

УДК 551.243+550.42:549.71

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В КАССИТЕРИТЕ ОЛОВЯННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

© 2004 г. Член-корреспондент РАН А. И. Ханчук, Н. В. Гореликова, В. Павловска-Глэн,
Р. Толозана-Дельгадо

Поступило 15.06.2004 г.

В пределах аккреционно-складчатой системы Сихотэ-Алиня (Дальний Восток, Россия) наблюдается серия сложных полиминеральных месторождений олова и вольфрама, образованных в различных геодинамических обстановках континентальных палеоокраин. В период с J по P в развитии Дальневосточного региона неоднократно чередовались обстановки надсубдукционных (андийских) и трансформных (калифорнийских) континентальных окраин, что обусловило смену процессов магматизма, с которым связано формирование большинства известных крупных месторождений олова и вольфрама [1].

Анализ геологических данных свидетельствует о том, что локализация полигенных месторождений определяется их приуроченностью к структурам континентальных палеоокраин, в которых произошло наложение друг на друга субдукционных и трансформных обстановок, что привело к формированию полиформационных типов оруденения. Изотопно-геохимические данные указывают, что источники гранитного магматизма и рудоносных флюидов в пределах этого региона имеют гетерогенное происхождение, и связаны, с одной стороны, с субдукцией, а с другой – с внедрением астеносферных диапиров в разрывы субдуцированной литосферы (slab-window). Это дает основание предполагать, что рудно-магматические системы имеют сложное многоступенчатое строение, что определило многоэтапность оруденения.

В юрско-палеогеновой геодинамической эволюции окраин Азиатского континента на юге Дальнего Востока выделяются следующие этапы: 1) юра – начало мела (180–140 млн. лет) – над-

субдукционная окраина; 2) ранний мел–ранний сеноман (140–93 млн. лет) – трансформная окраина; 3) поздний сеноман–палеоцен (93–55 млн. лет) – надсубдукционная окраина; 4) эоцен–олигоцен (55–23 млн. лет) – трансформная окраина.

Оловорудные месторождения Комсомольского района расположены в пределах Хингано-Охотского металлогенического пояса, который сформировался в обстановке трансформной окраины. Некоторые датировки указывают на завершение магматизма в Хингано-Охотском поясе после сеномана параллельно с надсубдукционным магматизмом в Восточно-Сихотэ-Алинском поясе. В Кавалеровском районе оловоносный магматизм отмечается в интервале 105–45 млн. лет и связан с геодинамическими режимами трансформной, надсубдукционной и снова трансформной окраины (рис. 1).

Согласно новой геодинамической модели рудных месторождений [2], оловорудные месторождения Дальнего Востока образованы в условиях меняющихся геодинамических режимов от ранней трансформной континентальной окраины калифорнийского типа к активной континентальной окраине андийского типа и снова к молодой трансформной окраине. Чтобы выяснить правомочность этой модели для оловорудных месторождений, проведено изучение геохимических ассоциаций в касситеритах с использованием нового методологического подхода, основанного на геометрии Атчисона [3]. Как установлено ранее, статистический анализ геохимических ассоциаций минералов свидетельствует о том, что ассоциации в минералах обусловлены различными факторами, такими, как глубинное строение коры, тип магматизма, с которым связано оруденение, и генетический тип месторождений. Ассоциации в минералах из месторождений, образованных на сиалической коре, характеризуются литофильным составом, в то время как сидерофильные элементы преобладают в минералах, связанных с гранитными сериями повышенной основности, типичными для зон перехода от океана к континенту [4]. Как уста-

*Дальневосточный геологический институт
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Владивосток
Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва
Университет Жирона, Барселона, Испания*

новлено с помощью многомерной статистики, геохимические ассоциации касситеритов являются надежными критериями генетического типа и продуктивности оруденения [5].

С целью выявления индикаторных свойств, характеризующих рудно-магматические системы, проведено сравнительное изучение геохимических особенностей касситеритов из месторождений Приморья и Комсомольского района Дальнего Востока. Исследованы оловорудные месторождения Фестивальное и Перевальное Комсомольского района, расположенные в пределах Хингано-Охотского металлогенического пояса, и крупные месторождения Кавалеровского района, приуроченные к Сихотэ-Алинской складчатой системе. Геохимическая база данных, использованная в работе, составляет около 1000 образцов касситерита, в которых методом количественного спектрального анализа проанализированы следующие элементы: Sc, W, Nb, V, Cr, Be, Ti, Zr, Fe, Mn. В Комсомольском рудном районе исследованы руды месторождений Фестивальное и Перевальное, в Кавалеровском районе – несколько зон Высокогорского месторождения (Кулисная, Тектоническая и 8-я Восточная) и несколько зон Арсеньевского месторождения (Южная, Индукционная, Фельзитовая, Турмалиновая, Подружка), формирование которых происходило в различных геодинамических обстановках. Чтобы выявить, влияет ли геодинамическая обстановка на геохимические ассоциации минерала, проведено сравнительное изучение описанных месторождений с использованием специального математического подхода.

Используемая методология состоит в комбинации кластерного и дискриминантного анализов на основе атчисоновой геометрии симплекса [6]. Структура имеющихся данных представляется в векторном евклидовом пространстве с ортонормированным базисом [7]. Преимущество этого метода по сравнению с классическими статистическими методами состоит в геометрическом подходе и наглядном представлении данных.

В рассматриваемом случае пространство выборки представлено 12-гранным симплексом, алгебро-геометрическая структура которого описана в [8]. Процедура математической обработки сводится к следующему: 1) данные состава минерала выражаются в координатах ортонормированного базиса симплекса; эти координаты представляют собой логарифмы отношений компонент; 2) статистический анализ выполняется прямо в этих координатах; 3) результаты анализа интерпретируются в симплексе путем отнесения их к использованному базису.

С целью характеристики различий между изучаемыми месторождениями эта общая процедура была применена к выборке элементов-примесей касситеритов. При этом использованы основан-

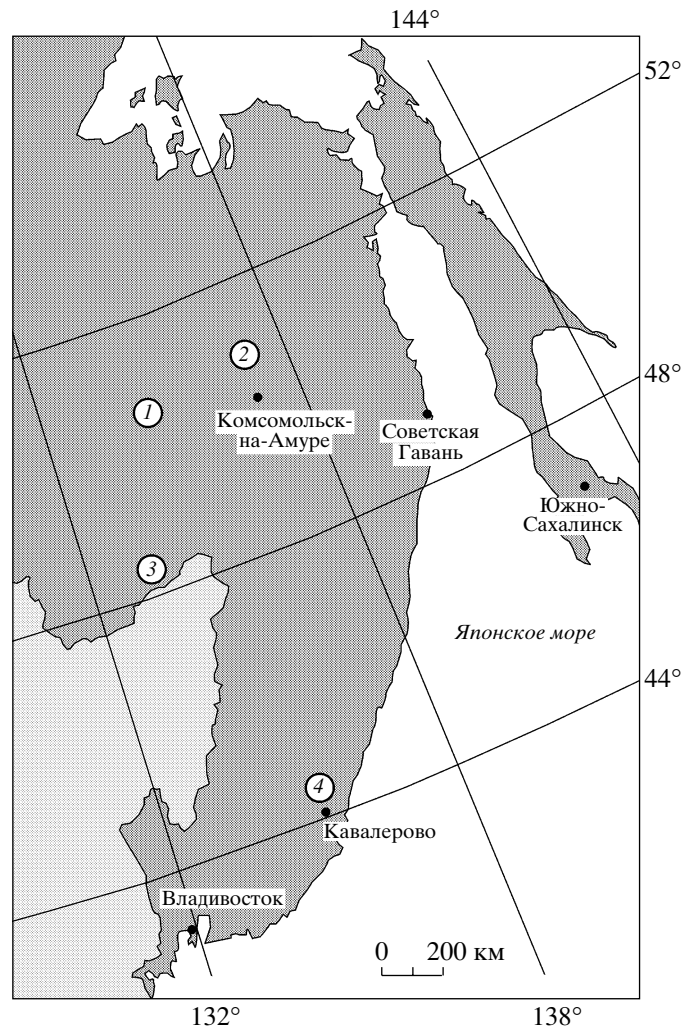


Рис. 1. Схематическая карта рудных районов Дальнего Востока России. Рудные районы: 1 – Баджаловский, 2 – Комсомольский, 3 – Хинганский, 4 – Кавалеровский.

ный на одноканальной декомпозиции графический метод представления данных, названный bi-plot [9], кластерный анализ и иерархический бинарный дискриминантный анализ, основанный на правиле Фишера. Графический метод bi-plot объясняет 68% полной изменчивости выборки и позволяет построить тройную диаграмму в координатах In, Nb, V, в которой представление данных воспроизводит большую часть изменчивости, присущей им. Кластерный анализ использует квадрат расстояния Атчисона как критерий отличия, с помощью которого полная выборка делится на 4 группы, соответствующие некоторым из рассмотренных зон. Первая группа представлена Высокогорским месторождением, зоной Фельзитовой Арсеньевского месторождения и Перевальным месторождением Комсомольского района. Вторую группу образуют широтные зоны

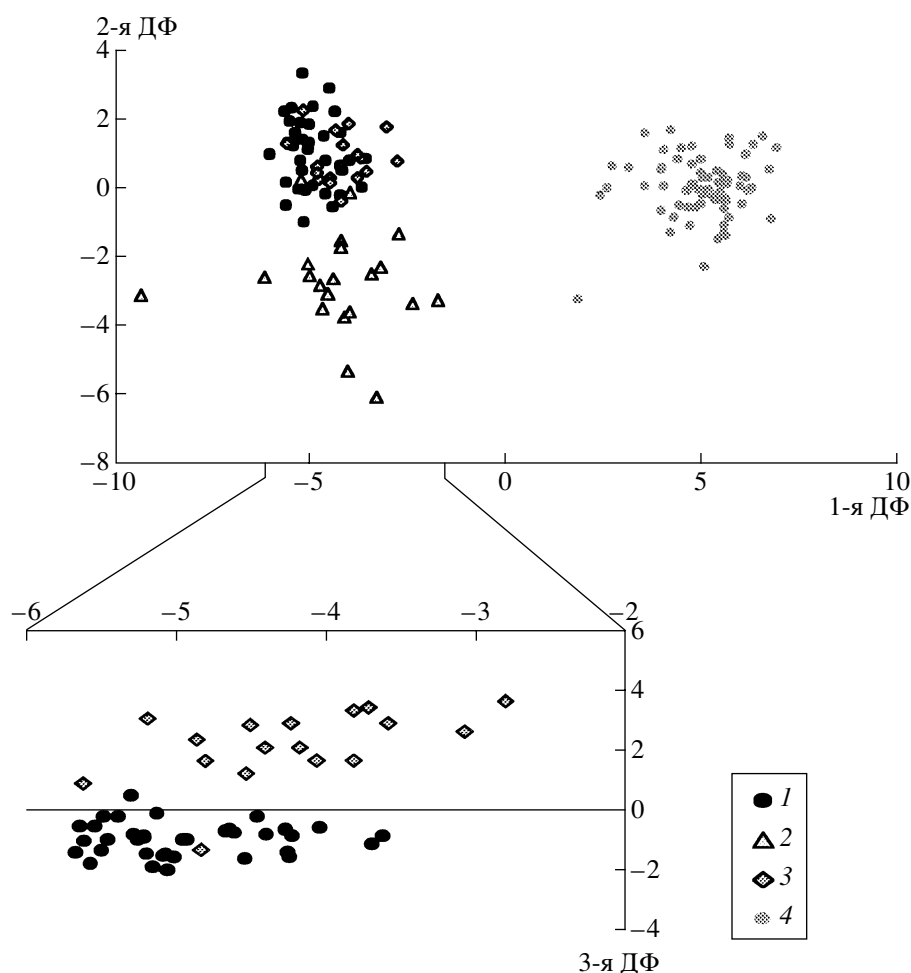


Рис. 2. График значений дискриминантных функций. Здесь и на рис. 3, 4: группы: 1 – месторождения Высокогорское, Перевальное + зона Фельзитовая месторождения Арсеньевское; 2 – зоны Турмалиновая и Подружка месторождения Арсеньевское; 3 – зона Южная месторождения Арсеньевское; 4 – зона Индукционная месторождения Арсеньевское. ДФ – дискриминантная функция.

Турмалиновая и Подружка Арсеньевского месторождения и Фестивальное месторождение Комсомольского района. Третья и четвертая группы являются подгруппами внутри Арсеньевского месторождения, соответствующими зонам Южная и Индукционная. На рис. 2 представлено пространственное распределение всех выборок касситеритов, соответствующих зонам изученных оловорудных месторождений. Характер распределения проб касситеритов свидетельствует о контрастном разделении трендов в разных частях пространства выборки, соответствующих двум типам геодинамических обстановок, что обусловлено различием в составе элементов-примесей.

Ошибка классификации на основе полученных правил среди этих групп составляет менее 3%. Путем корреляции дискриминантных функций с логарифмами отношений получены следующие функции: $f_1 = 1.72 \ln(\ln \text{TiFe}/\text{Sc} \cdot \text{V} \cdot \text{Rst}) - 2.0$, которая имеет только положительные значения в

группе 4 и отрицательные в остальных группах; $f_2 = 0.74 \ln(\text{V}/\text{Nb}) + 0.275$, которая имеет отрицательные значения в группе 2 и положительные в других двух группах; $f_3 = (3.13 - 0.99) \ln(\text{Sc}/\text{Zr})$, которая представлена отрицательными значениями в группе 1 и положительными в группе 3. Таким образом, дискриминантные правила позволяют четко различать выделенные группы месторождений с помощью полученных функций (рис. 2).

Полученные результаты показывают, что оловорудные месторождения группируются на графиках согласно геодинамическим обстановкам, что отражено на рис. 3 и 4.

На графиках мы видим четкое различие между группами 1–2 (трансформная окраина) и 3–4 (активная окраина). Графики и тройные диаграммы показывают тренды месторождений Комсомольского района и Высокогорского месторождения, которые обособляются от трендов зон Арсеньевского месторождения, за исключением широт-

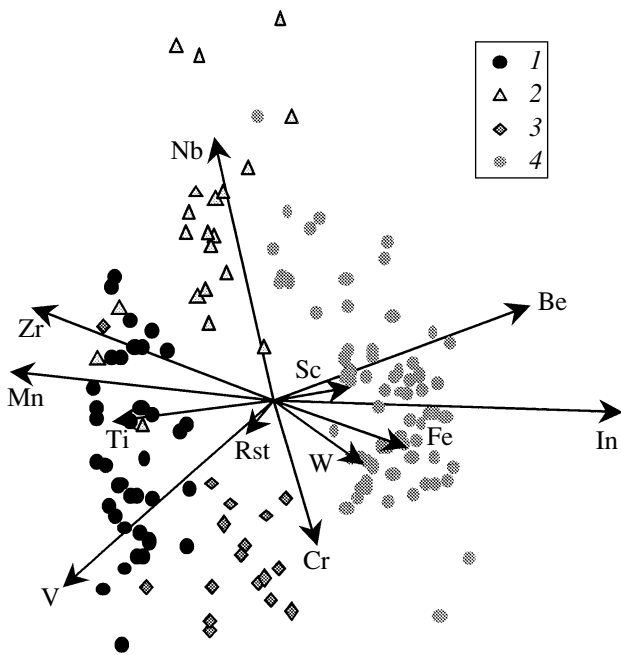


Рис. 3. Пространственное распределение касситеритов оловорудных зон Приморья и Приамурья.

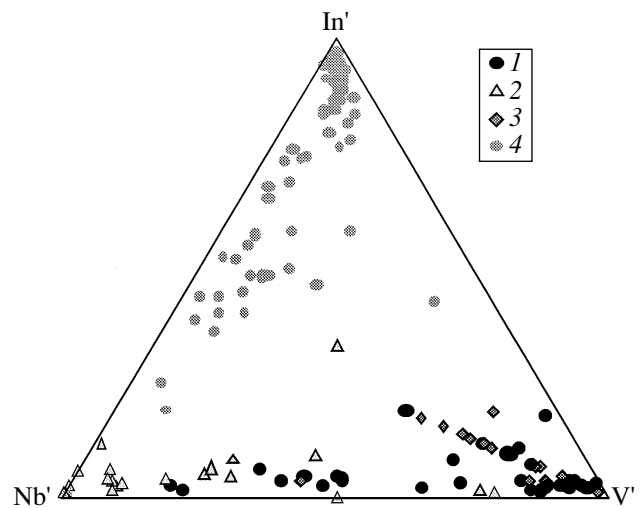


Рис. 4. Тройная диаграмма составов касситеритов оловорудных месторождений.

ных зон, образование которых связано с обстановкой трансформной окраины, что сближает их с зонами Комсомольского района и Высокогорского месторождения. И хотя они имеют некоторые различия, отраженные на графиках, тем не менее они имеют больше черт сходства. И это свидетельствует о том, что геодинамическая обстановка оказывает наиболее существенное влияние на режим рудообразования, что отражается на составе минералов.

Таким образом, на основании проведенного исследования геохимических ассоциаций касситеритов из оловорудных месторождений Дальнего Востока можно классифицировать их на две основные группы, соответствующие наиболее вероятным геодинамическим обстановкам – ранней мелового возраста (Комсомольский район и широтные зоны Арсеньевского месторождения) и поздней эоценового возраста трансформной окраины, характерной для Высокогорского месторождения, и обстановке активной окраины, в условиях которой формировались субмеридиональные зоны Арсеньевского месторождения. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что различия в составе касситеритов обусловлены в первую очередь особенностями флюидного режима, что в конечном счете определяется особенностями геодинамического режима. Выявленные геохимические различия минералов могут быть

использованы для идентификации оловянных месторождений, образованных в различных геодинамических обстановках, и дать дополнительный материал для обоснования новой геодинамической модели оловянных месторождений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 04–05–65270) и Испанского правительства (проект ВЕМ2003–05640/МАТЕ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ханчук А.И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России. Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 5–34.
2. Khanchuk A.I., Gonevchuk V.G., Bortnikov N.S., Gorelikova N.V. In: Mineral Exploration and Sustainable Development. Proc. VII. SGA. Athens, 2003. P. 295–298.
3. Aitchison J. The Statistical Analysis of Compositional Data. L.: Chapman and Hall, 1986. 416 p.
4. Гореликова Н.В. Парагенезисы микроэлементов турмалина оловорудных месторождений. Владивосток, 1988. 125 с.
5. Gorelikova N., Tchijova I. In: Proc. IAMG97. Barcelona, 1997. P. 997–1002.
6. Tolosana-Delgado R., Palomera-Roman R., Gimeno-Torrento D. et al. In: Proc. IAMG'02. B., 2002. P. 435–440.
7. Pawlowsky-Glahn V., Egozcue J. // Stochast. Environ. Res. and Risk Assessment. 2001. V. 15. № 5. P. 384–398.
8. Aitchison J., Barceló-Vidal C., Egozcue J.J., Pawlowsky-Glahn V. In: Proc. IAMG'02. B., 2002. P. 387–392.
9. Aitchison J., Greenacre M. // Appl. Stat. 1997. V. 51. № 4. P. 375–392.