

ИННОВАЦИОННАЯ МЕТОДИКА ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГРАНИТОФИЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

*Инновационная методика, ориентированная на выявление скрытых рудных объектов, в данной статье рассматривается применительно к прогнозу и оценке месторождений вольфрама, молибдена и олова. Охарактеризованы базовые элементы методики, возможность ее использования для расчета прогнозных ресурсов. Предлагается организация работ поисковой стадии. **Ключевые слова:** методика, прогноз, оценка, месторождение, вольфрам, молибден, олово.*

Mitrofanov N.P. (VIMS)

INNOVATION METHODOLOGY FOR THE SEARCH OF GRANITE PROFILE DEPOSITS

*Innovation methodology is focused on prospecting works of deep-seated ore objects. The paper is directed upon the discovery of W, Mo and Sn deposits. The characteristics of the basic elements of the methodology, possibility of its use for calculation of predicted resources. There is provided the work activity management for a prospecting stage. **Key words:** innovation methodology, prediction, valuation, deposit, tungsten, molybdenum, tin.*

Прогнозом скрытого оруденения твердых полезных ископаемых давно озабочены специалисты, занимающиеся поисками месторождений полезных ископаемых. Их работы отражены во многих публикациях, но разработкой единой основы поисков скрытого оруденения практически никто не занимался.

Предлагаемая методика направлена на прогноз и оценку скрытых гранитофильных месторождений вольфрама, молибдена и олова. Она базируется на определении источника полезного ископаемого, особенностей его рудогенерации при процессах гранитообразования, выявлении и геометризации рудно-магматических систем, в которых происходит мобилизация, концентрация и локализация оруденения, изучении состава выполняющих их пород, определении в них плотности и геохимического содержания элементов искоемых полезных ископаемых. Все это выражается в проведении на современной научной основе локального металлогенического районирования с выделением рудно-магматических систем и прямом расчете соответствующих их рангу металлогенического потенциала и прогнозных ресурсов.

Источник рудного вещества. Месторождения названной триады элементов выделяются в молибден-вольфрамовую, полиметалльно-вольфрамовую, полиметалльно-вольфрам-оловянную и вольфрам-оловянную формации [2, 9, 11]. Их рудные объекты размещаются в складчатых поясах земной коры, которые образовались на границах взаимодействия континентальных и океанических плит (рис. 1). По концепциям времени формирования континентальной коры (А.В. Пейве и др., 1980) и тектоники плит (Л.П. Зоненшайн и др., 1990) в строении поясов различаются зоны аккреции, представленные преимущественно океаническими и островодужными вулкано-

генно-кремнисто-карбонатно-терригенными образованиями, и зоны пассивной континентальной окраины, сложенные в основном терригенными отложениями (турбидитами), снесенными с материка. На современных минерагенических картах и картах полезных ископаемых, выполненных на геодинамической основе [5, 12], отчетливо видна приуроченность месторождений молибден-вольфрамовой формации (Тырныауз, Кти-Теберда, Калгута, Холтосон и др.) к зонам аккреции, которые широко представлены в Кавказском, Уральском, Центрально-Азиатском поясах. Месторождения же олово-вольфрамовой формации (Спокойнинское, Иультинское, Одинокое, Правоурмийское и др.) расположены в зонах пассивной континентальной окраины. Они распространены в Монголо-Охотском поясе и особенно широко на территории России — в Тихоокеанском поясе. Приуроченность к разным зонам обусловила хорошо известное пространственное разделение промышленных объектов названных формаций. Особенности состава субстратов отобразились в минеральном составе руд формаций: главными минералами руд месторождений молибден-вольфрамовой формации являются шеелит, гюбнерит, молибденит, а вольфрам-оловянной формации — вольфрамит и касситерит.

Месторождения полиметалльно-вольфрамовой формации (Агылка, Восток-2, Лермонтовское и др.) и родственные месторождения полиметалльно-вольфрам-оловянной формации (Букука, Илентас, Фестивальное и др.), расположенные на участках наиболее тесного смещения островодужно-океанических и континентальных образований, имеют более сложный состав и занимают в поясах переходное положение. Все перечисленное, подтверждая известный принцип Миаширо — «химический состав пород и оруденения соответствует физическим условиям их образования», отображено в новой формационно-генетической классификации рассматриваемых месторождений, в которых связующим звеном является вольфрам (таблица).

Приуроченность разных рудных формаций к зонам, выполненным разными по происхождению породами, показывает, что источником рудного вещества месторождений являются породы, слагающие субстрат зон. Анализ кларков концентраций, полученных по геохимическим таблицам А.П. Виноградова (1962), К. Таркяна и К. Ведепоя (1961) и др., дает сказанному научное объяснение. Кларк концентрации молибдена в базальтах равен 1,3, в атомных соотношениях — 2,5, в глубоководных глинах его значение поднимается до 25, т.е. эти породы могут быть источником молибдена в рудных процессах. Кларк концентрации олова в андезитах, базальтах и глубоководных глинах — 0,6, т.е. островодужные и океанические породы не могут быть его источником. В то же время кларк концентрации олова в терригенных породах континентального происхождения — 4,0, в атомном соотношении — 5,5, они — богатый источник металла. Кларки концентрации вольфрама во всех породах занимают промежуточное положение между кларками молибдена и олова. В океанических породах концентрации вольфрама больше, чем в континентальных (Н.Ф. Григорьев, 2003; В.В. Иванов, 1996, 1997; Г.Б. Левашов, Н.В. Зарубина,

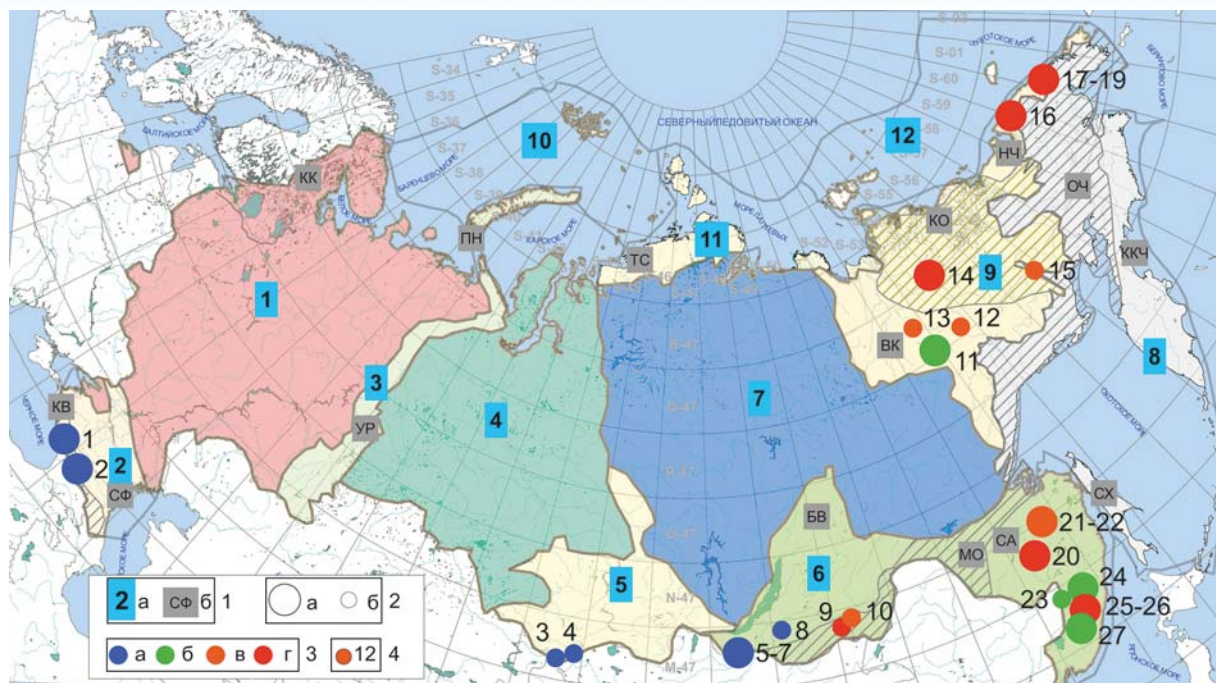


Рис. 1. Карта минерагенических провинций (ВСЕГЕИ, 2006) с месторождениями вольфрама, молибдена и олова на территории РФ. 1 — группы минерагенических провинций (а — их номера, б — провинции): 1 — Восточно-Европейско-Печорская (КК — Карело-Кольская провинция), 2 — Северо-Кавказская (провинции: СФ — Скифская, КВ — Кавказская), 3 — Урало-Пайхой-Новоземельская (Ур — Уральская, ПН — Пайхой-Новоземельская), 4 — Западно-Сибирская, 5 — Алтае-Саянская, 6 — Байкало-Амурская (БВ — Байкало-Витимская, МО — Монголо-Охотская, СА — Сихотэ-Алинская), 7 — Восточно-Сибирская, 8 — Дальневосточная (ОЧ — Охотско-Чукотская, ККЧ — Корякско-Камчатская, СХ — Сахалинская), 9 — Верхояно-Колымо-Чукотская (БК — Верхояно-Колымская, КО — Колымо-Омолонская, НЧ — Новосибирско-Чукотская), 10 — Западно-Арктическая, 11 — Центрально-Арктическая (ТС — Таймыро-Североземельская), 12 — Восточно-Арктическая; 2 — месторождения вольфрама: а — крупные, б — средние и мелкие; 3 — формации месторождений: а — молибден-вольфрамовая, б — полиметалльно-вольфрамовая, в — полиметалльно-вольфрамо-оловянная, г — олово-вольфрамовая; 4 — названия месторождений: 1 — Кти-Теберда, 2 — Тырныауз, 3 — Калгута, 4 — Урзарсай 5 — Инкур, 6 — Холтосон, 7 — Мало-Ойногорское, 8 — Бом-Горхон, 9 — Спокойнинское, 10 — Букука, 11 — Агылка, 12 — Аляскитовое, 13 — Илинтас, 14 — Одинокое, 15 — Начальное, 16 — Крутой штокверк (Пыркаайские штокверки), 17 — Иультин, 18 — Светлое, 19 — Тенкергин, 20 — Правоурмийское, 21 — Соболиное, 22 — Фестивальное, 23 — Лермонтовское, 24 — Восток-2, 25 — Тигриное, 26 — Забытое, 27 — Скрытое

Формационно-генетическая классификация вольфрамовых месторождений

Генетический тип	Формационный тип						Вмещающие породы. Температура рудообразования, °C
	молибден-вольфрамовый (вольфрам-молибденновый)		полиметалльно-вольфрамовый и полиметалльно-вольфрам-оловянный		олово-вольфрамовый (вольфрам-оловянный)		
	Минеральный подтип	Место-рождения	Минеральный подтип	Место-рождения	Минеральный подтип	Мест-орождения	
Апоскарновый (контактово-диффузионный и инфильтрационный пневмато-флюидный)	Молибденит-шеелитовый	Тырныауз	Сульфидно-шеелитовый	Агылка, Восток-2, Лермонтовское, Скрытое	Сульфидно-шеелит-вольфрамит-касситеритовый	Лаочан, Сянхуалинь (Китай)	Карбонатные, базальтоиды, кремнистые, терригенные, ортометаморфиты. 600–200
	Шеелитовый	Кти-Теберда					
	Шеелит-молибденитовый	Мало-Ойногорское					
Грейзеновый (контактово-метасоматический пневмато-флюидный)	Молибденит-гюбнерит-вольфрамитовый	Калгута	—		Вольфрамитовый	Спокойнинское	Гранитоиды, терригенные, метаморфиты. 450–250
					Вольфрамит-касситеритовый	Одинокое, Правоурмийское	
Гидротермальный (метасоматически-гидротермальный)	Сульфидно-шеелитовый	Урзарсай	Сульфидно-вольфрамит-ферберитовый	Букука, Барун-Шивея	Касситерит-вольфрамитовый	Иультин, Светлое, Тенкергин	Терригенные, гранитоиды, параметаморфиты. 350–150
	Сульфидно-гюбнеритовый	Бом-Горхон, Холтосон, Инкур	Сульфидно-вольфрамит-касситеритовый	Илинтас, Начальное, Фестивальное	Вольфрамит-касситеритовый	Крутой штокверк, Тигриное, Забытое	
Геодинамическая позиция. Тип и возраст рудогенерирующих гранитоидов	Зоны аккреции (преимущественно океанические и островодужные образования) и активизации. Коллизионные гранитоиды PR-KZ		Зоны аккреции, активизации пассивной континентальной окраины. Коллизионные и субдукционные гранитоиды PZ-KZ		Зоны пассивной континентальной окраины, активизации. Коллизионные и субдукционные гранитоиды MZ-KZ		Источник руд (субстрат корового гранитоидного очага)

1988 и др.). Поэтому в месторождениях с молибденом он наблюдается в более высоких концентрациях, чем в месторождениях с оловом. В целом, содержания вольфрама и масштабность его запасов на рудных объектах, сформировавшихся на океаническом субстрате, больше, чем на месторождениях, образовавшихся на континентальном [9].

Изучение терригенных отложений континентальной окраины в оловоносных структурах Тихоокеанского пояса показало, что крупные месторождения олова возникали там, где структуры выполнены отложениями значительной мощности и отличаются повышенными геохимическими содержаниями олова (рис. 2), и наоборот, там, где мощности небольшие и содержания

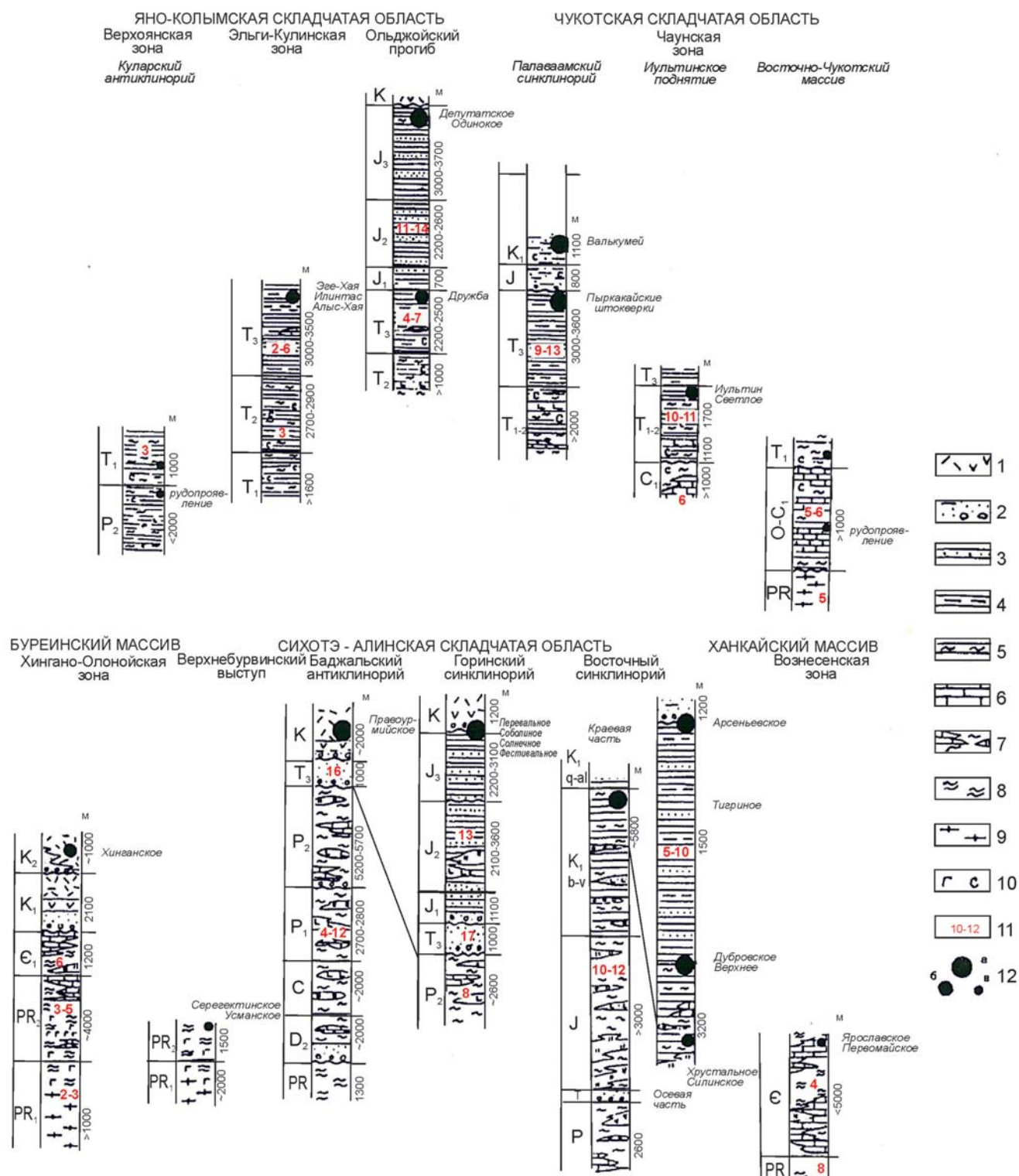


Рис. 2. Мощности осадочных комплексов в оловоносных структурах Тихоокеанского подвижного пояса на территории России. 1–10 — литология отложений; 11 — содержания олова, г/т; 12 — локализация оловорудных месторождений в разрезах осадочных комплексов: а — крупных, б — средних, в — мелких и рудопроявлений

низкие, формируются в лучшем случае рудопроявления [10]. Важно отметить, что оруденение локализуется в верхних частях разрезов терригенных толщ, а нижние части — это тот субстрат, из которого происходит извлечение полезного ископаемого. Изложенное показывает важность представления об объеме источника рудного вещества и содержании в нем рудных элементов.

Рудогенерирующий магматизм. Генерация месторождений вольфрама, молибдена, олова обусловлена процессом гранитообразования, который является механизмом мобилизации рассеянных в субстрате полезных компонентов, их концентрации и переноса в область рудоотложения (В.И. Смирнов, 1982, Е.В. Плюшев, 2001 и др.). В гранитоидах отображаются важные особенности концентрации оруденения в земной коре. Для каждого металла они разные. Например, олово в магматическом процессе связывается калием [6]. При эволюции корового очага в гранитоидах происходит накопление калия, соответственно и олова. В заключительных дериватах рудогенерирующих гранитоидов — лейкогранитах, аплитах, кварцевых порфирах и др. — наблюдается уменьшение содержания калия и олова, которые сбрасываются в пневмо-гидротермальные растворы. Ими эти элементы переносятся в область отложения, где среди калиевых метасоматитов локализуются рудные тела. Рудные объекты молибдена ассоциируются с натровыми и калий-натровыми гранитоидами [4]. При всех различиях месторождения генерируются гранитоидами, которые прошли полную дифференциацию в коровом очаге, отмеченную накоплением рудного вещества в процессе гомодромной эволюции и уменьшением его в заключительных ультракислых породах. В связи с этим всестороннее изучение гранитоидов представляется, как и в существующих методиках, важным средством для выявления площадей, вмещающих природные скопления скрытых полезных ископаемых.

Локальное металлогеническое районирование в предлагаемой методике нацелено на выделение разноранговых рудно-магматических систем, в которых формируются месторождения, и на расчет в них прогнозных ресурсов [7].

Гранитизация субстрата, внедрение гранитных тел в тектонически ослабленные центры отображается в рельефе возникновением положительных морфоструктур центрального типа (МЦТ). Это объясняет локализацию в

их пределах месторождений гранитофильного профиля. Другими словами, морфоструктуры являются поверхностным выражением рудно-магматических систем, а их геоморфологическая конформность позволяет устанавливать границы и размеры рудных таксонов (рис. 3). В горнорудных районах скрытые

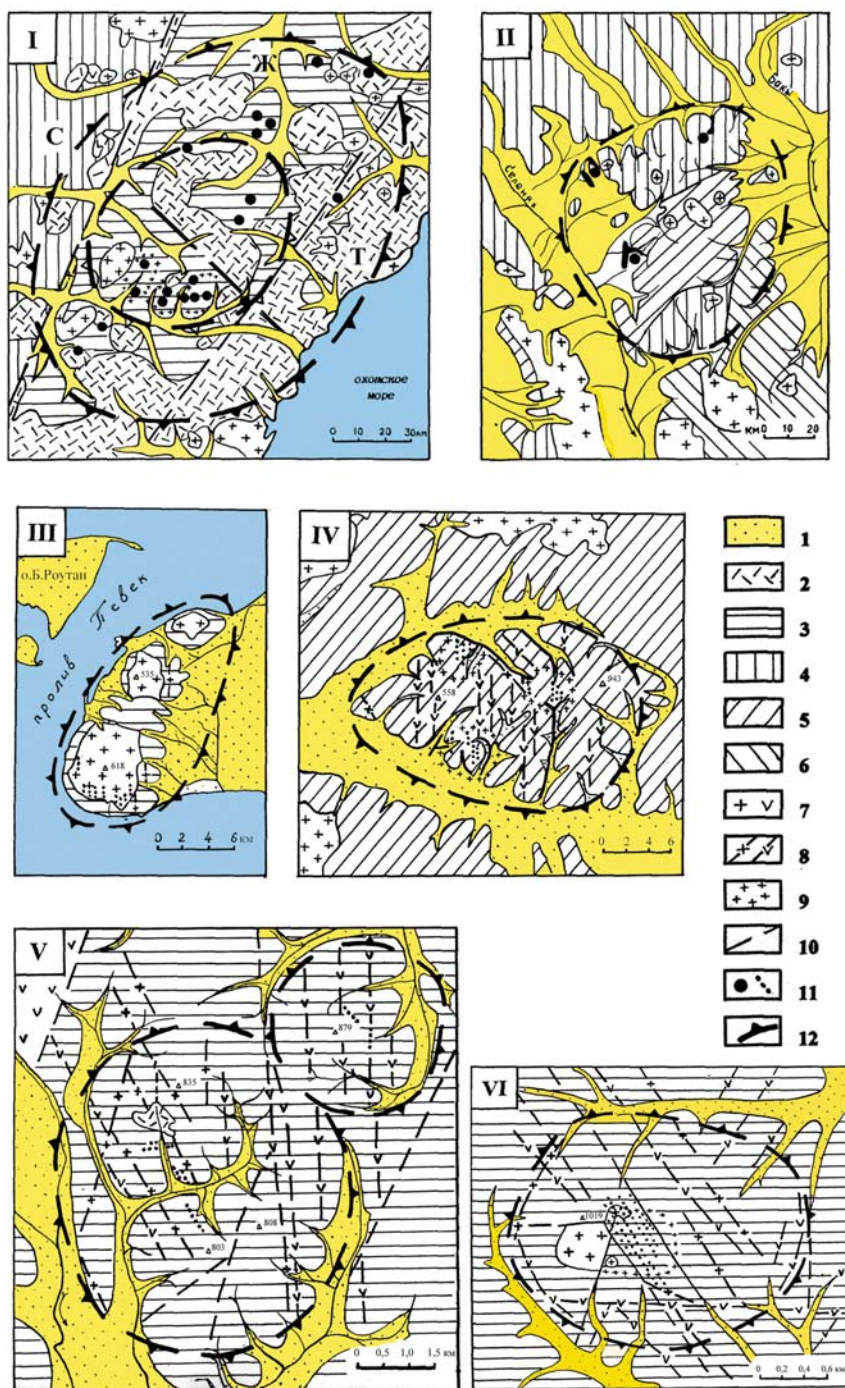


Рис. 3. Строение морфоструктур центрального типа локальных рудных таксонов. Рудные районы: I — Кавалеровский и Верхне-Уссурийский (Сихотэ-Алинь), II — Депутатский (Якутия); рудные узлы: III — Певекский, IV — Пыркакайский (Чукотка); рудные поля: V — Арсеньевское и Ивановское (Кавалеровский район), VI — Тигриное (Средне-Уссурийский район, Сихотэ-Алинь). 1 — четвертичные осадки; 2 — меловые вулканогенные образования; 3–6 — осадочные отложения: 3 — меловые, 4 — юрские, 5 — триасовые, 6 — палеозойские; 7 — интрузии кислого и средне-основного состава; 8 — дайки кислого и средне-основного состава; 9 — контуры скрытых интрузий; 10 — разрывные нарушения; 11 — месторождения, рудные тела и россыпи олова; 12 — контуры положительных морфоструктур центрального типа

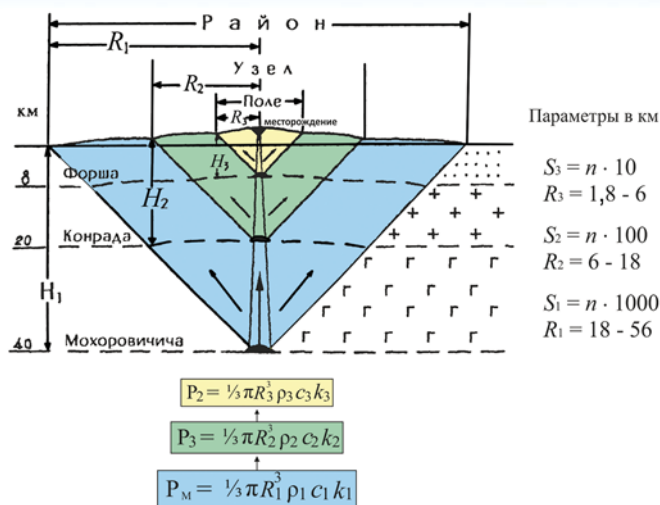


Рис. 4. Концептуальная модель иерархической соподчиненности рудно-магматических систем в земной коре с параметрами для расчета металлогенических ресурсов рудного района, узла и поля. P_M — металлогенический ресурс рудного района, P_3 — прогнозный ресурс рудного узла, P_2 — прогнозный ресурс рудного поля; S — площади локальных таксонов (морфоструктур) разного ранга; R — усредненные радиусы морфоструктур центрального типа, принимаемые равными глубине их заложения H ; ρ — плотности пород; c — геохимическое содержание элемента; k — коэффициент продуктивности

рудные концентрации, доступные для промышленного освоения, проявляются на поверхности выходами рудоносных гранитоидов, шлиховыми и геохимическими ореолами, метасоматической и гидротермальной минерализацией и другими прямыми и косвенными признаками. По ним выделенные своды и купола подвергаются анализу на предмет возможности и продуктивности рудогенерации. В соответствии с известной порядковой градацией локальных рудных таксонов по размерам морфоструктур производится площадное ранжирование рудно-магматических систем: рудный район — $n \cdot 10^3$ км², узел — $n \cdot 10^2$ км², поле — $n \cdot 10$ км². Строгое соблюдение этого правила важно, так как, следуя закону перехода количества в качество, каждому рангу таксона должен отвечать свой металлогенический потенциал и соответствующая только ему категория прогнозных ресурсов.

Сводные и купольные МЦТ, в которых осуществляются процессы рудогенерации, в объеме представляют собой конусообразную структуру, обращенную вершиной вниз. Такая форма создается полем тяготения земли и определяется законом симметрии (И.И. Шафрановский, Л.М. Плотников, 1968). Проведя глобальный анализ МЦТ, В.В. Соловьев (1987), Г.И. Худяков и др. (1988) пришли к выводу о близости радиуса морфоструктур глубине их заложения. Глубина может корректироваться расстояниями до геофизических разделов слоев земной коры, где предполагается зарождение очагов — инициаторов гранитоидного магматизма. Исходя из реальных размеров морфоструктур каждого ранга вычисляются радиусы, глубины и объемные параметры рудно-магматических систем. Зная размеры системы, плотности и геохимические содержания рудных элементов в выполняющих ее породах, рассчиты-

вается металлогенический ресурс этой системы по формуле, используемой при подсчете промышленных запасов:

$$P = 1/3 \pi R^2 H \rho c k,$$

где P — металлогенический или прогнозный ресурс рудно-магматической системы; R — размер радиуса конуса, H — глубина его заложения; ρ — плотность пород; c — геохимическое содержание рудного элемента; k — коэффициент продуктивности, показывающий количество металла, способного переходить в рудные тела.

Сказанное отображено в концептуальной модели положения рудно-магматических систем в земной коре (рис. 4). Выявление соподчиненности систем необходимо, так как более крупная питает расположенную внутри нее более мелкую. Системы рудных полей, находящиеся в последовательной связи с более крупными рудными структурами, являются более перспективными, нежели системы, в которых такая связь не намечается. При этом вопросы о недостаточности объемов гранитов в рудном поле месторождений для формирования крупных месторождений отпадают сами собой.

Коэффициент продуктивности определяется таким же расчетом в эталонных структурах каждого ранга рудно-магматических систем, в которых разведаны промышленные месторождения, близкие по формационной принадлежности к искомому рудным объектам. Он рассчитывается как отношение запасов металла в месторождении (месторождениях) эталонного таксона к общему количеству его в объемной структуре таксона по геохимическим данным. При исследованиях в оловорудных районах Тихоокеанского пояса по рудным объектам Кавалеровского района коэффициент определен равным $6 \cdot 10^{-6}$, Комсомольского — $13 \cdot 10^{-6}$, Депутатского — $7 \cdot 10^{-6}$. В Кавалеровском районе средние значения коэффициента, вычисленные по рудным полям с промышленными месторождениями олова силикатного типа, составили 0,19, а для полей месторождений сульфидного типа — 0,06. На Сихотэ-Алине для Восточного рудного узла, вмещающего вольфрамовое месторождение Восток-2, установлен коэффициент продуктивности 0,0059, для рудного поля этого же месторождения — 0,15, для рудного поля месторождения Лермонтовского, принадлежащего к той же формации, — 0,09 и т.д. В первом приближении для месторождений олова и вольфрама, локализованных в Тихоокеанском поясе на территории России, коэффициент может быть принят для рудно-магматических системы района равным $n \cdot 10^{-6}$, узла — $n \cdot 10^{-4}$, поля — $n \cdot 10^{-2}$. Обычная прямая корреляция между размерами рудного таксона и масштабом оруденения позволяет величину n в коэффициенте принять равной n в размере площади изучаемого таксона. Добавим к сказанному, что все разведанные месторождения рассматриваемых формаций локализованы в приповерхностных условиях. Протяженность рудных тел на глубину в слабоэродированных объектах редко достигает 1 км. В этом интервале, очевидно, локализуются и скрытые рудные скопления, прямые

признаки которых в виде точек минерализации, шлиховых и геохимических ореолов фиксируются на поверхности. Поэтому коэффициент продуктивности несет в себе информацию о той части оруденения, которая сконцентрирована вблизи поверхности и будет пригодна для промышленного освоения.

Из-за приближенности параметров рудного района его расчетный металлогенический потенциал следует относить к категории металлогенических (потенциальных) ресурсов. Более надежные параметры рудного узла позволяют соотнести расчетную оценку с прогнозными ресурсами кат. P_3 . Расчетная оценка ресурсов рудного поля по фиксированным параметрам удовлетворяет требованиям прогнозных ресурсов кат. P_2 . Таким образом, каждому рудному таксону дается своя категория прогноза. Следует подчеркнуть, что используемый математический аппарат позволяет каждому специалисту воспроизвести и проверить результаты расчета прогнозных ресурсов. Расчеты ресурсов рудных таксонов одного ранга в едином ключе на разных территориях дадут возможность отсортировать их по степени продуктивности и выбрать наиболее надежные для постановки детальных поисков скрытого оруденения.

Состав и последовательность работ. В практике геологоразведочных работ поиски месторождений проводятся в уже известных рудных районах. Более актуально выявление и оценка прогнозных ресурсов скрытого оруденения в рудно-магматических системах узлов и полей. Для этого на стадии поисков предлагается следующая последовательность работ. Первый этап включает локальное металлогеническое районирование, при котором на площади района морфоструктурным анализом выделяются МЦТ, отвечающие рангам рудных узлов и полей. Рудные районы на территории России покрыты геологическими и гравиметрическими съемками масштаба 1:200 000 (А.Ф. Морозов и др., 2012). На их площадях в большинстве своем прошли региональные [3] и многочисленные специализированные геохимические исследования. По этим ретроспективным материалам осуществляется металлогенический анализ масштаба 1:200 000 с выделением объемных структур рудно-магматических систем узлов, определение их рудоносности и подсчет прогнозных ресурсов кат. P_3 .

На втором этапе в перспективных для локализации оруденения узлах выявляются рудные поля и рассчитываются прогнозные ресурсы полезного ископаемого кат. P_2 . Масштаб работ — 1:50 000. Морфоструктурными исследованиями определяются границы рудных полей. По материалам геологических съемок названного масштаба, имеющихся на территории рудных узлов, выполняется предварительная разбровка рудных полей на предмет рудоносности. К сожалению, такие съемки велись в прошедшем веке и значительно устарели. Поэтому на площадях отобранных рудных полей необходимы специализированные геологические исследования для уточнения вещественного состава пород, структуры и других сведений о строении их рудно-магматических систем.

Гравиметрические исследования и геохимические работы по первичным ореолам рассеяния требуемого

масштаба на территориях подавляющей части узлов и полей не проводились. Постановку их следует предусмотреть. В предлагаемой методике для выявления объемных границ и внутреннего строения рудно-магматических систем результаты гравиметрических исследований интерпретируются в современных формах 3D.

Обработку результатов анализов геохимических проб по первичным ореолам рассеяния необходимо провести с использованием новой компьютерной технологии геохимической томографии [1]. Она дает возможность выделять объемные геохимические аномалии, определять положение скрытых центров рудокализации, устанавливать их эрозионный срез, формационную принадлежность и, главное, получать количественные оценки прогнозных ресурсов в аномальных геохимических полях.

Выполнение перечисленных видов исследований позволит выделить участки локализации скрытого оруденения и рассчитать прогнозные ресурсы кат. P_2 . По их результатам намечаются участки проведения поисково-оценочных работ следующей стадии с рекомендациями мест заложения буровых скважин и подземных горных выработок для вскрытия глубоко залегающего оруденения.

В заключение следует подчеркнуть, что в статье намечены первые контуры методики прогноза и оценки скрытого оруденения, которые уже дали положительные результаты [3, 8]. Для ее полной разработки и внедрения необходима постановка широких тематических работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурого А.И., Бурого В.А. Теория и методы геохимической томографии в задачах поисковой геохимии // Прикладная геохимия. Прогноз и поиски. — 2002. — Вып. 3. — С. 49–85.
2. Вольфрамные месторождения, критерии их поисков и оценки / Под ред. Ф.Р. Апельцина. — М.: Недра, 1980.
3. Головин А.А., Межеловский Н.В., Челкасова Т.В. Региональное геохимическое изучение России: результаты, эффективность и проблемы // Разведка и охрана недр. — 2010. — № 5. — С. 6–13.
4. Изох Э.П. Оценка рудоносности гранитоидных формаций в целях прогнозирования. — М.: Недра, 1978.
5. Минерагеническая карта России. Масштаб 1:5 000 000. — М.: МПР РФ, ВСЕГЕИ, ГЕОКАРТ, 2006.
6. Митрофанов Н.П. Значение взаимоотношений калия и олова в известково-щелочных гранитоидах для металлогении // Бюл. МОИП. Отд. геол. — 2006. — Т. 81. — Вып. 1. — С. 74–84.
7. Митрофанов Н.П., Павловский А.Б. Локальное металлогеническое районирование — основа расчета прогнозных ресурсов // Руды и металлы. — 2006. — № 6. — С. 47–50.
8. Митрофанов Н.П., Аведисян В.И., Шлыков С.А. Состояние и направление прогнозных исследований на твердые полезные ископаемые // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 3. — С. 10–17.
9. Митрофанов Н.П. Формационно-генетические и промышленные типы вольфрамных месторождений России // Руды и металлы. — 2013. — № 3. — С. 5–20.
10. Павловский А.Б., Митрофанов Н.П., Бурова Т.А. Источники и рудно-формационные особенности крупных месторождений высококачественных оловянных руд // Отечественная геология. — 1998. — № 4. — С. 21–28.
11. Покалов В.Т. Рудно-магматические системы гидротермальных месторождений. — М.: Недра, 1992.
12. Схема металлогенического районирования территории России. Масштаб 1:5 000 000. — М.: МПР РФ, ИМГРЭ, ГЕОКАРТ, 2002.

© Митрофанов Н.П., 2015

Митрофанов Николай Павлович // vims-mitrofanov@mail.ru