

## **МАГМАТИЗМ ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ: ГИС-ПРОЕКТ, БАЗЫ ДАННЫХ, ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ И ПРОГНОЗНЫЕ МОДЕЛИ**

**А.В. Костин**

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр-т Ленина, 39*

Территория Восточной Якутии характеризуется совмещением золотой, серебряной, медной и оловянной минерализации, что обусловлено различной рудопродуктивностью магматизма. Интегрирование в единый ГИС-проект пространственных и аналитических данных о гранитоидах, снимков Landsat-7 и Landsat-8, ассоциирующих проявлений полезных ископаемых и шлиховых ореолов позволяет строить поисковые модели и выбирать для заверки наиболее перспективные рудно-магматические узлы. Полученные данные позволяют прогнозировать три группы связанной с гранитоидами минерализации: 1) Au–Cu–Mo, 2) Sn, 3) U.

*ГИС, гранитоиды, золото, медь, молибден, олово, уран.*

## **MAGMATISM OF EAST YAKUTIA: GIS-PROEKT, DATABASES, MINERALS AND EXPECTED MODELS**

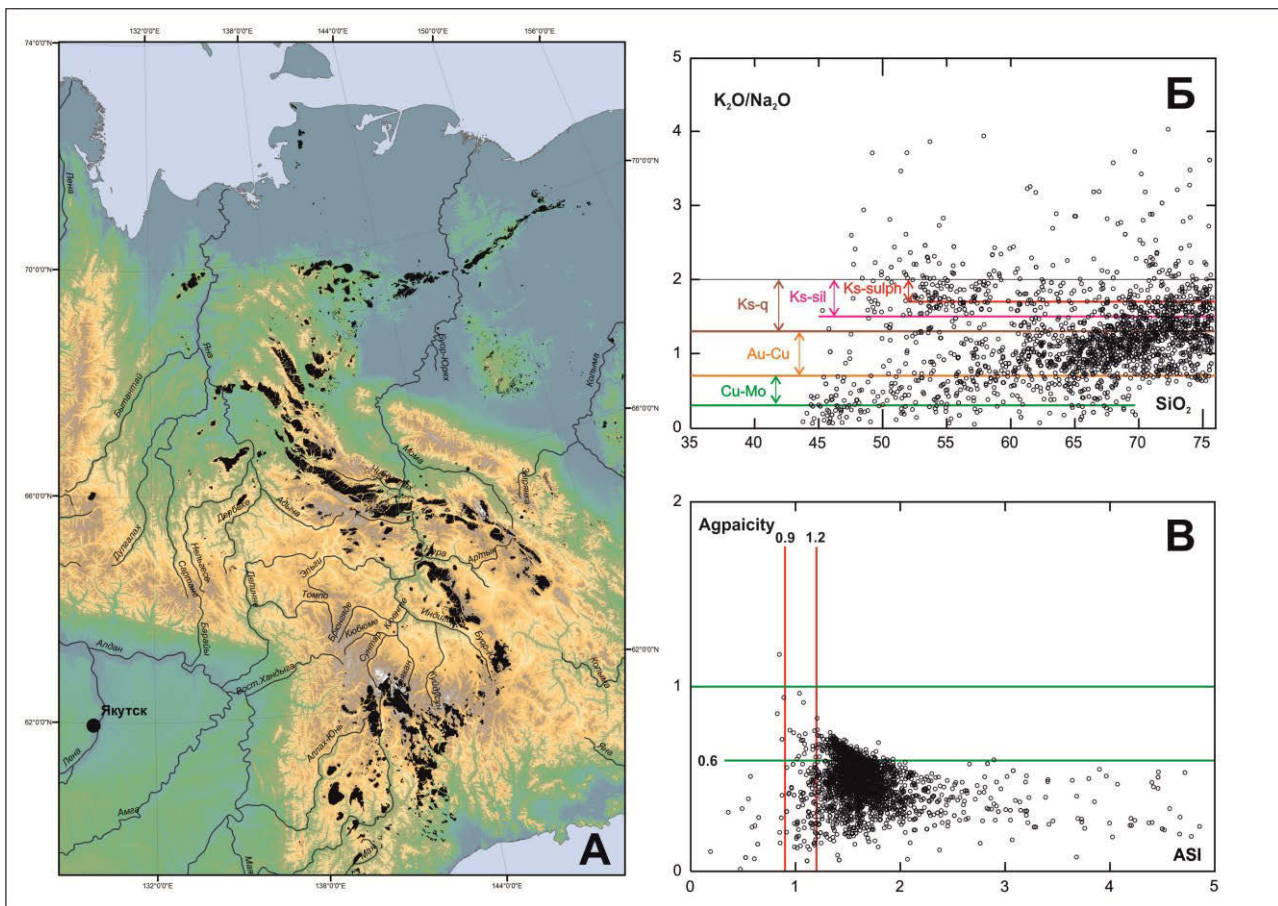
**A.V. Kostin**

The territory of East Yakutia is characterized by combination of a gold, silver, copper and tin mineralization that is caused by various different productivity ore-magmatism. Integration in the uniform GIS-draft of spatial and analytical data on the granitoids, Landsat-7 and -8 images and associated manifestations of minerals and placer halos allows developing prospecting models and choose the most promising ore clusters for authentication. The obtained data allow to predict three groups of the mineralization connected with granitites: 1) Au–Cu–Mo, 2) Sn, 3) U.

*GIS, granitoids, gold, copper, molybdenum, tin, uranium*

Роль магматизма в формировании эндогенного оруденения огромна. При этом не существует единой электронной системы учета магматических проявлений, связанных баз данных химических составов пород, ассоциирующих проявлений полезных ископаемых для Восточной Якутии. Не выработаны механизмы прогнозирования скрытых магматических тел в слабообнаженных районах, где известны россыпные проявления золота. На примере Верхоянского складчатого пояса Восточной Якутии была разработана концепция использования ГИС-технологий для типизации плутонов и оценки их рудного потенциала.

Для создания ГИС-реестра были оцифрованы плутоны с карт масштабов 1:500 000 и 1:200 000 (рис. 1а). К ним присоединена база данных химических анализов интрузивных пород (более 10 000 проб, характеризующих более 350 массивов), позволяющая интерпретировать аналитические данные вещественного состава магматических пород, рассчитывать для них различные петрохимические модули и индексы, выносить эти данные на типовые диаграммы и графики, а также создавать собственные графические зависимости и схемы распределения.



**Рис. 1. Гранитоиды Восточной Якутии и их металлогеническая специализация.**

*a* – ГИС-кадастр гранитоидов на цифровом рельефе; *б* – диаграмма зависимости  $\text{SiO}_2$  от  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  и разделительные линии для медно-молибденовых (Cu–Mo) [7], золотомедных (Au–Cu) [7], касситерит-кварцевых (Ks-q), касситерит-силикатных (Ks-sil) и касситерит-сульфидных (Ks-sulph) месторождений; *в* – диаграмма зависимости ASI [ $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}-1,67\times\text{P}_2\text{O}_5+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ ] от Appacity [ $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ ] и ограничительные линии для обогащенных U гранитоидов Австралии [9].

В атрибутивной таблице плутонов автоматически вычисляются их площади, что дает возможность оценивать степень эрозионного среза и, соответственно, их рудный потенциал. По снимкам Landsat 7 дешифрированы и добавлены в проект ассоциирующие с интрузивами поля Fe-оксидной минерализации. В ГИС-проект включены реестр рудопроявлений полезных ископаемых (около 12 000 точек), который позволяет оценивать околоинтрузивную эндогенную зональность рудных узлов и полей, и реестр находок шлихового золота с данными о пробах. Построены и присоединены к ГИС-проекту шлиховые ореолы золота, касситерита, киновари и галенита. Сделанные на их основе карты плотностей шлиховых ореолов позволяют оценить пространственную металлогеническую эволюцию рудно-магматических узлов Восточной Якутии в целом и металлогеническую специализацию отдельных интрузивов в частности.

Фоновой основой для магматических образований служат оцифрованная геологическая карта м-ба 1:500 000, цифровой рельеф, поверхность гравитационных аномалий (редукция в свободном воздухе) и поверхность аномалий магнитного поля,

которая помогает выявить не вскрытые эрозионным срезом интрузивы, что существенно уточняет геометрию интрузивных рядов.

**Созданная информационная система позволяет применять различные поисковые алгоритмы для оценки рудоносного потенциала плутонов.** Считается, что многие месторождения благородных металлов являются производными медно-порфировой базовой формации [1, 4]. Многообразие минеральных форм проявления Au–Cu–Mo порфирировых систем позволило включить в эту группу все известные Fe-оксидные–Cu–Au (IOCG) месторождения [6], первая находка которых в Восточной Якутии была сделана в 2011 г. в Реп-Юреинском рудно-магматическом узле [8].

Рассмотрим на примерах различных металлов применимость модельных построений на основе созданной ГИС.

**Медь и золото.** Для анализа потенциала интрузий на Au–Cu и Cu–Mo минерализацию использовалась модель медно-порфирировых месторождений Монголии [7] в которой отношение  $K_2O/Na_2O = 0,3–0,7$  соответствует Cu–Mo, а  $0,7–1,3$  – Au–Cu рудно-магматическим системам (рис. 1б). Потенциально перспективные на Au–Cu оруденение интрузии относятся к высококалиевой, известково-щелочной и шшонитовой сериям. Алгоритм фильтрации плутонов основывается на запросе вида:

- для перспективных Cu–Mo плутонов:  $K_2O/Na_2O$  Between 0,3 And 0,7;
- для перспективных Cu–Au плутонов:  $K_2O/Na_2O$  Between 0,7 And 1,3.

Средствами ГИС-анализа выделены плутоны (площадью выхода не более  $5 \text{ км}^2$ ), высокоперспективные на обнаружение Cu–Mo и Au–Cu минерализации: Абырабытский, Артыкский, Ахитанский, Бугдагарский, Гельдинский, Горбы, Заохренный, Карский, Кис-Кюельский, Кысылтасский, Незаметный, Поворотный, Реп-Юреинский, Светлый, Секетский, Супский, Таланнахский, Тумус-Хаинский, Холодный, Чуруктинский, Эначинский, Эндыбальский, Явтахский, Якутский.

В контурах Заохренного, Кис-Кюельского, Кысылтасского, Реп-Юреинского, Супского, Чуруктинского и Эндыбальского плутонов обнаружены различные минеральные формы проявления Au–Cu–Mo порфирировых и Fe-оксидных–Cu–Au минеральных систем.

**Уран.** На примере месторождений Австралии показано [9], что U-содержащие интрузивные породы глобально важны, а их валовый состав играет важную роль в геохимическом поведении урана в магматических системах. Наибольшие его концентрации отмечены для графиков:

- $ASI - U$ : индекс  $ASI$  Between 0,9 And 1,2;
- $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3 - U$ : агнаитовый индекс Between 0,6 And 1,0.

Анализ базы данных химических составов плутонов Восточной Якутии по предложенной модели показывает (см. рисунок, в), что здесь возможно наличие урансодержащих рудно-магматических систем.

**Олово.** На примере месторождений Восточной Якутии установлено [5], что магматическим критерием служит пространственная ассоциация касситерит-кварцевых и

касситерит-силикатных месторождений с выходами биотитовых и лейкократовых гранитов. Для касситерит-сульфидных месторождений намечается связь с менее кислыми гранитоидами. Характерная особенность оловоносных гранитоидов – резкое преобладание калия над натрием;

- *Касситерит-кварцевые (Одинокое) –  $K_2O/Na_2O$  Between 1,3 And 2,0;*
- *Касситерит-силикатные (Черпунья) –  $K_2O/Na_2O$  Between 1,5 And 2,0;*
- *Касситерит-сульфидные (Депутатское) –  $K_2O/Na_2O$  Between 1,7 And 2,0.*

Интервал отношений  $K_2O/Na_2O$  закономерно уменьшается от касситерит-кварцевых к касситерит-сульфидным месторождениям (см. рисунок, б), что может косвенно отражать глубину становления рудно-магматической системы.

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАГМАТОГЕННЫЕ СТРУКТУРЫ В ТЕНЕВОМ РЕЛЬЕФЕ**

Малые магматогенные тела (размером первые километры), с которыми часто связана разнообразная благороднометаллическая рудная минерализация, почти всегда контрастно выделяются в сглаженном рельефе среди вмещающих пород. В горных областях с резко пересеченным рельефом это свойство выражено не так явно. Перспективны изометричные и линейные размером магматогенные структуры от сотен метров до первых километров. К типичным **кольцеобразным** структурам относятся Кондерская (Pt), Инаглинская (Pt), Чуруктинская (Mo-Cu±W), к **куполовидным** – мелкие изометричные магматогенные тела Центрально-Алданского золоторудного района: сиенит-порфиры (массивы Приалданский, Угоян, Былчынг, Тигдиляннх, Соболдюн, Халынг-Мус, Дария-Дянгыта, Усть-Селигдар, Селигдар), щелочные пикробазальты (диатрема Опытная), к **линейным** – дайки кимберлитовых полей, образующие уступы в карбонатных породах.

На основе специфического проявления в виде затемненных изометричных пятен на картах теневого рельефа известных малых интрузий можно попытаться обнаружить новые аналогичные структуры в районах с относительно плохой обнаженностью, например, в Лено-Виллюйском междуречье, где известно множество проявлений россыпной золотоносности, но коренные источники так и не обнаружены. Анализ цифрового рельефа позволил выявить в отложениях средней юры истоков рр. Кемпендй и Кюндй кольцеобразную структуру, аналогичную кондерской и инаглинской, к которой приурочены находки россыпного золота с примесью платины [3]. В нижнемеловых отложениях в истоках р. Тюгене обнаружены купольные структуры диаметром 3,32 и 1,5 км [2], сопровождаемые радиальными разломами, что может соответствовать небольшим интрузивным куполам.

Таким образом, на основе созданной ГИС возможно построение геологических моделей развития территории Восточной Якутии, а также выявление новых рудопродуктивных магматических систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Константинов М.М., Костин А.В., Сидоров А.А. Геология месторождений серебра. Якутск. 2003. 280 с.
2. Костин А.В. Моделирование карты теневого рельефа Якутии средствами ГИС для прогнозирования потенциальных рудно-магматических систем // Наука и образование, 2010. № 1. С. 63–70.
3. Никифорова З.С., Каженкина А.Г. Предполагаемые коренные источники Au-Pt формации Лено-Вилуйского междуречья // Материалы Всероссийской научной конференции «Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений», посвященная 100-летию со дня рождения академика Н.А. Шило. Москва, 2013. С. 225.
4. Сидоров А.А., Томсон И.Н. Базовые рудные формации // Тихоокеанская геология. 1987. № 5. С. 102–108.
5. Флеров Б.Л. Оловорудные месторождения Яно-Колымской складчатой области. Новосибирск, Наука. 1976. 283 с.
6. Corriveau L. Mineral Deposits of Canada: Iron Oxide Copper-Gold Deposits: A Canadian Perspective / Goodfellow W.D. et al. Mineral deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 2007. № 5. P. 307–328.
7. Gerel O. Mineral resources of the western part of the Mongol-Okhotsk Foldbelt / Ishihara S. & Czamanske G.K. eds. Resource Geology Special Issue 18, 1995. P. 151–157.