 0,1 – 3,0  0,8 – 2,0 | 20 – 60  40 | 60-200  100 | 200-600  400 | 20 | 2,2х104 | 180 |
| Co | 0,05 – 0,5  0,1 | 2,0 – 6,0  4,0 | 6,0 – 20  10 | 20 – 60  40 | 2,0 | 2,2х103 | 180 |
| Продолжение таблицы 5 | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Ti 1 | > 10 | 360-1800  600 | 1800-6000  4000 | 6000-30000  18000 | 360 | 1,9х106 | 300 |
| V 1 | 0,1 – 1,0  0,3 | 0,5 – 5,0  1,7 | 5,0 – 50  17 | 50 – 500  170 | 0,5 | 5,1х104 | 300 |
| Cr 1 | > 32 | 68-680  200 | 680-6800  2000 | 6800-68000  20000 | 68 | 3,5х105 | 230 |
| P 1 | 2,7-26  8,4 | 1000-5000  2200 | 5000-20000  8800 | 20000-110000  44000 | 1000 | 1,2х106 | 400 |
| Mn | 10–36  20,0 | 100-1000  300 | 1000-10000  3000 | 10000-100000  30000 | 100 | 5,7х105 | 210 |
| Au | 1-30  5,5 | 1-10  3 | 10-100  30 | 100-1000  300 | 1 | - | - |
| Ag | - | 30-300  100 | 300-3000  1000 | 3000-30000  10000 | 30 | - | - |
| TR | 0,05-15  1,0 | 10-100  30 | 100-1000  300 | 1000-10000  3000 | 10 | - | - |

Примечание. 1 - элементы, запасы которых традиционно приводятся в оксидной форме; в графах 3-6 они пересчитаны на элементную форму;

2 – Au, Ag в тоннах, остальные элементы в тыс. тонн;

3 – числитель – интервал рудных содержаний, знаменатель – среднерудное содержание (Au, Ag – в г/т, остальные – в %).

Qм, Qс, Qк – запасы, соответственно, мелких, средних и крупных месторождений; Qmin – минимально промышленные запасы.

6. Оценка категории рудоносности и очередности изучения АГХП ранга РП, РУ, РР производится по результатам определения значений суммарной рудоносности (табл. 8).

Таблица 8

Интервалы значений КРД по категориям рудоносности для АГХП ранга РП, РУ, РР

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Группа элементов | Категория рудоносности | Интервалы значений КРД по уровням организации вещества | | | Очередность изучения |
| РП | РУ | РР |
| Халько-, литофильная | Нерудоносные – слаборудоносные | < 6,0 | < 5,5 | – | – |
| Слаборудоносные | 6,0 – 18,4 | 5,5 – 19,6 | < 130 | III |
| Рудоносные | 18,4 – 40 | 19,7 – 85,0 | 130 – 310 | II |
| Весьма рудоносные | > 40 | > 85 | > 310 | I |
| Сидеро-фильная | Нерудоносные – слаборудоносные | < 2,8 | – | – | – |
| Слаборудоносные | 2,8 – 37 | < 87 | < 206 | III |
| Рудоносные | 38 – 182 | 87 – 469 | 206 – 855 | II |
| Весьма рудоносные | > 182 | > 469 | > 855 | I |

Примечание. При оценке ранга крупности прогнозируемого оруденения и, соответственно, очередности заверки аномалий использовались данные о градациях масштабов месторождений. Крупные и средние прогнозируемые объекты отнесены к первой очереди заверки, мелкие – ко второй, рудопроявления – к третьей.

Рассматриваемая методика прогноза и оценки ресурсного потенциала рудных районов – полей широко апробирована в Дальневосточном регионе как при непосредственном производстве литохимических съемок по потокам рассеяния–200, так и при систематизации или мелкомасштабном обобщении ретроспективных геохимических данных. Разработанная система выбора параметров и характеристик аномалий и прогнозируемого оруденения позволяет получать относительно несмещенные реальные оценки ресурсов при невысокой плотности геохимических наблюдений на региональных стадиях ГРР [33,34].

**2.4. Оценка прогнозных ресурсов по результатам геофизических исследований**

Для оценки минерагенического потенциала (минерагенических ресурсов) прогнозных ресурсов минерагенических зон и рудных районов при региональных исследованиях масштаба 1:200 000 и мельче с помощью геофизических данных рекомендуется использовать результаты гравитационных съемок средних и мелких масштабов и аэромагнитных съемок масштаба 1:200 000 и крупнее. Применение в этих целях глубинных сейсмических исследований ограничено из-за недостаточной информативности этого метода и чрезвычайно редкой сети сейсмических профилей. Для оценки ресурсов рудных районов полезно также использовать гравитационные и магнитные съемки масштабов 1:25 000–1:50 000, представленные в виде сводных карт масштаба 1:200 000 на всю площадь изучаемого рудного района и его обрамления.

Наибольшие возможности для решения всех задач количественного прогнозирования дают гравитационные данные. Это объясняется тем, что практически все месторождения твердых полезных ископаемых имеют устойчивые пространственные и, в ряде случаев, генетические связи с аномалиями силы тяжести. Гравитационные данные позволяют достаточно однозначно выделять рудоносные площади и глубинные рудоконтролирующие структуры разного ранга и оценивать их прогнозные ресурсы. Они также позволяют перейти от плоскостного прогнозирования к объемному в интервале глубин до 10–15 км. Именно в этом интервале концентрируются почти все месторождения твердых полезных ископаемых и важнейшие региональные рудоконтролирующие структуры земной коры. Результаты аэромагнитных съемок обычно дают дополнительную, но очень важную информацию о внутреннем строении выделенных рудоконтролирующих структур и формационной принадлежности прогнозируемого оруденения.

При региональной оценке минерагенического потенциала (минерагенических ресурсов) и прогнозных ресурсов категории Р3 результаты геофизических исследований используются, как известно, либо совместно с геологическими и геохимическими данными, либо геофизические исследования могут иметь самостоятельное значение. Круг полезных ископаемых, для которых геофизические данные могут использоваться самостоятельно, пока однозначно не определен. Однако, несомненно, что к ним следует отнести месторождения железа, олова, вольфрама, молибдена, алмазов, никеля, хромитов, угля, горючих сланцев и др. При использовании геофизических данных в комплексе с геологическими и геохимическими геофизические признаки обычно дают дополнительную информацию о рудоконтролирующих факторах, масштабе оруденения, либо непосредственно о рудных месторождениях, если они создают аномальный эффект (месторождения железа, хромитов, урана и др.). Полученная комплексная геологическая, геохимическая и геофизическая информация обычно анализируется геолого-статистическими методами, которые лежат в основе автоматизированных информационно-прогнозирующих систем. По сравнению с геологическими данными результаты геофизических исследований имеют определенные преимущества, а именно:

1) аномалии физических полей, как и запасы месторождений полезных ископаемых, объективно выражаются мерой и числом;

2) объемность и глубинность получаемой геофизической информации;

3) ее равномерность по всей территории;

4) однозначность в определении границ рудоносных площадей разного ранга.

Для количественного прогнозирования по геофизическим данным можно предложить следующие технологические схемы: 1) по рудоконтролирующим особенностям геофизических полей; 2) путем оценки локальных аномалий, связанных с рудными полями, месторождениями и телами («рудные» аномалии); 3) на основании изучения рудоконтролирующих элементов геологического строения площадей (минерагенических факторов); 4) на основании изучения глубинного строения прогнозируемых объектов (объемное прогнозирование).

В новых, слабо освоенных регионах, где промышленный интерес представляют крупные и средние месторождения, залегающие на небольшой глубине, количественное прогнозирование должно основываться на изучении рудоконтролирующих особенностей геофизических полей, «рудных» аномалий и минерагенических факторов. В горнорудных районах, где основным резервом расширения минерально-сырьевой базы являются месторождения, расположенные на значительных глубинах, геофизические данные рекомендуется использовать для прогнозирования путем изучения глубинного строения минерагенических зон и рудных районов (объемное прогнозирование).

Результаты геофизических работ по количественному прогнозированию отображаются: на структурно-геологических схемах (представляющих собой графическое изображение материалов геологической интерпретации геофизических данных); схемах глубинного строения территорий; картах закономерностей размещения полезных ископаемых.

1. Количественное прогнозирование по рудоконтролирующим особенностям геофизических полей целесообразно использовать на этапе подготовительных работ для предварительной оценки изучаемых объектов. В дальнейшем всю геофизическую информацию переводят на «геологический» язык, т. е. выделяют и оконтуривают как на поверхности, так и на глубине различные рудоконтролирующие факторы прогнозируемого оруденения и в комплексе с другими методами подсчитывают прогнозные ресурсы.

Рекомендуется следующая технологическая схема количественного прогнозирования по рудоконтролирующим особенностям геофизических полей: установление пространственных связей известных месторождений и рудопроявлений с различными особенностями наблюденных и трансформированных геофизических полей; оконтуривание потенциально рудоносных площадей, соответствующих минерагеническим зонам и рудным районам; выявление геофизических критериев масштабов прогнозируемого оруденения; подсчет прогнозных ресурсов по формулам типа (1) и др.

Для установления связи известных месторождений и рудопроявлений с различными особенностями наблюдаемых и трансформированных геофизических полей предварительно проводят районирование физических полей и выделяют геофизические области и зоны, различающиеся характером поля, его напряженностью, знаком, преобладающим простиранием аномалий и т. д. Такое районирование физических полей выполняют либо визуально, либо путем математической обработки, реализованной в виде различных программ.

Карты районирования физических полей сопоставляют с картами закономерностей размещения полезных ископаемых и запасами эталонных объектов и выясняют, к каким геофизическим аномалиям, областям, зонам или к их границам пространственно приурочены те или иные месторождения и рудопроявления полезных ископаемых и какие геофизические параметры косвенно связаны с масштабами проявления рудной минерализации. Для более объективной оценки таких связей полезно применять статистические методы анализа, основанные на разных схемах распознавания образов.

Установленные рудоконтролирующие особенности геофизических полей (наблюдаемых или трансформированных) используют для выделения потенциально рудоносных площадей, соответствующих рудным районам, минерагеническим зонам, угольным бассейнам, и для оценки их прогнозных ресурсов по геофизическим характеристикам масштабов проявления прогнозируемого оруденения. При этом учитывают также сведения по смежным регионам с однотипной геолого-тектонической обстановкой. Например, общеизвестная связь оловянных, вольфрамовых и молибденовых месторождений с интрузивами преимущественно кислого и умеренно-кислого состава реализуется в геофизических полях таким образом, что все указанные месторождения располагаются в контурах гравитационных минимумов, имеющих в плане примерно изометричную форму и размеры от 300–500 до 1 500–2 000 км2. Интенсивность таких минимумов колеблется от (4–8) до (15–20)·10–5 м/с2. Однако оказывается, что промышленная рудоносность приурочена только к ограниченному числу минимумов, отличающихся от безрудных по целому ряду признаков. Например, для Центрально-Казахстанской редкометалльной провинции установлены следующие признаки промышленной рудоносности гравитационных минимумов: 1) рудоносные минимумы обусловлены частично вскрытыми (площади выхода меньше 30 %) и слепыми массивами гранитов акчатауского комплекса; 2) площади рудоносных минимумов характеризуются сложными аномалиями магнитного поля: наряду с положительными значениями ∆T = 200–500 нтл над отдельными частями таких минимумов зафиксированы отрицательные или слабо положительные магнитные поля.

Для некоторых типов месторождений полезных ископаемых особенности геофизических полей, контролирующие масштабы оруденения, представляют собой сложные сочетания разных признаков - наблюдаемых и трансформированных гравитационных, магнитных и электрических аномалий. В этих случаях для выделения геофизических признаков рудоконтролирующих факторов и подсчета прогнозных ресурсов следует использовать статистические методы анализа, реализованные в виде автоматизированных информационно-прогнозирующих систем. Из геофизических признаков рудоконтролирующих факторов в такие системы рекомендуется закладывать следующие характеристики физических полей (Сердюков и др., 1982):

* относительный средний уровень поля;
* изменчивость уровня поля;
* относительная ориентированность поля в плане и характеристики вариации простирания поля;
* средняя относительная крутизна аномалий и изменчивость этого параметра;
* изменение уровня поля с высотой и скорость изменения уровня поля по вертикали.

Однако следует предостеречь от чрезмерного увеличения числа анализируемых признаков. Опыт показывает, что решающее влияние на локализацию оруденения и его масштабы оказывает один, два, максимум три признака. Так, Л. Т. Мишиным (1976) показано, что наиболее важными геофизическими признаками масштабов оловянного оруденения Дальнего Востока являются: 1) изменчивость магнитного поля; 2) одновременное наличие положительных локальных аномалий и ореолов рассеяния свинца и олова соизмеримых по размерам и концентрации; 3) области отрицательной корреляции аномальных значений магнитного поля и вызванной поляризации.

2. Количественное прогнозирование по локальным аномалиям, связанным с рудными полями, месторождениями и телами, выполняется обычно в масштабе 1:50 000 (см. ниже). При региональных исследованиях масштаба 1:200 000 и мельче определенный интерес могут представлять лишь крупные по размерам рудные поля, фиксирующиеся интенсивными геофизическими аномалиями (например, рудные поля штокверковых вольфрам-молибденовых месторождений). Однако прямые и однозначные связи между размерами и интенсивностью таких аномалий, обусловленных определенными структурами, образующими рудные поля, и запасами полезных ископаемых пока не установлены.

3. Количественное прогнозирование по рудоконтролирующим элементам геологического строения площадей имеет целью выявить по геофизическим данным геологические факторы, контролирующие масштабы прогнозируемого оруденения, а именно: отрицательные структуры, контролирующие угле- и сланценакопление, интрузивы разного состава, жилы и дайки, вулкано-тектонические и складчатые структуры, разломы, поверхности структурных несогласий, литологически разные толщи осадочных образований, зоны метаморфизма, измененных пород и повышенной трещиноватости, депрессии рельефа фундамента различного генезиса, погребенные долины и т. п. По сравнению с геологическими и геохимическими методами определения рудоконтролирующих факторов масштаба оруденения преимущество геофизических методов заключается в том, что они позволяют выделять невскрытые и перекрытые объекты и тем самым повышать глубинность прогнозно-минерагенических исследований.

Технологические схемы использования геофизических материалов при изучении интрузивов, даек и жил, вулкано-тектонических и складчатых структур, разломов и других геологических элементов подробно рассмотрены в литературе. Технологические операции, описанные в этих работах, одинаково применимы как к рудоносным, так и к безрудным объектам и не дают прямого ответа на вопрос, является ли интересующий нас объект рудоносным и каковы его прогнозные ресурсы. Чаще всего прогнозная оценка выявленных объектов производится геологическими и геохимическими методами, что, естественно, возможно лишь в тех случаях, когда изучаемые объекты доступны прямым геологическим и геохимическим наблюдениям. В противных случаях для решения прогнозных задач необходимо прибегать к геофизическим критериям оценки рудоносности объектов. К таким критериям относятся:

1) приуроченность объекта к региональным аномалиям физических полей, фиксирующим угленосные бассейны, минерагенические провинции и зоны;

2) характер физических полей, наблюдаемых над объектом;

3) физические параметры объекта;

4) положение контуров геофизических аномалий, наблюдаемых над объектом, относительно его геологических границ.

Особое место при оценке прогнозных ресурсов минерагенических объектов занимает задача выявления геологических ситуаций, благоприятных для локализации крупных и уникальных месторождений полезных ископаемых. Рудоносные площади, содержащие крупные и уникальные месторождения, также находят свое отражение в аномалиях физических полей. Обычно крупные и уникальные по запасам месторождения приурочены к тем участкам земной коры, сопоставимым по своим площадным размерам с размерами рудных районов, где наблюдаются рудоконтролирующие геофизические аномалии всех порядков (рангов), начиная от региональных (минерагеническая провинция) и кончая локальными (рудный район). Так, для крупных месторождений алмазов Сибирской платформы можно наметить следующие рудоконтролирующие гравитационные аномалии различного иерархического уровня (от региональных к локальным) (Духовский, 1984, 1986):

1) Анабарский региональный гравитационный максимум;

2) Вилюйская ветвь этого максимума с относительно пониженными уровнями поля ∆*g*;

3) линейные зоны потери корреляции северо-западных гравитационных аномалий и наличия аномалий северо-восточного простирания;

4) локальные изометричные в плане гравитационные минимумы.

Первая из названных аномалий соответствует Якутской алмазоносной провинции, вторая ‑Вилюйской области продуктивного кимберлитового магматизма, третья ‑ северо-восточным кимберлитоконтролирующим зонам, четвертая ‑ известным продуктивным кимберлитовым полям.

Геофизические данные позволяют также наметить тесные корреляционные связи между масштабами проявления оруденения, особенностями строения и состава верхних частей земной коры и рудоносных геологических образований. Например, существенно меньшие масштабы (суммарные запасы) грейзеновых редкометалльных месторождений Восточного Забайкалья по сравнению с месторождениями Центрального Казахстана коррелируются со следующими факторами (Духовский, 1980):

1) в Восточном Забайкалье отсутствует глубинная рудоконтролирующая структура земной коры первого порядка, фиксируемая по гравиметрическим данным;

2) минерагенические зоны Восточного Забайкалья имеют меньшие площадные размеры;

3) блоки фундамента минерагенических зон Восточного Забайкалья по сравнению с Центральным Казахстаном характеризуются более основным составом и меньшими вертикальными размерами;

4) массивы рудоносных гранитов Восточного Забайкалья, в отличие от массивов Центрального Казахстана, имеют однородное внутреннее строение, более основной состав и более высокую плотность;

5) объем внедрившихся масс гранитов в Восточном Забайкалье в несколько раз меньше, чем казахстанских.

4. Количественное прогнозирование на основании изучения глубинного строения прогнозируемых объектов (объемное прогнозирование) относится к новому и еще слабо разработанному виду прогнозно-минерагенических исследований. Тем не менее, выполненные, хотя и немногочисленные, исследования по объемному прогнозированию свидетельствуют о больших возможностях этого вида работ при прогнозной оценке невскрытых месторождений полезных ископаемых.

Рекомендуется следующая схема объемного прогнозирования:

1) составление объемной модели прогнозируемого объекта;

2) изучение закономерностей размещения месторождений и их запасов по отношению к особенностям формы и состава объемной модели;

3) оценка прогнозных ресурсов для модели в целом и для различных уровней глубинности.

Например, для редкометалльных рудных районов, в которых месторождения *Sn, W, Mo, Sn–W, W–Mo* ассоциируют с крупными (до 1 000–1 500 км2) массивами гранитов, установлены три основные модели: а) рудоносный гранитный массив имеет лакколитообразную форму с плоской кровлей, в его объеме преобладают граниты ранних фаз внедрения; б) рудоносный гранитный массив имеет гарполитообразную форму с выпуклой кровлей, осложненной многочисленными мелкими куполами; в объеме массива широко распространены породы поздних фаз, образующие крупные тела и слагающие его корневую систему; в) материнский гранитный массив имеет лакколитообразную форму, однородное внутреннее строение и сопровождается более поздними малыми рудоносными интрузиями гранитоидного состава, которые приурочены к его боковым экзоконтактовым частям и надинтрузивной зоне.

Для первой модели характерна убогая редкометалльная минерализация и промышленные содержания пьезооптического сырья в камерных пегматитах, для второй — промышленные месторождения и *Sn–W* и *Мо–W* групп грейзенового, скарнового и гюбнерит-сульфидного формационных типов, для третьей — промышленные касситерит-силикатно-сульфидные месторождения и убогая грейзеновая редкометалльная минерализация. Масштабы проявления редкометалльной минерализации определяются соотношением объемов гранитов ранних и поздних фаз внедрения. Наиболее продуктивны те рудоносные массивы, в объеме которых преобладают рудогенерирующие граниты поздних фаз внедрения.

Одним из существенных вопросов методики оценки прогнозных ресурсов является их надежность. Она определяется такими характеристиками методов и проведенных работ, как ошибки I и II родов.

Ошибка I рода обусловлена тем, что сходные аномалии могут порождаться различными причинами. При поисках сульфидных тел методами ЕП и ВП выделяются не только рудные тела, но и участки безрудной сульфидизации. При поисках магнетитовых месторождений методами магниторазведки похожими аномалиями выделяются основные и ультраосновные интрузии и другие тела, обогащенные магнетитом. Ошибки I рода могут быть весьма велики: так, при поисках магнетитовых месторождений в Алтае-Саянской области, по данным О.А. Совадского, ошибка I рода составила 0,87; при поисках касситерит-сульфидных месторождений в Приморье методом ЕП она составила 0,26. При неучете ошибки I рода (поправочными коэффициентами) оценка прогнозных ресурсов может быть значительно завышена. Ошибки II рода обусловлены двумя причинами: во-первых, объекты не всегда создают аномалии, выявляемые геофизическими методами или их комплексом, и, во-вторых, объекты могут быть пропущены из-за недостаточной плотности сети или недостаточной точности измерений. Ошибки II рода также могут быть весьма велики. Так, по данным А. С. Полякова, аномалиями ВП не отмечается до 48 % месторождений свинца и цинка в карбонатных породах, методом ЕП — до 70 % оловянных месторождений (в Приморье). Ошибки II рода занижают оценки прогнозных ресурсов.

Способы оценки надежности определения прогнозных ресурсов, учитывающие как геологические особенности объектов, так и ошибки геофизических методов, в настоящее время мало разработаны.

Одним из наиболее простых и достаточно надежных способов является использование формулы проверки гипотез Байеса, позволяющей синтезировать три таких важных показателя, как: вероятность наличия месторождения (рудного тела) на изучаемой площади (*P*) и величина ошибки первого (*P*2,1) и второго (*P*1,2) рода. В общем виде надежность оценки (*D*) определяется соотношением

.

При геофизических исследованиях, сопровождающих геолого-съемочные работы, более детальная прогнозная оценка производится на основании геологических и геофизических данных, и соответственно значительно увеличивается количество признаков аналогии, что естественно делает оценку более обоснованной. Еще более обоснованной прогнозная оценка будет, если потенциально рудоносное тело вскрыто единичными скважинами или горными выработками.

**2.5. Метод прямого расчета**

В некоторых случаях оценка прогнозных ресурсов рудных районов может быть получена прямыми расчетами по установленным или предполагаемым по аналогии с изученными районами параметрами. Конкретный пример подобного расчета приводится А. Я. Жидковым (1989) для типа агрохимического, глиноземного и другого сырья кальсилит-калишпатового (сынныритового) состава. Рассматриваемый вид сырья отличается комплексностью и безотходностью переработки и относится к тому случаю, когда рудой является сама горная порода, имеющая определенный минералого-петрографический и петрохимический состав. В качестве полезных компонентов выступают либо слагающие ее породообразующие оксиды и рассеянные элементы (*K2O, А12О3, Rb2O* и др.), либо порода в целом (как керамическое сырье).

Оценка перспектив щелочных массивов на ультракалиевые алюмосиликатные руды осуществляется в определенной последовательности. Она начинается с разбраковки и выделения потенциально сынныритоносных участков, основываясь на формационном, петрографо-минералогическом, петрохимическом, геохимическом и некоторых других критериях. Установлено, что перспективными на выявление этого типа минерального сырья являются щелочно-салические и щелочно-мафические формации калиевого и в меньшей степени калиево-натриевого ряда. Среди группы салических фельдшпатоидно-сиенитовых формаций главную роль играет псевдолейцит-нефелин-щелочносиенитовая, с которой связаны практически все известные месторождения и проявления сынныритов. Определяющее значение имеет структура и породная ассоциация формации, характеризующаяся определенным качественным и количественным соотношением слагающих ее пород. Выделенные по формационному признаку перспективные массивы подвергаются дальнейшему изучению и разбраковке по другим критериям.

По их совокупности, свойственной обобщенному образу (модели) рудоносного массива, по аналогии выделяются наиболее перспективные объекты и площади для постановки уточняющих крупномасштабных работ. Учитывая эмпирические данные (тип минерального сырья и требования к его запасам), оценке могут подвергаться массивы площадью не менее 5-10 км2.

Несмотря на ограниченность известных объектов (четыре рудоносных массива: Сыннырский, Сакунский, Якшинский и Маломурунский), установленные признаки свойственны для всех них и могут быть признаны устойчивыми. Следует подчеркнуть, что наряду с относительной зависимостью каждого из положительных факторов большая роль принадлежит эффекту их сочетания, существенным образом влияющего на достоверность и надежность прогноза.

Прогнозная оценка щелочных массивов по категории P3 может быть выполнена по формуле

*Qx = k·Sx·hx·Cc·d*,

где *Qx* — прогнозируемые ресурсы сынныритов, т; *Sx* — площадь распространения на дневной поверхности салических фельдшпатоидных и других щелочных сиенитов в прогнозируемом контуре массива, м2; *hx* — максимальная глубина распространения рудоносных пород, установленная по естественным выходам, в слаборасчлененных районах она принимается по косвенным признакам и равна 250–300 м; *d* — средняя плотность пород, равная 2,60 г/см3; *Сс* — коэффициент, отражающий концентрацию сынныритоносности, оцененную по эталонным объектам в 0,1–0,05; *К* — коэффициент достоверности прогноза, учитывающий степень аналогии с типовыми объектами и отрицательные факторы (его величина может быть принята от 0,2 до 0,6).

Для расчета прогнозных ресурсов каждого из главных полезных компонентов можно исходить из средневзвешенного содержания их в сыннырите: 17 — *K2O*, 22 — *Al2O3* и 0,08 % — *Rb2O*.

В качестве иллюстрации приведем расчет прогнозных ресурсов по Р3 на примере крупнейшего объекта — Сыннырского щелочного массива. Коэффициент достоверности прогноза *K* = 0,2, то есть соответствует минимальному значению в связи с отрицательными факторами: мощными вторичными изменениями, развитием даек сиенитов, прослоев шлиров и жил щелочно-основного состава. Имеем *Sx* = 450 млн м —площадь распространения фельдшпатоидных сиенитов; *h* = 300 м — средняя глубина естественного вскрытия массива; *Сc* = 0,1 берется максимальным, как для типового эталонного объекта; *d* = 2,6 г/см3 — средняя плотность пород. С учетом этих исходных данных находим оценку массива по Р3: *Qx* = 0,2·450 000 000·300·0,1·2,6 = 7,020 млрд т ультравысококалиевого алюмосиликатного сырья. Заметим, что только один из наиболее перспективных участков этого массива, где проведены детальные поиски, оценивается почти в 3 млрд т сынныритов.

1. **Количественная оценка минерагенического потенциала металлических и неметаллических полезных ископаемых**

Минерагенический потенциал учитывается в потенциальных перспективных минерагенических зонах, бассейнах или их частях вне контуров ранее выделенных рудных и потенциальных рудных районов, зон, узлов с оцененными прогнозными ресурсами. Количественная оценка минерагенического потенциала производится в тех же единицах, что и оценка прогнозных ресурсов. Величина минерагенического потенциала определяется на основе количества прогнозируемых месторождений главных геолого-промышленных типов полезных ископаемых и их среднестатистических параметров (величины запасов, средних содержаний полезных ископаемых и др.).

Продуктивность минерагенической зоны в целом рекомендуется оценивать вне категорий прогнозных ресурсов как количественно оцененный минерагенический потенциал.

1. **Количественная оценка угольного потенциала и прогнозных ресурсов углей категории Р3**

Прогнозные ресурсы категории Р3 учитывают лишь потенциальную возможность локализации месторождения на основании благоприятных стратиграфических, литолого-фациальных, палеогеографических (палеогеоморфологических), структурно-тектонических, литогеодинамических предпосылок, известных закономерностей образования месторождений различного генетического, формационного или геолого-промышленного типа, прямых и косвенных поисковых признаков при производстве региональных геологических исследований: картографирования масштаба 1:1 000 000 (угольный потенциал и Р3), ГС-200, ГДП-200, ГГК-200 (Р3).

Для количественной оценки используются данные по объекту-аналогу, которым обычно является разведанное или разведываемое месторождение, более изученная часть бассейна или угленосной площади, реже бассейн или месторождение предположительно того же генетического формационного, геолого-промышленного типа на других территориях.

Подсчет производится в кондициях балансовых запасов, утвержденных ГКЗ (ТКЗ) для объектов, находящихся на оцениваемой или сходной по характеру угленосности территории, а при отсутствии таковых – по единым для всей России кондициям, изложенным в Методическом руководстве по оценке прогнозных ресурсов твердых горючих ископаемых. Принципиальных изменений методики подсчета по сравнению с пересчетами по состоянию на 01.01.1993, 1998, 2003 г. - нет.

**Объекты оценки ресурсов категории Р3 и угольного потенциала**

Объектами являются угольные бассейны (части бассейнов), угленосные площади (их части), изолированные или входящие в состав бассейнов и угленосных площадей районы (геолого-промышленные, угленосные), находящиеся на территории субъекта Федерации (и примыкающей части шельфа), затем Федерального Округа и далее России в целом.

Количественная оценка прогнозных ресурсов углей слагается из следующих операций:

* определения размеров площади подсчета ресурсов;
* обоснования глубины прогноза;
* выбора оценочных параметров угленосности (мощности пластов, углеплотности, коэффициента угленосности, кажущейся плотности);
* обоснования поправочного коэффициента подобия или коэффициента достоверности (К);
* количественной оценки и квалификации прогнозных ресурсов по марочному составу, интервалам глубин, направлению использования, вероятному способу промышленного освоения и геокриологическим условиям.

Уже на начальных этапах количественной оценки желательно осуществить прогноз минерагенической специализации углей, присутствия токсичных, технологически вредных и полезных компонентов как по весьма ограниченным на данном этапе прямым сведениям, так и по аналогии с более изученными эталонными объектами (объектами-аналогами), а также исходя из известных закономерностей их концентрации в органической и минеральной частях угля.

Начальная геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов категории Р3 может производиться на качественном уровне, без соответствующих количественных расчетов.

**Определение площади подсчета прогнозных ресурсов**

Определение размеров оцениваемой площади в общем виде сводится:

- к выявлению и уточнению внешних границ территории установленного и предполагаемого распространения угленосных отложений;

- выделению внутри оконтуренной территории площадей с углями в пределах доступных для освоения глубин;

- исключению площадей с ограничением хозяйственной деятельности или особого природопользования.

Размеры этих площадей рекомендуется подсчитывать на более крупномасштабной геологической основе, чем итоговая карта прогноза (что возможно на территории проведения ГДП-200), поскольку чем крупнее масштаб, тем больше вероятность исключения из подсчета участков распространения непродуктивных отложений угленосной формации.

Для определения размеров подсчитанных площадей сложной конфигурации рекомендуется весовой способ, согласно которому

|  |  |
| --- | --- |
| S = | P · Sэ |
| Рэ |

Где Р – масса вычисляемой площади, Sэ – размеры эталонной площади, Рэ– масса эталонной площади.

Производится это следующим образом. На кальку или лист бумаги с картографической основы наносятся контуры подсчетных участков. Вырезанная по контуру этих участков калька или бумага взвешивается на аналитических весах. Те же операции проделываются с эталонной площадью. После подстановки Р и Рэ в формулу искомая площадь в соответствии с масштабом карты переводится в квадратные метры или километры в зависимости от способа подсчета ресурсов. Например, вес прогнозных участков Р = 17,5 г, Рэ площадью 4 см2 – 3,5 г, геологическая основа масштаба 1:200 000 (в 1 см2 4 км2):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| S = | \_17,5·4·4\_ | = 80 км2 = 80·106 м2 |
| 3,5 |

Способ характеризуется простотой исполнения и достаточной точностью.

**Обоснование глубин оценки прогнозных ресурсов**

Количественное прогнозирование полезных ископаемых производится как для определения общего минерально-сырьевого потенциала, что необходимо для разработки долгосрочных программ развития горнодобывающей промышленности, так и для оценки той его части, которая может быть вовлечена в освоение в ближайшей перспективе. Это обстоятельство обусловило существование разных подходов к обоснованию предельных глубин количественного прогнозирования: в первом случае прогнозные ресурсы независимо от их географического положения и экономической значимости оцениваются до глубин, потенциально доступных для освоения, во втором – до конкретных для каждого бассейна или района глубин, которые уже освоены или могут быть освоены в ближайшем будущем.

«Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых горючих полезных ископаемых» предусматривает, что предельная глубина подсчета ресурсов по всей России составляет 300 м для бурых углей технологической группы 1Б, групп 2Б и 3Б – 600 м, каменных углей и антрацитов – 1500 м со следующим распределением по интервалам глубины залегания угленосных пластов: 0-50, 50-100, 100-300, 300-600, 600-900, 1200-1500 м.

На конкретных объектах, кроме геологических факторов, глубина оценки будет определяться современным или возможным в ближайшей перспективе технико-экономическим уровнем и способом разработки месторождений на объектах-аналогах, потребностью в углях заданного качества и технологических свойств, изменением кондиций, степенью хозяйственного освоения территории. В «старых» угледобывающих районах с дефицитным технологическим сырьем (коксующиеся угли, антрациты) сохраняется существовавший ранее порядок -1800м.

Для Тунгусского, Таймырского, Зырянского и Ленского бассейнов, согласно предложениям ВНИГРИуголь (1982), глубина оценки была ограничена 600 м. Даже при многократном увеличении добычи на действующих и освоении новых месторождений угольных ресурсов, этого интервала вполне достаточно, чтобы обеспечить угледобывающие предприятия не только на ближайшую, но и более далекую перспективу. Оценку более глубоких горизонтов (600-1200, 1200-1800м) здесь следует производить (по той же методике, что и прогнозные ресурсы) для целей сопоставления с освоенными бассейнами и месторождениями, с мировыми запасами (резервами, ресурсами) углей, а также для определения угольного потенциала (УП)[[4]](#footnote-4).

**Выбор оценочных параметров угленосности**

Для каждого бассейна разработаны свои кондиции поминимальной рабочей мощности и предельной зольности пластов угля, в которых подсчитываются и утверждаются ГКЗ или ТКЗ запасы разведанных и эксплуатируемых месторождений. Аналогичным образом оцениваются и прогнозные ресурсы. Это затрудняет их сопоставление по разным регионам и было признано нежелательным (Методическое руководство..., 1986). Рекомендуется принять за нижний предел рабочей мощности пластов каменных углей 0,7 м, плотных бурых углей (2Б, 3Б) - 0,8, мягких бурых углей- 1,0 м. Их общая мощность в разрезе до предельной глубины подсчета определяет суммарный рабочий пласт, мощность на единицу разреза - коэффициент рабочей угленосности, количество ресурсов на единицу площади - углеплотность.

Кажущаяся плотность (dar) - масса угля в единице объема. Она возрастает с повышением степени метаморфизма и зольности и для изученных бассейнов находится в пределах от 1,05 (бурые угли Подмосковного бассейна) до 1,58 т/м3 (антрациты Донбасса). Ее величина заимствуется из материалов предыдущих подсчетов, либо берется по объекту-аналогу или из справочников по месторождениям с аналогичной степенью метаморфизма и близкими пределами зольности угля.

**Обоснование коэффициента достоверности (поправочного коэффициента подобия)**

Количественное прогнозирование углей базируется как на косвенных данных (принцип аналогии), так и на ограниченном количестве прямых сведений об угленосности оцениваемой площади, в связи с чем его результаты, особенно на ранних стадиях, характеризуются низкой степенью достоверности. С целью частичного устранения влияния на конечные результаты ошибок при выборе оценочных параметров и учета неравномерного характера распространения угленосности внутри оцениваемой площади в расчетные формулы принято вводить так называемый коэффициент достоверности (подобия) «К», величина которого в общем случае изменяется от 0,05 - 0,1 до 0,8 - 1,0, возрастая с повышением детальности прогнозных исследований.

Намечаются три группы способов определения этого показателя.

Первый и наиболее распространенный - способ индивидуальных и коллективных экспертных оценок, основанный на знаниях и опыте исследователей. Так, для территории с предполагаемым непрерывным распространением относительно выдержанных угольных пластов-аналогов Донецкого, Кузнецкого и других бассейнов той же группы, рекомендуется применять достаточно высокие коэффициенты достоверности - 0,5 и выше для среднемощных и мощных угольных пластов, 0,3—0,5 для тонких пластов. Внутриплатформенные, надрифтовые угольные бассейны и площади (типа Подмосковного бассейна) характеризуются прерывистым распространением угольных залежей. Здесь по объекту-аналогу определяется отношение площади распространения угольных залежей к общей площади, представляющее собой максимальное значение коэффициента достоверности. Эта величина в свою очередь должна быть несколько уменьшена с целью учета возможных потерь рабочих параметров из-за внутриформационных размывов, выклинивания угольных залежей. На основании имеющихся данных о характере угленосности можно предположить, что максимальные значения коэффициента достоверности не должны превышать для угленосных площадей в чехле древних платформ 0,15—0,20, и в чехле молодых платформ рифтогенной природы 0,20-0,30.

Основу второй группы способов, условно названных инструктивными, преимущественно также составляют экспертные оценки, которым придан директивный характер. Так, например, для Тунгусского угольного бассейна решениями Межведомственной комиссии (1979) было предписано, что в интервале глубин 0-600 м К=0,5, 600—1200 м — 0,25 и 1200—1800 м — 0,1. Аналогичные рекомендации были сделаны и для других слабоизученных территорий.

К третьей группе относятся расчетные способы определения величины коэффициента достоверности (подобия). В качестве примера ниже (табл. 10) предлагается способ расчета «К» для Норильской мульды Тунгусского бассейна.

Таблица 10

Расчет коэффициента достоверности (К) по объекту-аналогу (южному участку Кайерканского месторождения)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Индексы угольных пластов | Мощность пластов  (от—до), м | Отношение средней  мощности пластов, «распределенной» на все пересечения, к средней мощности по «рабочим» пересечениям | Отношение числа пересечений с рабочей мощностью к их общему количеству | Разница отношений  (по графам 3 и 4) | |
| по абсолютной величине | в % |

| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| К5 | 0,50—2,55 | 0,71/1,74=0,41 | 14/36=0,39 | 0,02 | 5 |
| К41 | 0,30—3,35 | 0,91/1,78=0,51 | 18/36=0,50 | 0,01 | 2 |
| К4 | 0,75-4,40 | 2,05/3,34=0,61 | 22/36=0,61 | 0 | 0 |
| К3 | 0,40—1,85 | 0,67/1,11=0,61 | 20/36=0,56 | 0,05 | 8 |
| К31 | 0,0—0,85 | 0,09/0,85=0,11 | 2/36=0,06 | 0,05 | 45 |
| К2 | 0,0—3,50 | 1,49/2,68=0,56 | 20/36=0,56 | 0 | 0 |
| S11 | 0,20—2,10 | 0,43/1,44=0,30 | 10/36=0,28 | 0,02 | 7 |
| S10 | 0,20—1,70 | 0,38/1,21=0,31 | 10/36=0,28 | 0,03 | 10 |
| S9 | 0,40—2,95 | 0,40/1,71=0,23 | 8/36=0,22 | 0,01 | 4 |
| S7 | 0,0—5,40 | 0,96/2,16=0,44 | 16/36=0,44 | 0 | 0 |
| S6 | 0,0—1,15 | 0,18/0,88=0,20 | 6/36=0,17 | 0,03 | 15 |
| S5 | 0,15—1,15 | 0,31/1,03=0,30 | 6/36=0,17 | 0,13 | 43 |
| S4 | 0,10—1,90 | 0,70/1,32=0,53 | 18/36=0,50 | 0,03 | 6 |
| S3 | 0,10—1,0 | 0,18/1,0=0,18 | 2/36=0,06 | 0,12 | 67 |
| S2 | 0,30—2,30 | 0,94/1,38=0,68 | 24/36=0,67 | 0,01 | 1 |
| S1 | 0,10—1,50 | 0,32/1,16=0,28 | 8/36=0,22 | 0,06 | 21 |
| d5 | 0,15—0,80 | 0,05/0,80=0,07 | 2/36=0,06 | 0,01 | 14 |
| d4 | 0,70—3,95 | 2,21/2,21=1,0 | 36/36=1,0 | 0 | 0 |
| d3 | 0,30—2,75 | 1,20/1,53=0,78 | 28/36=0,78 | 0 | 0 |
| d2 | 0,0—4,60 | 1,25/1,96=0,64 | 22/36=0,61 | 0,03 | 5 |
| d1 | 0,0—3,90 | 1,67/2,47=0,68 | 24/36=0,67 | 0,01 | 1 |
| Средняя величина  отношения (К) | | 0,45 | 0,42 | 0,03 | 7—12 |

На эталонном объекте по каждому рабочему пласту определяется отношение его средней мощности, «распределенной» на все пересечения, к средней ее величине по пересечениям с рабочей мощностью. Среднее арифметическое из частных отношений принимается за коэффициент достоверности для примыкающих площадей с предположительно сходными (с эталонным объектом) закономерностями пространственного распределения угленосности.

Оперативный вариант подобного расчета заключается в вычислении среднего арифметического из частных отношений числа пересечений с рабочей мощностью к их общему количеству на объекте, одинаковому для всех пластов. Различия между частными отношениями в обоих вариантах возрастают по мере снижения устойчивости угольных пластов на площади, но в среднем в данном случае не превышают 7-12 %.

**Подсчет прогнозных ресурсов углей**

Количественная оценка прогнозных ресурсов категории Р3 и угольного потенциала производится традиционно геолого-статистическим методом по одной из следующих формул:

Q = K·S·m·dar;

Q = K·S·p;

Q = K·V·q·dar,

где Q — прогнозные ресурсы (млн. т); S — площадь подсчета в проекции на горизонтальную плоскость (м2, км2); V — объем продуктивной толщи, м3; q— коэффициент угленосности, %; m— средняя мощность суммарного рабочего пласта на объекте-аналоге, м; р — углеплотность, млн. т/км2, dar — кажущаяся плотность угля, т/м3, К— коэффициент достоверности (поправочный коэффициент подобия).

Наиболее употребительны две первые формулы, оценки с использованием коэффициента угленосности чаще используются при складчатом залегании угленосных отложений. При углах падения свыше 15° расчетная формула приобретает вид

Q=K·S·m·dar / cos α,

или Q= K·S·m·dar ·sec α,

где α — угол падения угольных пластов. Но поскольку увеличение площади подсчета составляет всего 4 % при α = 15о и 15 % при α = 30°, нет необходимости для Р3 и угольного потенциала вводить поправку при углах падения вплоть до 30° включительно.

Оценка ресурсов должна производиться раздельно для бурых и каменных углей и антрацитов, маркировка которых должна быть произведена по ГОСТ 25543-88. Среди бурых углей выделяются мягкие (1Б) и твердые (2Б, 3Б) разности, среди каменных в обязательном порядке – коксующиеся, с детальной разбивкой по марочному составу (по ГОСТ 25543-88), и ценности (особо ценные марки). Основой для такого разделения могут служить, как правило, единичные, редкие определения петрографических и химико-технологических характеристик углей на объекте прогноза, известные взаимосвязи между маркирующими параметрами углей, закономерности распределения углей по разряду и на площади, их соотношения в прогнозных ресурсах более высоких (Р2, Р1) категорий и, на объекте-аналоге, данные предыдущих пересчетов.

Для количественной оценки ресурсов углей нетопливного использования, высокосернистых (содержание серы более 2%), соленых, с содержанием токсичных элементов выше предельно допустимых норм, на данной стадии прогнозирования обычно недостаточно фактического материала. Однако возможное присутствие подобных углей должно быть отражено в объяснительной записке (отчете).

Результаты подсчета сводятся в таблицы по форме 1 прил. 1 «Методического руководства по оценке прогнозных ресурсов твердых горючих ископаемых». В них прогнозные ресурсы распределяются по глубине залегания, марочному составу, категориям достоверности. Отдельными строками указываются ресурсы коксующихся углей, пригодные для отработки открытым (штольневым) способом, в зоне многолетней мерзлоты. В самостоятельной таблице приводятся результаты пересчета прогнозных ресурсов в условное топливо.

Он осуществляется при помощи калорийного эквивалента, определяемого как частное от деления низшей удельной теплоты сгорания рабочего топлива (Qir) в Мдж/кг или ккал/кг изучаемого угля, на аналогичный показатель условного топлива, равный 29,302 Мдж/кг или 7000 ккал/кг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Богданов Ю.В., Неженский И.А. Система единиц учета количества минерального сырья в недрах – Рег. геол. и минерагения, 2001, №13-14, с.81-83.
2. Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полузакрытых территориях / под ред. А.Ф. Морозова, Б.К. Михайлова, Т.В. Чепкасовой, О.В. Петрова, А.А. Кременецкого, С.М. Алексеева / С.В. Соколов, А.Г. Марченко, С.С. Шевченко, О.Н. Симонов и др. изд. ВСЕГЕИ, 2005. 98 с.
3. Временные методические рекомендации по оценке, апробации и учету прогнозных твердых полезных ископаемых по состоянию на 1 января 2003г. Утверждено распоряж. гос. геол. службы МПР РФ 21.10.2002 г. № 433-р, 17 с.
4. Временный порядок представления на апробацию оценок прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых для включения в Перечень участков недр, предлагаемых для представления в пользование, в соответствии с Приказом Роснедра от 15.04.2011 № 407. ВИМС, 2017 г.
5. Гранник В.М. Древние сейсмофокальные зоны Сахалина. Владивосток: Дальнаука, 2003. 121 с.
6. Гранник В.М. Формирование земной коры, рудообразование и металлогенический прогноз М.: ГЕОС, 2008.
7. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1983.
8. Инструкция по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых и компонентов при разведке месторождений угля и горючих сланцев. М: Наука, 1987, 136 с.
9. Инструкция по применению Классификации запасов к месторождениям углей и горючих сланцев. М: ГКЗ СССР, 1983, 47 с.
10. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. (Утверждена Приказом МПР РФ от 11.2006 г. № 278).
11. Количественное прогнозирование при региональных минерагенических исследованиях /Под ред. Д.В.Рундквиста. – Л.: ВСЕГЕИ, 1979. 88с.
12. Коробейников А.Ф, Кузебный В.С. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых. Томск, 2009, 253с
13. Кривцов А.И. Прикладная минерагения. М., Недра, 1989. 288с.
14. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Д.В. Рундквиста. 2-е изд. – Л.: Недра, 1986.
15. Математические методы при прогнозе рудоносности. М., Наука 1977. 276с.
16. Методические рекомендации по геофизическому обеспечению геолого-съёмочных работ масштаба 1:200 000. – СПб.: ВИРГ – Рудгеофизка, 2000. 237 с.
17. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. (Введены в действие распоряжением МПР РФ от 5.06.2007 г. № 37-р).
18. Методические рекомендации по прогнозированию эндогеннных рудных месторождений (на примере месторождений свинца и цинка). – М.: ЦНИГРИ, 1978. 44 с.
19. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (выпуск 1 принципы и методы оценки). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2005.
20. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (второго издания). Версия 1.3. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. 173 с.
21. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третьего поколения). Версия 1.3. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. 169 с.
22. Минерально-сырьевой потенциал недр Российской Федерации, том 1 Прогнозно-металлогенический анализ/ О.В. Петров, А.Ф. Морозов, Б.К. Михайлов и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 52
23. Основы минерагенического анализа при геологическом картировании. Минерагения геодинамических обстановок. / Г.С.Гусев, В.В.Зайков, Е.В.Зайкова и др. М: 1995. 468с.
24. Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Методическое руководство. Изд. 3-е. М., ЦНИГРИ, 2002.
25. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). М., ВИЭМС, 1999.
26. Принципы прогноза и оценки месторождений полезных ископаемых. Под ред. В.Т. Покалова. М., Недра, 1984. 437с.
27. Принципы, методы и порядок оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Рекомендации межинститутской рабочей группы Роснедра / Под редакцией А.И.Кривцова; составители: Беневольский Б.И. (руководитель), Аксенов Е.М., Блинова Е.В., Ваганов В.И., Вартанян С.С., Голенев В.Б., Конкина О.М., Куторгин В.И., Логвинов М.И., Машковцев Г.А., Мигачев И.Ф., Микерова В.Н, Руднев В.В., Ручкин Г.В. – М.: ЦНИГРИ, 2010. – 95 стр., 8 табл., 10 ил.
28. Прогноз качества углей в бассейнах с широким проявлением магматизма. Методические рекомендации. Ред. А.Б. Гуревич, О.И. Гаврилова, В.Г. Шевелов, С.Б. Шишлов. СПб: Геолком России, ВСЕГЕИ, 1992, 174 с.
29. Прогноз угленосности и качества углей при ГС-200 и ГДП-200. Методическое руководство. СПб: ВСЕГЕИ, 2001, 143 с.
30. Регламент оценки, апробации, учета и мониторинга минерагенического потенциала и прогнозных ресурсов категории Р3 твердых полезных ископаемых. – СПб., 2009.
31. Российский металлогенический словарь/ И.А. Неженский, И.Г. Павлова, К.А. Марков и др. – СПб.: ВСЕГЕИ. 2003. 319с.
32. Рудоносность и геологические формации структур земной коры. Под ред. Д. В. Рундквиста. Л.: Недра, 1981. 423 с.
33. Соколов СВ. Структуры аномальных геохимических полей и прогноз оруденения. СПб:1998. 154 с.
34. Соколов С.В. Методика прогноза и оценки ресурсного потенциала рудных полей, узлов и районов по потокам рассеяния на стадиях регионального изучения недр и прогнозно-поисковых работ // Прикладная геохимия. Вып. 5: Компьютерные технологии. М.: ИМГРЭ, 2004. С. 5-44
35. Соловов А.П., Матвеев А.А. Геохимические методы поисков рудных месторождений. М.: Изд. МГУ, 1985.
36. Требования по оценке (общей, поисковой и прогнозной) эффективности региональных геологических работ. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2005г.
37. Хорин Г.И. Рудные провинции, районы, узлы Северо-Востока СССР как объекты геохимических поисков // Геохимия рудных районов. Владивосток: 1991. С. 72-77.

1. АГХП – совокупность пространственно сближенных или совмещенных геохимических аномалий родственных химических элементов, формирование которых обусловлено конкретными геологическими событиями. [↑](#footnote-ref-1)
2. АГХС – ассоциация закономерно локализованных в пространстве и времени АГХП рангов от РР, РУ до РМ, РТ включительно. Каждому члену (АГХП) таких сложно построенных АГХС соответствует конкретный этап развития территории. [↑](#footnote-ref-2)
3. По урану данные Кислякова Я.М., Щеточкина В.Н., ВИМС, 2000 г. [↑](#footnote-ref-3)
4. В угольной геологии под угольным потенциалом понимается весь тот уголь, который не входит в разведанные и оцененные запасы и прогнозные ресурсы категорий Р1-Р3. УП предлагают относить к дополнительной категории Р4(А.Г. Портнов и др.). [↑](#footnote-ref-4)