

1. Авченко, О.В. Локальный метаморфизм рудно-метасоматических образований Березитового месторождения / О.В. Авченко, А.С. Вах, В.Г. Сахно и др. // ДАН. — 2010. — Т. 432. — № 2. — С. 203–209.
2. Авченко, О.В. Генезис Березитового золотополиметаллического месторождения (на основе данных по изотопному составу свинца, кислорода и серы) / О.В. Авченко, А.С. Вах, Н.А. Горячев и др. // ДАН. — 2013. — Т. 453. — № 2. — С. 185–189.
3. Авченко, О.В. Генезис гранатосодержащих пород Березитового месторождения (Верхнее Приамурье, Россия) / О.В. Авченко, А.С. Вах, К.В. Чудненко, В.О. Худоложин // Геология рудных месторождений. — 2014. — Т. 56. — № 1. — С. 19–40.
4. Беляева, В.Р. Образование анортитсодержащих грейзенов одного из рудных полей (Верхнее Приамурье) / В.Р. Беляева, Б.Л. Залищак // Тихоокеанская геология. — 1989. — № 3. — С. 95–102.
5. Васильев, И.А. Золотая минерализация Сергачинской металлогенетической зоны (Верхнее Приамурье) / И.А. Васильев, А.Г. Старк, В.А. Степанов / Генетические типы и закономерности размещения месторождений золота Дальнего Востока. — Новосибирск: Наука, 1976. — С. 98–104.
6. Вах, А.С. Золотая минерализация и особенности генезиса Березитового полиметаллического месторождения (Верхнее Приамурье) / А.С. Вах: Автореф. канд. дисс. — Владивосток: ДВГИ ДВО АН СССР, 1989. — 23 с.
7. Вах, А.С. Березитовое золотополиметаллическое месторождение; геологическое строение и состав руд / А.С. Вах, В.А. Степанов, О.В. Авченко // Руды и металлы. — 2008. — № 6. — С. 44 — 55.
8. Вах, А.С. Березитовое золотополиметаллическое месторождение / А.С. Вах, В.Г. Моисеенко, В.А. Степанов, О.В. Авченко // ДАН. — 2009. — Т. 425. — № 2. — С. 204–207.
9. Вах, А.С. Высокоглиноземистый титанит в минеральных ассоциациях Березитового золотополиметаллического месторождения (Верхнее Приамурье) / А.С. Вах, О.В. Авченко, А.А. Карабцов, В.А. Степанов // Записки РМО. — 2010. — № 6. — С. 100–113.
10. Вах, А.С. Червандонит-(Се) в рудах Березитового месторождения — вторая находка в мире / А.С. Вах, О.В. Авченко, А.А. Карабцов // Тихоокеанская геология. — 2010. — № 3. — С. 14–23.
11. Вах, А.С. Минералы Pb-As-Sb-S и Cu-Pb-As-Sb-S систем в рудах золотополиметаллического месторождения Березитовое (Верхнее Приамурье, Россия) / А.С. Вах, О.В. Авченко, В.И. Гвоздев, Н.А. Горячев, А.А. Карабцов, Е.А. Вах // Геология рудных месторождений. — 2019. — Т. 61. — № 3. — С. 64–84.
12. Мельников, А.В. Золотополиметаллическое месторождение Березитовое: основные минерогенетические особенности, возраст и связь с магматизмом / А.В. Мельников, А.А. Сорокин, В.А. Пономарчук, А.В. Травин, А.П. Сорокин // Геология и геофизика. — 2009. — № 3. — С. 258–265.
13. Мельников, А.В. Березитовый рудно-россыпной узел: геологическое строение и перспективы золотоносности / А.В. Мельников, В.А. Степанов, А.С. Вах // Вестник АмГУ. — 2014. — Вып. 67. — С. 101–109.
14. Месторождения рудного золота Приамурской провинции / Под ред. В.А. Степанова. — Благовещенск: АмГУ, 2017. — 150 с.
15. Моисеенко, В.Г. Золоторудные месторождения Востока России / В.Г. Моисеенко, Л.В. Эйриш. — Владивосток: Дальнаука, 1996. — 352 с.
16. Приамурская золоторудная провинция / Под ред. В.А. Степанова. — Благовещенск: АмГУ, 2008. — 232 с.
17. Рудно-россыпные узлы Приамурской золотоносной провинции. Часть 2. Центральная часть провинции / Под ред. В.А. Степанова. — Благовещенск: АмГУ, — 2014. — 300 с.
18. Степанов, В.А. Золото-серебро-полиметаллические месторождения Приамурья / В.А. Степанов, А.С. Вах // Вестник СВНЦ. — 2018. — № 4. — С. 11–21.
19. Эйриш, Л.В. Металлогения золота Приамурья / Л.В. Эйриш. — Владивосток: Дальнаука, 2002. — 194 с.

© Мельников А.В., Степанов В.А., 2021

Мельников Антон Владимирович // melnikov\_anton1972@mail.ru  
Степанов Виталий Алексеевич // vitstepanov@yandex.ru

Нгуен Т.Х.<sup>1</sup>, Неволько П.А.<sup>2</sup> (1 — Геологический институт Вьетнамской Академии Наук и Технологий, г. Ханой, Вьетнам, 2 — Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск)

### ВОЗРАСТ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ SN И W МИНЕРАЛИЗАЦИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ВЬЕТНАМА

*Приведены данные о геологическом строении, минеральном составе и геохимических характеристиках руд Sn и W месторождений Северо-Восточного Вьетнама. Рассмотрена специфика магматических пород, с которой генетически связана минерализация. На основании полученных данных о возрасте минерализации и магматизма делается заключение о геодинамических обстоятельствах формирования месторождений. Доказывается дискретность металлогении Sn и W на территории Северо-Восточного Вьетнама. **Ключевые слова:** Вьетнам, Ло Гам, месторождения W и Sn, геохронология, геохимия руд.*

Nguyen T.H.<sup>1</sup>, Nevolko P.A.<sup>2</sup> (1 — Geological Institute of the Vietnam Academy of Sciences and Technologies, Hanoi, Vietnam, 2 — V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk)

### AGE AND GEOCHEMICAL FEATURES OF SN AND W MINERALIZATION IN THE NORTHEAST VIETNAM

*The data on the geology, mineral composition and geochemical features of the Sn and W deposits of the Northeast Vietnam are provided. The specificity of ore-related igneous rocks is considered. Based on the obtained data on the age of mineralization and magmatism, a conclusion is made about the geodynamic conditions of the formation of deposits. The discreteness of Sn and W metallogeny in the territory of Northeast Vietnam is proved. **Keywords:** Vietnam, Lo Gam, W and Sn deposits, geochronology, ore geochemistry.*

#### Введение

Одна из главных геологических структур Северо-Восточного Вьетнама — структура Ло Гам (или раннепалеозойский внутриконтинентальный складчатый пояс Западный Вьет Бак) представляет собой складчатое обрамление Южно-Китайского блока [5]. В пределах структуры преобладают карбонатные и терригенно-карбонатные отложения девона и силура. Эти отложения сильно деформированы вследствие коллизий процессов, протекавших на рубеже перми и триаса. Складчатые образования структуры Ло Гам прорваны многочисленными массивами высокоглиноземистых гранитов комплекса Пию Биок, возраст формирования которого по разным оценкам лежит в интервале 254–240 млн лет [2]. В пределах зоны Ло Гам сосредоточено большое количество полиметаллических месторождений, составляющих более 80 % об-

щих запасов Pb и Zn Вьетнама, и несколько крупных рудных узлов, несущих Sn-W оруденение [1].

Sn-W оруденение локализовано в пределах 3-х основных рудных районов: рудный узел Там Дао и месторождения Нуй Фао и Тиен Кэ. На сегодняшний день полностью отсутствуют работы, посвященные детальному изучению этих месторождений, что

существенно затрудняет систематику оруденения. Кроме того, неясными остаются и многие вопросы их генезиса и связи с определенными этапами магматизма и геологического развития территории. Существующие геолого-поисковые модели рассматривают Sn и W минерализацию в рамках единого комплекса эндогенного оруденения и предполагают его связь с

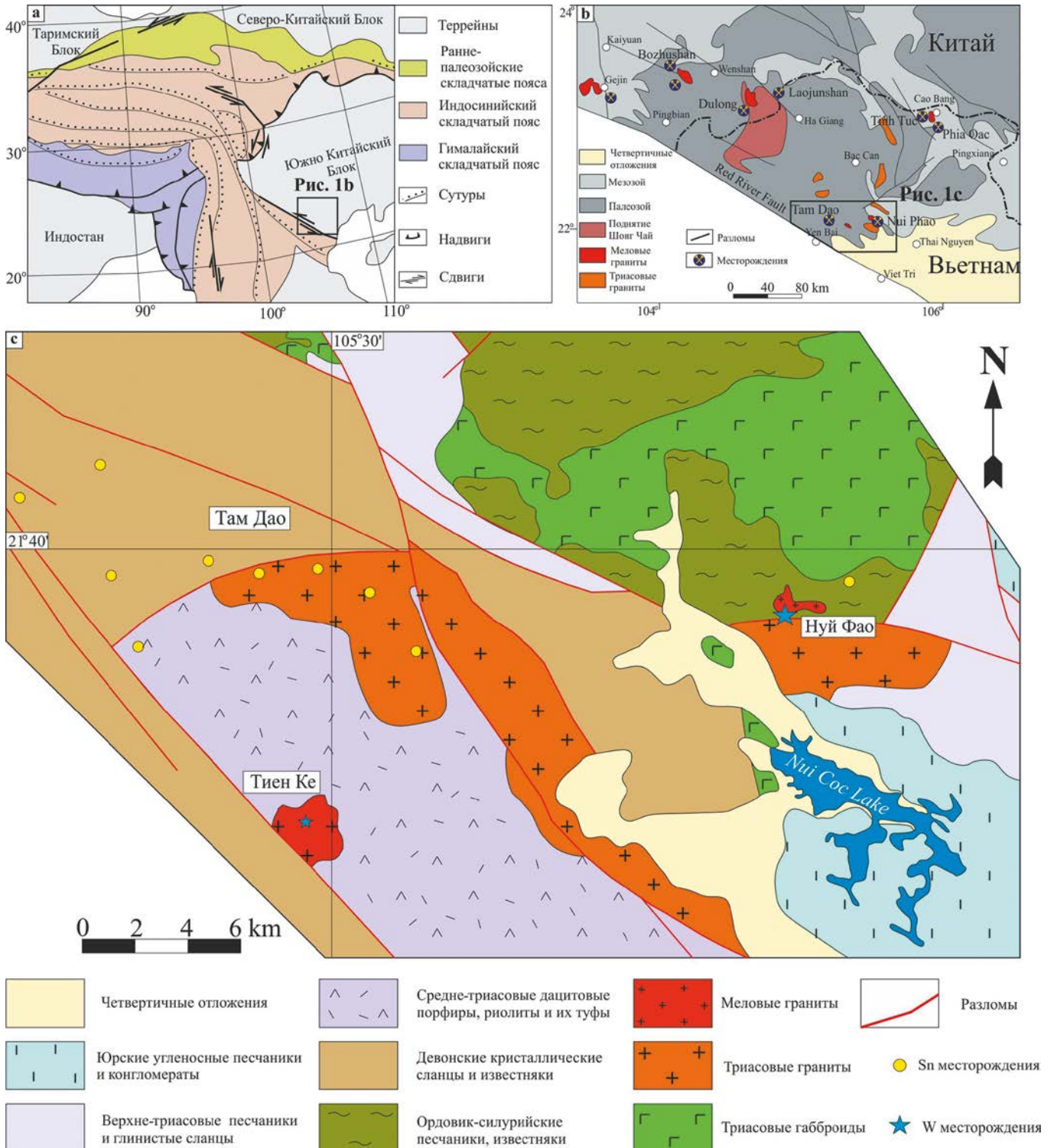


Рис. 1. (а) Тектоническое положение юго-западной части южно-китайского блока и северо-восточной части Вьетнама [4]; (б) схематическая геологическая карта юго-западной части Китая и северо-восточной части Вьетнама [4]; (с) геологическая карта района Нуй Фао — Там Дао



проявлениями мелового магматизма. Важными целями данной работы являются определение их минерального состава, геохимических характеристик руд и установление связи с определенными магматическими событиями.

### Геологическое строение района

Структура Ло Гам сложена осадочно-метаморфическими образованиями раннего и среднего палеозоя. Осадочные и метаморфические породы интенсивно смяты в складки вследствие многочисленных тектонических событий. Наиболее интенсивные процессы дислоцирования пород протекали на рубеже перми — триаса при амальгамации Индокитайского и Южно-Китайского блоков. В современной литературе эти процессы получили название — Индосинийский орогенез [2, 5].

В районе исследования широкое распространение получили и магматические образования широкого спектра составов — от габброидов до кислых эффузивов. В районе исследований (рис. 1) выделяют ранне-триасовые габброиды комплекса Нуй Чуа, высокоглиноземистые биотитовые граниты пермо-триасового возраста комплекса Пио Биок, триасовые эффузивные образования кислого состава, объединенные в формацию Там Дао и меловые двуслюдяные граниты комплекса Пио Оак [10].

Металлогеническая характеристика района сводится к преобладанию W и Sn месторождений и рудопроявлений. В районе известно два эксплуатируемых на сегодняшний день месторождения W и ряд мелких по масштабу пунктов минерализации Sn, часто сопровождаемые касситеритовыми россыпями. Наиболее крупное из них — месторождение Нуй Фао является комплексным [9]. Из руд месторождения извлекают Bi, Cu, W, CaF<sub>2</sub>, Au. В районе месторождения локализованы два гранитных массива — гранодиориты Нуй Фао и двуслюдяные граниты Да Льен. Месторождение вольфрама Тиен Ке пространственно приурочено к двуслюдяным гранитам одноименного массива и отрабатывается ручным способом, при этом из руд извлекается только вольфрамит. В районе Там Дао насчитывается более 10 эндогенных и экзогенных месторождений олова. Часть из них отрабатывается мелкими артелями. Пространственно минерализация приурочена к гранодиоритам массива Там Дао (рис. 1).

### Месторождение Нуй Фао

В геологическом строении месторождения Нуй Фао принимают участие осадочные и мета-

морфические породы различного возраста. Ордовик-силурийские песчаники и сланцы, часто углистые, с несогласием перекрываются триасовыми терригенно-осадочными породами. Вмещающие породы прорваны гранитными интрузиями, относимыми к двум разновозрастным комплексам: меловому Пио Оак и триасовому Пио Биок. Более крупный шток триасовых гранитов массива Нуй Фао обнажается на площади 24 × 5 км. Более мелкий шток меловых гранитов характеризуется размерами 3 × 7 км (рис. 2).

Руды месторождения Нуй Фао обладают как скарновыми, так и грейзеновыми характеристиками. Минерализация пространственно приурочена к контакту двуслюдяных гранитов массива Да Льен с ордовик-силурийскими терригенно-карбонатными отложениями. С южного фланга месторождения обнажается массив биотитовых гранодиоритов триасового возраста. Таким образом, специфика геологического строения месторождения сводится к «клиновидному» положению рудных тел, зажатых между двумя гранитными массивами (рис. 2).

Рудные тела на месторождении сложены скарнами, грейзенами и кварцевыми жилами различной мощности. Наиболее ранние метасоматические изменения сводятся к формированию пироксен-гранатовых скарнов, замещенных ретроградными амфибол-биотитовыми разностями. В подчиненном количестве распространены роговики и мрамора. Грейзенизация сопровождается рассеянной пирротиновой минерализацией и четко маркируется ореолом замещения биотита вторичным мусковитом. Рудная минерализация представлена флюоритом, шеелитом, пирротинном,

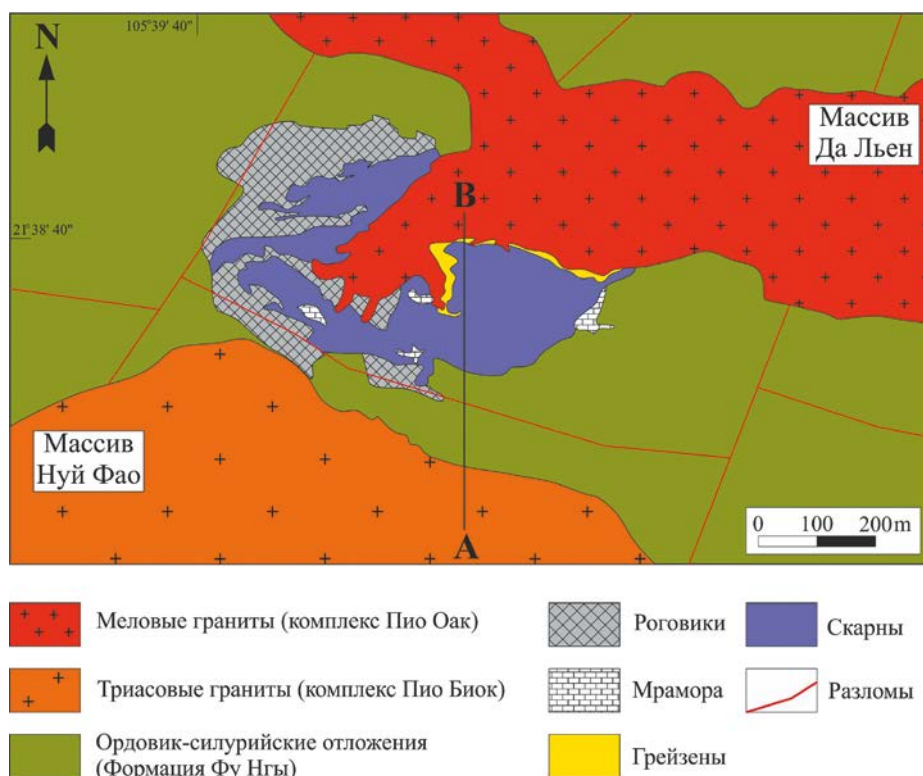


Рис. 2. Геологическая карта месторождения Нуй Фао [9]

халькопиритом, самородным висмутом. Отмечаются единичные зерна висмутита и теллуридов висмута.

Зоны минерализации простираются на 1500 м в субширотном направлении при изменяющейся мощности от 300 до 400 м. На месторождении Нуй Фао разведано 87,9 млн т руды с содержаниями (%): 0,19 WO<sub>3</sub>, 7,95 CaF<sub>2</sub>, 0,18 Cu, 0,19 ppm Au, 0,09 Bi. Подсчитанные запасы составляют: 167000 т WO<sub>3</sub>, 7 млн т CaF<sub>2</sub>, 158200 т Cu, 16,7 т Au, 80 т Bi [9]. На сегодняшний день из руд на месторождении извлекаются шеелит, халькопирит, самородный висмут и флюорит.

Магматические породы района месторождения Нуй Фао представлены производными двух разновозрастных комплексов: (1) — позднемеловые двуслюдяные граниты массива Да Льен и (2) — триасовые биотитовые гранодиориты массива Нуй Фао. Подробное описание каждого из массивов приведено ниже.

*Породы массива Нуй Фао* имеют серую или светло-серую окраску, мелко-, средне- и крупнозернистую, часто порфиroidную текстуру с вкрапленниками. Основная масса мелкозернистая, от гипидиоморфной до гранофиroidной микроструктуры. Гранитоиды Нуй Фао состоят из кварца (30–40 %), калиевого полевого шпата (30–45 %), плагиоклаза (5–7 %), биотита (7–10 %), турмалина (3–5 %), акцессорные минералы представлены цирконом, монацитом и ильменитом.

Содержание SiO<sub>2</sub> колеблется от 64,55 до 69,01 масс. %. Количество щелочей варьирует в диапазоне от 5,23 до 7,10 масс. %. Граниты Нуй Фао характеризуются значительным преобладанием калия над натрием, соотношение K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O в анализируемых образцах колеблется от 1,07 до 3,26. Содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляет 13,05–13,85 масс. %.

*Массив Да Льен*, расположенный на севере массива Нуй Фао, прорывает ордовик-силурийские отложения формации Фу Нгы и биотитовые граниты Нуй Фао. Изученные породы лейкократовые, локально проявлены процессы грейзенизации. Преобладают средне- или крупнозернистые, часто порфиroidные структуры с вкрапленниками калиевого полевого шпата (микроклин), плагиоклаза и редко кварца. Эти породы в основном состоят из плагиоклаза (17–30 %), калиевого полевого шпата (27–35 %), кварца (30–40 %), биотита (0–3 %) и мусковита (7–14 %). Акцессорные минералы: гранат, циркон, апатит, турмалин, флюорит, касситерит, ильменит.

Содержание SiO<sub>2</sub> в гранитах колеблется от 73,11 до 73,94 масс. %, в среднем 73,53 масс. %. Сумма щелочей колеблется от 7,78 до 8,61 масс. %, достигая 9,53 масс. % в образцах со слабой грейзенизацией. В гранитах Да Льен значительно преобладает калий над натрием, соотношение K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O в анализируемых образцах составляет более 1,4.

На основании минераграфических наблюдений на месторождении Нуй Фао можно выделить как минимум три минеральные ассоциации. По мере удаления от приконтактной части гранитов Да Льен проявлены грейзены, скарны и кварц-сульфидные жилы. Грейзены содержат редкие розетки молибденита, размером

до 1–3 мм. Флюорит, по сути, является единственным полезным компонентом, связанным с грейзенами.

Рудные минералы в скарнах представлены шеелитом, пирротином, халькопиритом и самородным висмутом. Содержание шеелита достигает 5–10 %. Пирротин и самородный висмут встречаются в виде вкрапленников в минералах ретроградных скарнов (биотит, хлорит, амфибол). Относительно редкими минералами являются пирит и арсенопирит, которые практически всегда находятся в одной ассоциации. Самородный висмут представлен отдельными зернами и их агрегатами, размером до 50 микрон. Зерна его округлые, каплевидные. Магнетит в скарнах распространен подчиненно. Он проявлен в виде скоплений идиоморфных зерен октаэдрического габитуса. Наблюдаются трещинки в магнетите, заполненные пирротином и самородным висмутом. Вольфрамит был диагностирован в единственном образце, где он замещается шеелитом. Флюорит, помимо вкрапленности в грейзенах и скарнах, иногда образует массивные агрегаты или жилы, занимающие секущее положение относительно скарнов.

Скарны, несущие рудную минерализацию, имеют Cu-Bi-W геохимическую специализацию и содержат до 0,27 ppm золота. Содержание таких элементов как Cu, Bi и W варьирует от 1770 до 2190 ppm, от 284 до 106 ppm и от 217 до 1200 ppm соответственно. Содержание серебра в рудах невысокое — до 0,49 ppm. Кроме того, минерализованные скарны характеризуются относительно повышенными содержаниями Sn (до 106 ppm), Zn (до 63 ppm), Al (до 4,52 масс. %) и Ca (до 7,88 масс. %) и весьма низкими концентрациями As и Mo (до 4 и 1,31 ppm соответственно).

Под сульфидными рудами здесь и далее подразумевается совокупность массивных сульфидных агрегатов, кварцевых жил с сульфидами и интенсивно минерализованных амфиболовых скарнов, содержание сульфидов в которых существенно выше, чем собственно скарновых минералов. Этот тип руд также характеризуется существенно Cu-Bi-W геохимической специализацией и содержит до 2,14 ppm золота и до 2,91 ppm серебра. Содержание висмута в этих рудах варьирует от 89,1 до 5750 ppm. Повышены содержания W (от 0,6 ppm в кварц-сульфидных жилах до 1500 ppm в сильно сульфидизированных скарнах). Медь в рудах содержится в количестве от 200 до более чем 10,000 ppm (верхний предел чувствительности метода). В зависимости от наличия арсенопирита в рудах содержание мышьяка колеблется от 8 до 165 ppm. Также характерны низкие концентрации молибдена — до 3,53 ppm.

Для проведения геохронологических исследований U-Pb методом датирования с помощью LA-ICP-MS было выбрано три образца гранитоидов массива Нуй Фао (S16-68, Z19017/1, Z19016). CL-изображения демонстрируют наличие концентрической зональности, типичной для магматических цирконов. Изученные цирконы характеризуются содержаниями Th (84–211 ppm, 44–176 ppm и 80–197 ppm) и U (348–739 ppm,

315–734 ppm и 380–848 ppm) для образцов S16-68, Z19017/1 и Z19016 соответственно. Всего было проведено 59 точечных анализов, которые позволили установить возраст гранитоидов Нуй Фао  $243,34 \pm 0,9$  Ma,  $244,06 \pm 1,05$  Ma и  $245,73 \pm 1,02$  Ma соответственно.

Отобранные для датирования цирконы из гранитов массива Да Льен по результатам CL анализа оказались метамиктными, т.е. не пригодными для проведения изотопного датирования. В связи с этим было проведено определение возраста формирования Ar-Ag методом по слюдяным минералам гранитов. Были проанализированы образцы биотита из гранитов (SP18-144/1) и биотита из руд месторождения Нуй Фао (S16-67/3).

Возрастной спектр образца SP18-144/1 характеризуется плато, содержащим 89,9 % выделенного аргона, что позволяет говорить, что изотопная система не была нарушена. Результатом датирования стало плато с возрастом  $84,1 \pm 0,7$  Ma. Биотит из пробы S16-67/3 показал плато, содержащее 99 % выделенного аргона и отвечающее возрасту  $85,5 \pm 0,7$  Ma.

#### Месторождение Тиен Ке

Месторождение Тиен Ке расположено в 24 км на запад от месторождения Нуй Фао (рис. 1). В геологическом строении месторождения принимают участие триасовые вулканогенно-осадочные породы кислого состава формации Там Дао, прорванные двуслюдяными гранитами массива Тиен Ке (рис. 3). Нередко в приконтактной зоне с гранитами породы формации Там Дао подвержены локальной грейзенизации.

Магматические породы на месторождении представлены массивом Тиен Ке, сложенным двуслюдяными гранитами. Породы массива подвержены интенсивной грейзенизации с образованием непрерывного ряда метасоматических пород — от слабо грейзенизированных разностей (маркирующихся замещением биотита) до кварц-мусковитовых агрегатов. Граниты и зоны их метасоматического изменения являются вмещающим веществом для руд месторождения Тиен Ке.

Рудные тела на месторождении представлены

кварцевыми жилами, жильными зонами и зонами интенсивной грейзенизации гранитов. Всего на месторождении выделяются 4 минерализованные зоны, протяженностью от 300 до 2000 м при мощности 100–200 м. В пределах каждой из минерализованных зон по результатам опробования выделяются по несколько рудных тел. Среди рудных минералов наибольшим распространением пользуются вольфрамит, пирротин, халькопирит, молибденит, самородный висмут. Нередко отмечаются значительные скопления флюорита.

Месторождение должным образом не разведывалось, информация о подсчитанных запасах и ресурсах отсутствует. На сегодняшний день месторождение обрабатывается кустарным способом, при этом применяется ручная разборка руды. Единственный полезный компонент, который извлекается из руд — вольфрамит.

Породы массива Тиен Ке лейкократовые, локально грейзенизированные, от мелко- до крупнозернистых, часто с порфирировой текстурой с вкрапленниками из калиевого полевого шпата (микроклина). Граниты состоят из кварца (30–35 %), калиевого полевого шпата

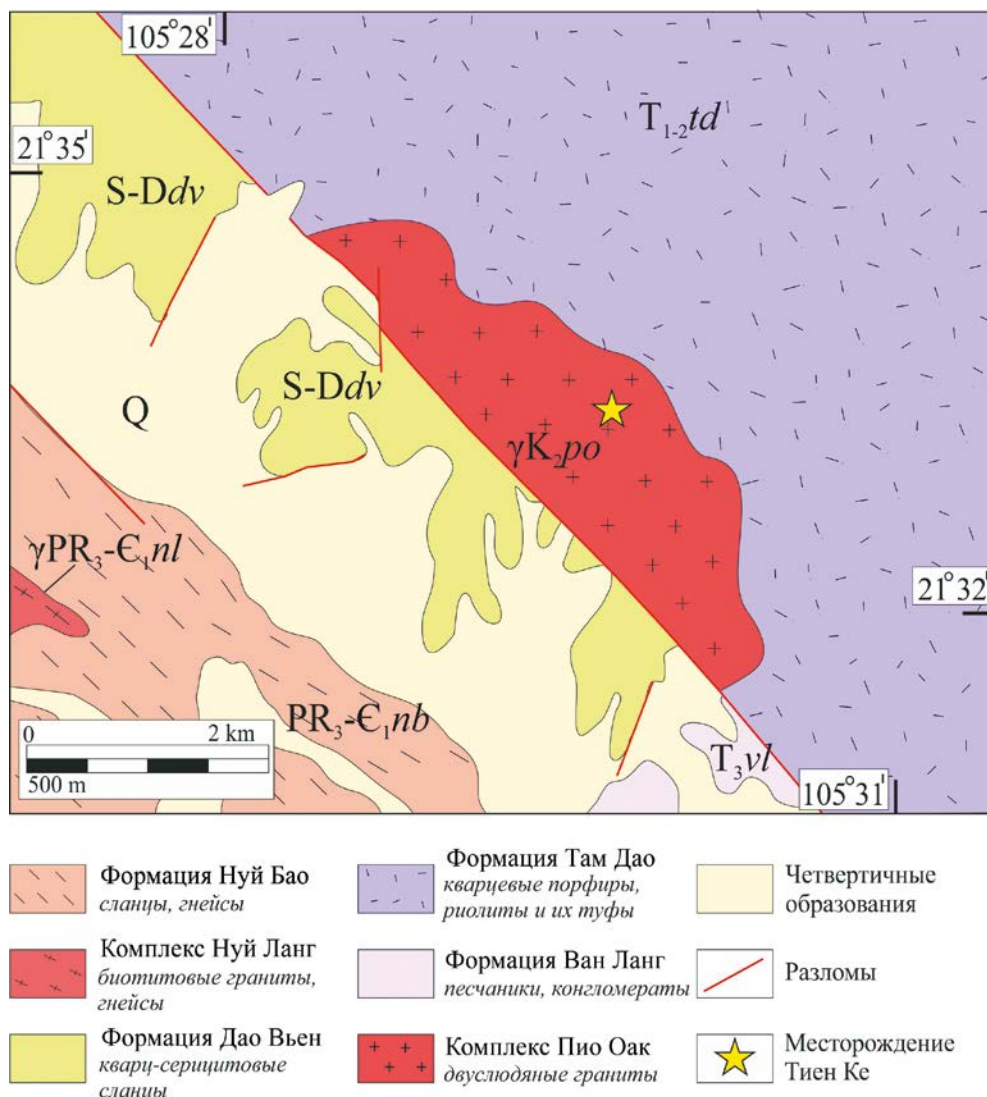


Рис. 3. Геологическая карта месторождения Тиен Ке



(27–30 %), плагиоклаза (25–27 %), биотита (1–2 %), мусковита (7–9 %), акцессорные минералы представлены гранатом, цирконом, апатитом, турмалином, флюоритом, касситеритом, ильменитом.

Содержание  $\text{SiO}_2$  в гранитах варьирует от 71,04 до 73,42 масс. %, в среднем 72,17 масс. %. Сумма щелочей колеблется от 7,55 до 8,59 масс. %, при этом калий существенно преобладает над натрием, соотношение  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  в анализируемых образцах составляет в среднем 1,68. Породы характеризуются повышенным содержанием глинозема.

Руда на месторождении Тиен Ке представлена минерализованными грейзенами и кварцевыми жилами с рудными минералами. Грейзены по степени изменения можно условно разделить на два подтипа, включающих (1) в разной степени грейзенизированные граниты массива Тиен Ке и (2) собственно грейзены, представленные метасоматическими породами, сложенными кварцем, мусковитом и, в редких случаях, флюоритом. Рудная минерализация, связанная с грейзенами и грейзенизированными породами, сводится к преобладанию таких минералов, как флюорит, пирит и молибденит.

Кварцевые жилы, секущие грейзены и зоны метасоматического изменения в гранитах, приурочены к ядерным частям зон наиболее измененных пород. Мощность жил различная и варьирует от первых см до 1–2 м. Рудные минералы, приуроченные к кварцевым жилам, представлены крупнокристаллическим вольфрамитом, рассеянным сульфидными прожилками, при этом размерность кристаллов вольфрамита может достигать 20 см. Сульфидная минерализация занимает секущее положение относительно вольфрамита. Часто сульфиды образуют массивные сливные агрегаты в кварце. Размер таких гнезд, а также мощность сульфидных жил может достигать 30 см. Среди рудных минералов доминирующее распространение получил пирротин, второстепенное значение имеют халькопирит и самородный висмут. Кроме того, в ряде случаев наблюдается локальное замещение самородного висмута висмутином и вольфрамита шеелитом.

Содержание золота в рудах невысокое, максимальные его концентрации составляют 0,36 ppm. При этом отмечается постоянная прямая и устойчивая корреляция содержания золота и висмута. Содержание последнего варьирует в диапазоне от 363 до 3300 ppm. Содержание меди и вольфрама в рудах месторождения Тиен Ке варьирует от 32,4 до 4610 ppm, при среднем значении 2477 ppm и от 6,6 до 1100 ppm при среднем значении 470 ppm соответственно. В общих чертах геохимическая специализация руд месторождения Тиен Ке может быть описана системой элементов  $\text{Bi-Cu-W-(Mo-Au)}$ . Содержание молибдена в рудах невысокое. Максимальные значения достигают 218 ppm. Рений, по результатам анализов, выявлен не был. Также низкие концентрации были установлены для  $\text{Ag}$  (0,8–2,6 ppm),  $\text{As}$  (0–86 ppm),  $\text{Pb}$  (1,9–88,3 ppm),  $\text{Sb}$  (0,15–0,91 ppm) и  $\text{Sn}$  (3,3–24,5 ppm).

Два образца гранитов массива Тиен Ке (7/3 и 11/2) было выбрано для проведения геохронологических

исследований U-Pb методом датирования с помощью LA-ICP-MS.

Для анализа были отобраны идиоморфные зерна, размером 100–250  $\mu\text{m}$  по длинной оси и соотношением сторон 1:1 до 3:1. CL-изображения демонстрируют наличие концентрической зональности, типичной для магматических цирконов. Изученные цирконы характеризуются содержаниями Th (339–954 ppm и 208–621 ppm) и U (341–1420 ppm и 526–6259 ppm) для образцов 7/3 и 11/3 соответственно. Всего было проведено 11 точечных анализов, которые позволили установить возраст гранитов Тиен Ке  $86,95 \pm 0,72$  Ma и  $87,76 \pm 0,64$  Ma соответственно.

Поскольку в случае месторождения Тиен Ке вопроса о генетической связи между оруденением и гранитами не стоит (что доказывается геологическими наблюдениями), следовательно, можно сделать вывод о меловом возрасте руды.

#### *Рудный район Там Дао*

Рудный район Там Дао, объединяющий более десятка россыпных и коренных месторождений олова, расположен в 10 км севернее месторождения Тиен Ке. Вмещающими породами коренных пунктов минерализации являются кристаллические сланцы и известняки девонского возраста, а также триасовые биотитовые граниты массива Там Дао, относимые по совокупности вещественных характеристик к комплексу Пио Биок (рис. 1). Среди наиболее крупных пунктов минерализации можно выделить месторождения Ку Лам и Нгой Лем (рис. 4). Поскольку геологоразведочных работ на рудопроявлениях не проводилось, количественные параметры зон минерализации до конца не определены, равно как и запасы полезных компонентов. Отработка рудопроявлений идет ручным способом и включает в себя дробление и промывку с целью выделения товарного касситеритового концентрата.

Магматические породы района представлены триасовыми биотитовыми гранитами и гранодиоритами массива Там Дао. Основная фаза массива Там Дао сложена порфиroidными биотитовыми гранитами. Структура порфиroidная, текстура массивная. Количественный состав породообразующих минералов колеблется в пределах (в %): кварц — 30–40, калиевый полевой шпат — 30–45, плагиоклаз — 5–7, биотит — 7–10, турмалин — 3–5, акцессорные и рудные до 1 (касситерит, пирит, циркон, монацит и др.).

По петрохимическим характеристикам породы массива Там-Дао относятся к гранодиоритам и гранитам. Содержание  $\text{SiO}_2$  варьирует от 68,08 до 71,06 масс. % при среднем 69,8 масс.%. Сумма щелочей находится в диапазоне от 5,8 до 7,7 масс. % с существенным преобладанием калия над натрием, отношение  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  в проанализированных образцах больше 1,8. В гранитах глиноземистость изменяется от 12,99 до 13,59 масс. % при средней 13,26 масс. %.

Рудная минерализация на рудопроявлениях Ку Лам и Нгой Лем представлена совокупностью кварцевых жил и прожилков, иногда гнезд, сложенных массивными агрегатами, несущими касситеритовую

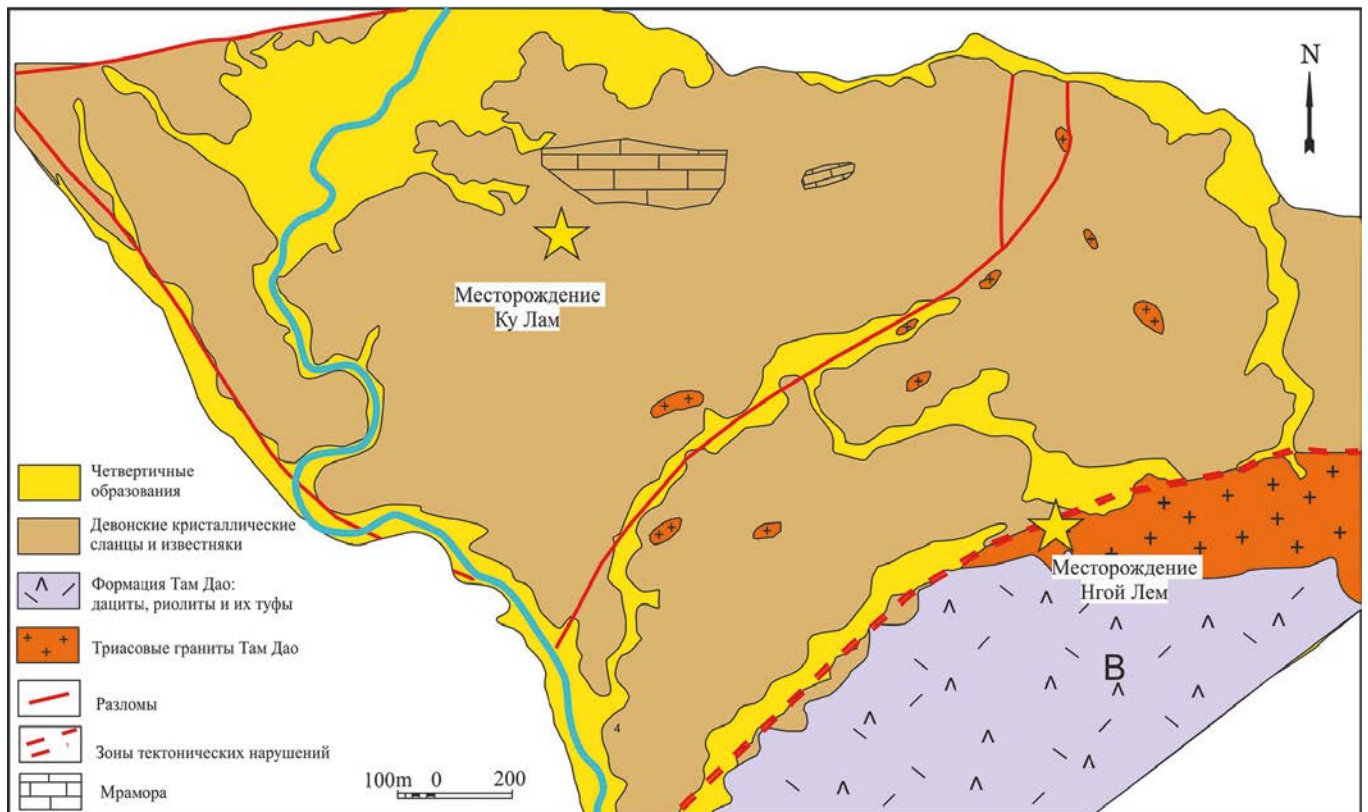


Рис. 4. Схематическая геологическая карта района месторождений Ку Лам и Нгой Лем

и сульфидную минерализацию. При этом в образцах бросается в глаза секущее положение сульфидов относительно оловянной минерализации.

Мощность жил с рудными минералами небольшая, редко достигает 20 см. Большим распространением пользуются мельчайшие прожилки, часто объединяющиеся в единый штотверк. Мощность зон тонкого прожилкования может достигать 1 м. Метасоматические процессы, с которыми связана минерализация не столь очевидны, как на месторождениях Нуй Фао и Тиен Ке. Сами граниты вмещающего массива подвержены слабой грейзенизации, при этом в большинстве случаев в гранитах сохраняется биотит. Большее развитие получили процессы замещения хлоритом темноцветных минералов гранитов.

Минеральные рудные ассоциации можно условно разделить на три основные группы. Первая группа представлена жилами и агрегатами касситерита часто в ассоциации с турмалином, реже с пиритом и арсенипиритом. Вторая группа сложена агрегатами арсенипирита и пирита. Часто такие агрегаты рассекаются и/или цементируются пирротин-халькопиритовым минеральным парагенезисом. Третья минеральная ассоциация сложена пирротинном, халькопиритом и висмутовыми сульфосолями (козалитом).

Касситерит проявлен в виде относительно крупных зерен и их агрегатов. Размер зерен касситерита достигает 1 мм. Временами отмечаются процессы локального дробления зерен касситерита и дальнейшего их залечивания и цементации сульфидами. Арсенипирит формирует вкрапленность идиоморфных ромбических

зерен. Подобно касситериту, местами отмечаются раздробленные зерна.

Ассоциация халькопирита и пирротина проявлена как в виде массивных гнезд и зон во вмещающих породах, так и в составе кварцевых жил. Практически повсеместно в ассоциации с этими минералами отмечаются козалит и самородный висмут. Самородный висмут в большей мере приурочен к зернам козалита, где, по всей видимости, он образуется при разложении сульфосоли.

По данным пробирного анализа содержание золота в рудах достигает лишь 0,22 ppm, при среднем значении 0,08 ppm по результатам 10 проанализированных образцов. При этом отмечаются высокие содержания серебра (более 100 ppm — верхний порог метода). Хотя вариации его большие, минимальные определенные содержания — 0,35 ppm. Содержание серебра находится в прямой зависимости от содержания таких элементов, как свинец (от 13 до более чем 10000 ppm) и, в меньшей степени, сурьмы (от 0,8 до 267 ppm) и висмута (от 34 до более чем 10000 ppm). Это позволяет предположить, что форма нахождения серебра в рудах — галенит и висмутовые сульфосоли.

Также в рудах высокие содержания меди (в большинстве анализов более 10000 ppm) и мышьяка (в большинстве анализов более 10000 ppm). Олово в рудах присутствует постоянно, однако его содержания невысокие и варьируют в интервале от 15 до 605 ppm, при среднем значении на 10 проб — 118 ppm. Повышены содержания цинка — до 908 ppm. А вот концентрация молибдена и вольфрама весьма низкая — до 2,95 и 48,2 ppm соответственно.

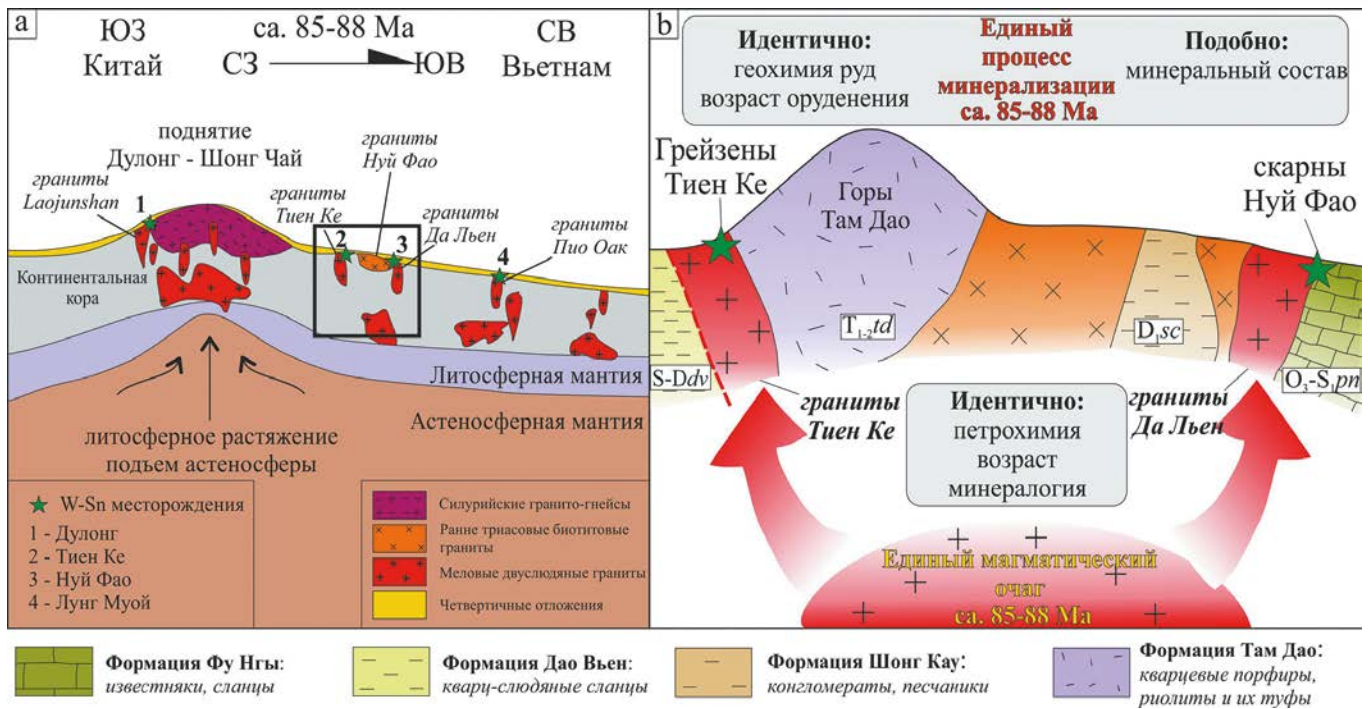


Рис. 5. (а) Региональная тектоническая и металлогеническая модель для юга Китая — севера Вьетнама на меловое время (по данным [14]); (б) концептуальная модель формирования гранитов и W оруденения в период 85-88 Ма на севере Вьетнама

Для определения возраста гранитов массива Там Дао был отобран циркон из пробы SP18-140/1. Изученные цирконы характеризуются содержаниями Th (51–195 ppm) и U (80–378 ppm). Всего было проведено 7 точечных анализов, которые позволили установить возраст гранитов Там Дао  $253,9 \pm 3,3$  Ма, что подтверждает их отнесение к комплексу Пио Биок.

Поскольку в случае рудопроявлений района Там Дао вопрос о генетической связи между оруденением и гранитами не стоит (что доказывается геологическими наблюдениями), следовательно, можно сделать вывод о пермо-триасовом возрасте руды.

#### Возраст и геодинамические обстановки формирования оруденения

В опубликованных работах [10] убедительно демонстрируется, что территория южного Китая и северного Вьетнама может быть рассмотрена с позиции единого металлогенического региона. Это обстоятельство обосновывает проведение сравнительного анализа металлогении Sn-W и временных взаимоотношений магматизма, проявленных на территории Южного Китая и Северного Вьетнама. Проведя некоторое обобщение большого количества опубликованных материалов, можно с уверенностью заключить о существовании как минимум трех глобальных эпох Sn-W минерализации на южном обрамлении Южно-Китайского блока: (1) поздний триас (230–210 Ма); (2) средняя-поздняя юра (170–150 Ма); (3) мел (134–80 Ма).

Позднетриасовая W минерализация на территории Южного Китая была выявлена относительно недавно. Однако уже в течение последних 10 лет было открыто большое количество месторождений и пунктов

минерализации, соответствующих этой стадии. Имеются опубликованные данные о скарновых месторождениях Limu ( $214,1 \pm 1,9$ , [12]), Liguifu, Yuntoujie и Gaoling ( $211,9 \pm 6,4$ , от  $226,2 \pm 4,1$  до  $219,3 \pm 4,0$ , и от  $227,3 \pm 3,4$  до  $213,6 \pm 5,6$  Ма соответственно [7]) и оловоносных грейзенах месторождения Нехуаринг ( $224 \pm 1,9$  Ма [3]), которые демонстрируют широкое развитие поздне триасового оруденения. Наиболее близким по возрасту формирования можно считать рудный район Там Дао. Как было показано в главах выше, рудная минерализация связывается с позднепермским—раннетриасовым магматизмом. Согласно проведенным геохронологическим исследованиям время формирования рудопроявлений района Там Дао составляет ca. 254 Ма и связывается с процессами амальгамации Южно-Китайского и Индокитайского блоков (Индосинийский орогенез).

Позднеюрские W-Sn месторождения с возрастом 160–150 Ма, расположенные на юго-восточном обрамлении материкового Китая, являются наиболее экономически привлекательными. В опубликованной литературе имеется большое количество данных, касающихся возраста минерализации и магматических пород. При этом большинство полученных датировок укладываются в достаточно узкий временной диапазон 152–165 Ма [6, 8, 13]. Однако Катазиатский блок, испытывающий обширный магматизм в течение позднеюрского времени, на территорию Вьетнама не попадает. Имеющиеся многочисленные геохронологические исследования не установили наличие магматизма данного возраста.

Меловые Sn и W месторождения наиболее широко проявлены вдоль западной границы Катазиатского



блока и, как правило, характеризуются существенными запасами и ресурсами. Согласно последним исследованиям процессы минерализации в этом районе протекали в период 98–78 Ма [4]. Среди наиболее крупных по запасам месторождений на приграничной с Вьетнамом территории Китая можно выделить следующие: Gejiu, Dachang, Damingshan и Dulong. Формирование этих месторождений связывается с внедрением меловых двуслюдяных гранитов, аналогичных комплексу Пио Оак, проявленному на территории Вьетнама. Как уже было упомянуто выше, с точки зрения геологического строения и истории развития, территория Южного и Северного Вьетнама может быть рассмотрена в контексте единой региональной геологической структуры. Следовательно, логично предположить и схожесть металлогенических характеристик этих регионов. В качестве доказательства этого предположения можно привести полученные геохронологические свидетельства мелового магматизма и W оруденения во Вьетнаме. Так, по результатам работ было показано, что месторождения Тиен Ке и Нуй Фао были сформированы на рубеже 85–88 Ма и могут характеризовать меловой этап металлогении. При этом, поскольку месторождения Нуй Фао и Тиен Ке обладают многочисленными идентичными характеристиками, предполагается, что их формирование связано с функционированием единого глубинного магматического очага (рис. 5). Согласно данным [11] меловой магматизм на данной территории и связанное с ним оруденение было сформировано в условиях литосферного растяжения и подъема астеносферы, протекающего на рубеже 92–77 Ма с явным пиком магматизма на 81–90 Ма. Такие процессы приводили к массовому гранитообразованию за счет подплавления вмещающих пород.

### Геохимические особенности Sn-W оруденения

Помимо изучения минерального состава руд нами было проведено определение их геохимических характеристик. В качестве графического отображения геохимии руд мы предлагаем графики концентрации основных рудных элементов, нормированные на кларковые значения (рис. 6 и 7).

Как видно на рис. 6, несмотря на различные минеральные формы вольфрама (вольфрамит на месторождении Тиен Ке и шеелит на месторождении Нуй Фао), геохимический портрет двух месторождений практически идентичен. Геохимия руд определяется высокими содержаниями висмута, вольфрама и

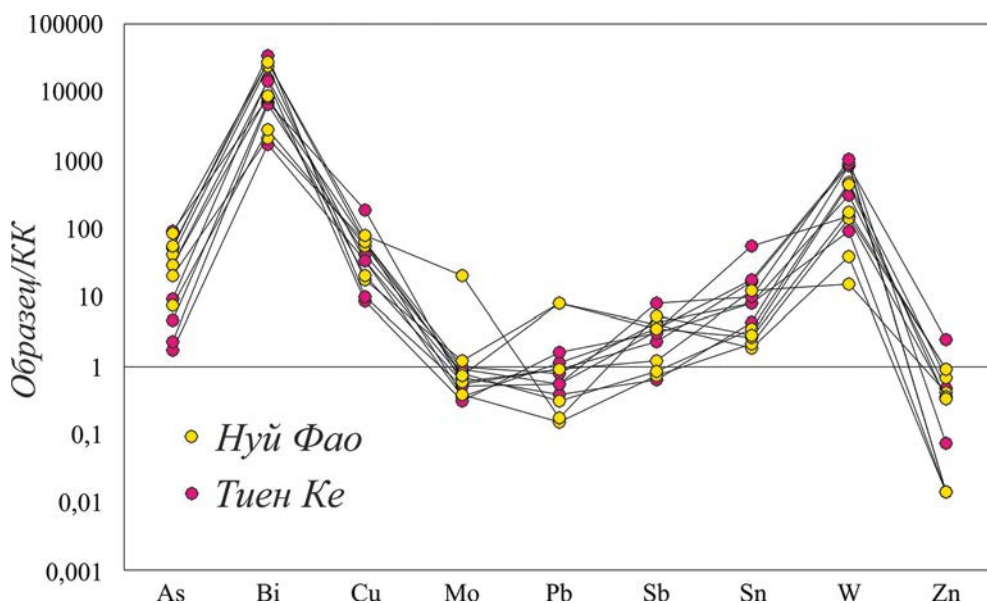


Рис. 6. Содержание рудных компонентов в рудах месторождений Нуй Фао и Тиен Ке, нормированные на кларковые значения

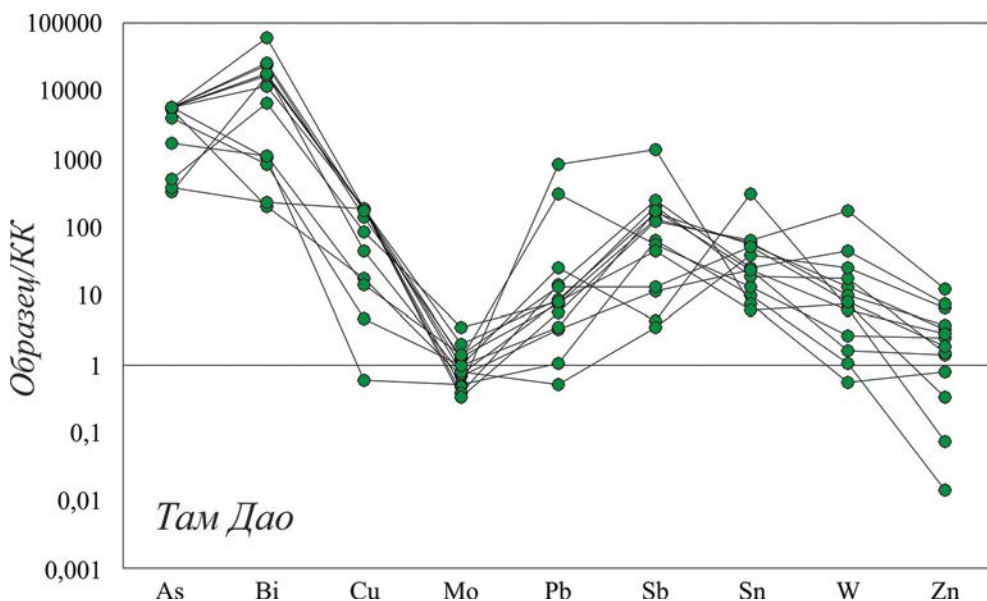


Рис. 7. Содержание рудных компонентов в рудах месторождений рудного района Там Дао, нормированные на кларковые значения

меди при невысоких уровнях концентрации мышьяка и олова. Тогда как рудопроявления района Там Дао (рис. 7) характеризуются иным спектром. Для этих руд характерны существенные концентрации мышьяка, свинца, сурьмы и олова при сохранении высоких содержаний висмута и повышенных для меди и вольфрама.

Исходя из различной геохимической специфики минерализации, с учетом приуроченности месторождений Нуй Фао и Тиен Ке к меловым интрузиям, а рудопроявлений района Там Дао к пермо-триасовым, можно еще раз заключить о дискретности этих двух типов минерализации.

#### **Заключение**

Проведенный литературный обзор по геохронологическим исследованиям Sn-W оруденения на юге Китая и севере Вьетнама позволил сделать заключение о существовании как минимум трех глобальных эпох Sn-W минерализации на южном обрамлении Южно-Китайского блока: (1) поздний триас (230–210 Ма); (2) средняя-поздняя юра (170–150 Ма); (3) мел (134–80 Ма). При этом, согласно проведенным геохронологическим исследованиям, время формирования рудопроявлений района Там Дао составляет са.254 Ма и связывается с процессами амальгамации Южно-Китайского и Индокитайского блоков (Индосинийский орогенез). Позднеюрский металлогенический этап, проявленный только на территории Южного Китая, связан с интенсивным магматизмом в пределах Катаянского блока и не отмечен в геологии северного Вьетнама. Существующие представления о меловом магматизме на территории сопредельных территорий юга Китая предполагают формирование гранитов в связи с литосферным растяжением и подъемом астеносферы. С учетом единства возраста, характеристик рудообразующих гранитов и вещественных характеристик минерализации, предполагается модель одновременного формирования W-Cu-Bi ± Au месторождений Тиен Ке и Нуй Фао на рубеже 85–88 Ма.

Несмотря на различные минеральные формы вольфрама (вольфрамит Тиен Ке и шеелит Нуй Фао), геохимический портрет этих двух месторождений практически идентичен. Геохимия руд определяется высокими содержаниями висмута, вольфрама и меди при невысоких уровнях концентрации мышьяка и олова. Тогда как рудопроявления района Там Дао характеризуются иным спектром. Для этих руд характерны существенные концентрации мышьяка, свинца, сурьмы и олова при сохранении высоких содержаний висмута и повышенных для меди и вольфрама.

Основные выводы, полученные в ходе выполнения работы:

— проведенные исследования позволили обосновать дискретность проявлений Sn и W оруденения в СВ Вьетнаме. Было доказано, что Sn и W месторождения являются разновозрастными и связанными с различными геологическими процессами развития территории;

— металлогения Sn и W на южном окончании структуры Ло Гам характеризуется проявлениями

комплексных месторождений Sn-As-Bi-Pb (район Там Дао) и W-Cu-Bi-Au (Нуй Фао и Тиен Ке) профиля;

— Sn месторождения района Там Дао генетически и пространственно связаны с биотитовыми гранитами массива Там Дао с возрастом са. 250 Ма;

— W месторождения Нуй Фао и Тиен Ке генетически и пространственно связаны с двуслюдяными гранитами массивов Да Льен и Тиен Ке соответственно с возрастом са. 85 Ма;

— руды месторождений Тиен Ке и Нуй Фао характеризуются идентичными геохимическими характеристиками и вещественным составом руд. Исключением является минеральная форма W, проявленная в виде шеелита в скарнах и в виде вольфрамита в грейзенах;

— формирование оловянных месторождений района Там Дао связано с Индосинийским орогенезом, вызванным столкновением Южно-Китайского и Индокитайского блоков в перми-триасе;

— формирование вольфрам-содержащих месторождений Нуй Фао и Тиен Ке связано с функционированием единого глубинного магматического очага в меловое время в условиях процессов литосферного растяжения и подъема астеносферы.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ВАНТ в рамках научного проекта №19-55-54001 и государственного задания ИГМ СО РАН.*

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Чан, Т.А. Минералого-геохимические особенности и условия образования полиметаллических месторождений структуры Логама Северо-Восточного Вьетнама / Т.А. Чан, И.В. Гасков, Ч.Х. Чан, П.А. Неволько, Т.З. Фам, Н.К. Фам // Геология и геофизика. — 2012. — Т. 53. — № 7. — С. 817–833.
2. Чан, Ч.Х. Пермотриасовый магматизм и металлогения Северного Вьетнама в связи с Эмейшанским плюмом / Ч.Х. Чан, Д.Э. Изох, Г.В. Поляков, А.С. Борисенко, Т.А. Чан, П.А. Балыкин, Т.Ф. Нго, С.Н. Руднев, В.В. Ву, А.Н. Буй // Геология и геофизика. — 2008. — Т. 49. — № 7. — С. 637–651.
3. Cai, M.H. Geological characteristics and Re–Os dating of molybdenites in Hehuaping tin-polymetallic deposit, southern Hunan Province / M.H. Cai, K.X. Chen, W.J. Qu // Mineralium Deposita. — 2006. — № 25. — p. 263–268 (in Chinese with English abstract).
4. Cheng, Y. Geodynamic setting of Late Cretaceous Sn-W mineralization in southeastern Yunnan and northeastern Vietnam / Y. Cheng, J. Mao, P. Liu // Solid Earth Science. — 2016. — № 1. — p. 79–88.
5. Faure, M. The South China block-Indochina collision: Where, when, and how? / M. Faure, C. Lepvrier, V.V. Nguyen, T.V. Vu, W. Lin, Z. Chen // Journal of Asian Earth Science. — 2014. — № 79. — P. 260–274.
6. Guo, C.L. SHRIMP U–Pb (zircon), Ar–Ar (muscovite) and Re–Os (molybdenite) isotopic dating of the Taohikeng tungsten deposit. / C.L. Guo, J.W. Mao, F. Bierlein, Z.H. Chen, Y.C. Chen, C.B. Li, Z.L. Zeng // South China Block. Ore Geology Reviews. — 2011 — № 43. — P. 26–39.
7. Li, X.F. Major ore types, ore-forming ages in Dexing district, Jiangxi province and significances / X.F. Li, R. Xiao, Z.H. Feng // Acta Mineralogica Sinica. — 2011. — № 31. — P. 610–611 (in Chinese).
8. Mao, J.W. Major types and time–space distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their geodynamic settings / J.W. Mao, Y. Cheng, M. Chen, F. Pirajno // Mineralium Deposita. — 2013. — № 48. — P. 267–294.
9. Richards, J.P. The Nui Phao Tungsten-Fluorite-Copper-Gold-Bismuth Deposit, Northern Vietnam: An Opportunity for Sustainable Development / J.P. Richards., T. Dang, S.F. Dudka, M.L. Wong // Exploration Mining Geology. — 2003. — № 12. — P. 61–70.
10. Tran, T.H. Intraplate Magmatism and Metallogeny of North Vietnam. Modern Approaches in Solid Earth Sciences / T.H. Tran, G.V. Polyakov, T.A. Tran, A.S. Borisenko at all // Springer International Publishing house, Switzerland, 2016. — 372 p.

11. Xu, B. Late Cretaceous granites from the giant Dulong Sn-polymetallic ore district in Yunnan Province, South China: geochronology, geochemistry, mineral chemistry and Nd–Hf isotopic compositions / B. Xu, S.-Y. Jiang, R. Wang, L. Ma, K.-D. Zhao, X. Yan // *Lithos*. — 2015. — № 218–219. — P. 54–72.

12. Yang, F. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of muscovite from geisenized granite and geological significance in Limu tin deposit / F. Yang, X.F. Li, Z.H. Feng, Y.P. Bai // *Journal of Guilin University of Technology*. — 2009. — № 29. — P. 21–24 (in Chinese with English abstract).

13. Yao, J.M. Re–Os isotope dating of molybdenites in the Huangshaping Pb–Zn–W–Mo polymetallic deposit, Hunan Province, South China and its

geological significance / J.M. Yao, R.M. Hua, W.J. Qu // *Science in China Series D Earth Sciences*. — 2007. — № 37. — P. 471–477 (in Chinese).

14. Zhao, Z. A genetic link between Late Cretaceous granitic magmatism and Sn mineralization in the southwestern South China Block: A case study of the Dulong Sn-dominant polymetallic deposit / Z. Zhao, L. Hou, J. Ding, Q. Zhang, S. Wu // *Ore Geology Reviews*. — 2018. — № 93. — P. 268–289.

© Нгуен Т.Х., Неволько П.А., 2021

Нгуен Тхе Хау // thehauk711hus@gmail.com  
Неволько Петр Александрович // nevolko@igm.nsc.ru

## ГЕОФИЗИКА

УДК 553.98.042

Алеева А.О., Исаев В.И., Меренкова А.С., Осипова Е.Н.  
(Национальный исследовательский Томский политехнический университет)

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЮРСКИХ РАЗРЕЗОВ НИЖНЕТАБАГАНСКОГО И ПЕЛЬГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ (В СВЯЗИ С ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПАЛЕОЗОЯ)

Проведен анализ и сопоставление геофизических и петрофизических характеристик юрских пластов разного типа месторождений Томской области: без признаков нефтеносности доюрского разреза, с промышленными притоками в доюрском комплексе. Результаты исследований удельного электрического сопротивления и карбонатизации юрских пластов, а также вариаций потенциала самопроизвольной поляризации, уровня электрического сопротивления и естественной радиоактивности баженовской свиты установили аномальность геофизики и петрофизики юрских пластов месторождений, имеющих залежи в доюрском комплексе. Определены шесть геофизических и петрофизических характеристик юрских пластов как прогностических показателей для оценки нефтегазоносности палеозойского разреза. **Ключевые слова:** доюрский нефтегазоносный комплекс, аномальность геофизических и петрофизических характеристик юрских пластов, оценка нефтегазоносности палеозоя, Томская область.

Aleeva A.O., Isaev V.I., Merenkova A.S., Osipova E.N.  
(National Research Tomsk Polytechnic University)

### COMPARATIVE GEOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE YURSKY SECTIONS OF THE NIZHNETABAGANSKY AND PELGINSKY FIELDS (IN CONNECTION WITH THE FORECASTING OF THE PALEOZOIC OIL AND GAS POTENTIAL)

*The Analysis and comparison of the geophysical and petrophysical characteristics of the Jurassic layers of different field types in Tomsk Region: without oil and gas potential in pre-*

*Jurassic section, with commercial inflows from the pre-Jurassic complex is carried out. Results of exploration electrical resistivity and carbonatization in the Jurassic layers of 200 wells and also spontaneous potential variation, electrical resistivity and natural radioactivity in Bazhenov suite establish anomalousness of geophysical and petrophysical parameters of Jurassic rocks in case of pre-Jurassic deposits. This paper determines 6 geophysical and petrophysical characteristics of the Jurassic layers as predictive indicators for oil and gas potential estimation in pre-Jurassic section. **Keywords:** pre-Jurassic oil and gas complex, anomalousness of geophysical and petrophysical characteristics of the Jurassic layers, assessment of Paleozoic oil and gas potential, Tomsk region.*

В настоящее время на территории Западной Сибири месторождения находятся на поздней стадии разработки, ресурсная база юрского горизонта в значительной степени исчерпана. В связи с этим возникает необходимость поисков и освоения зон нефтегазоаккумуляции в новых стратиграфических горизонтах, в том числе в доюрском нефтегазоносном комплексе. Этот объект отнесен к трудноизвлекаемой нефти [9], но является инвестиционно привлекательным в контексте приуроченности к территориям нефтепромыслов с уже развитой инфраструктурой.

Промышленная нефтегазоносность отложений в доюрском (палеозойском) нефтегазоносном комплексе (НГК) выявлена на всей площади Западной Сибири. Значительные работы по оценке нефтегазоносности доюрских отложений проводились на юго-востоке, на территории Томской области (Нюрольская мегавпадина), в пределах которой открыто 13 залежей углеводородов (УВ) в карбонатных, кремнисто-глинистых, песчаных и гравелитовых отложениях.

Разнообразие подходов к проблеме формирования месторождений УВ в палеозойском НГК Западной Сибири, вариантный выбор фактических материалов и различные методы их интерпретации привели к многообразию концепций о нефтегазоносности палеозойских отложений [8].

О концепции «главного источника» палеозойской нефти высказываются и обосновываются два варианта, рассматриваемые как ортодоксально альтернативные,