

# Геология и полезные ископаемые

УДК 552.321.6+552.164

## ПЕТРОСТРУКТУРНАЯ ТИПИЗАЦИЯ УЛЬТРАМАФИТОВ КАНСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА (северо-запад Восточного Саяна)

А.И. Чернышов, М.А. Мишенина

Томский государственный университет  
E-mail: petro@ggf.tsu.ru

*В Канском зеленокаменном поясе (СЗ Восточного Саяна) установлены два типа ультрамафитов: магматические дунит-верлит-пикритового состава и реститовые дунит-гарцбургитового состава. Они объединены в кингашский и идарский комплексы соответственно.*

### Введение

В пределах Канской глыбы, расположенной в краевой юго-западной части Сибирской платформы и ограниченной Главным Восточно-Саянским и Канско-Агульским глубинными разломами, картируются многочисленные мелкие массивы ультрамафитов, формационная принадлежность которых до настоящего времени остается дискуссионной. Ультрамафитовые массивы сосредоточены, главным образом, в зеленокаменных поясах, выделяемых в пределах Канской глыбы, которые сложены метаморфическими породами (гнейсами, кристаллическими сланцами, амфиболитами, мраморами) [1]. Проведенное нами детальное петрологическое исследование позволило установить принадлежность ультрамафитов исследуемого региона к двум комплексам: кингашскому магматическому дунит-верлит-пикритовому и идарскому реститовому дунит-гарцбургитовому.

Ультрамафиты дунит-верлит-пикритовой ассоциации слагают гипабиссальные магматические тела, являющиеся по своему структурно-минералогическому составу аналогичными породам Кингашского массива [2], который является рудовмещающим для одноименного Pt-Cu-Ni – месторождения [3]. Эта ассоциация объединяет дуниты, верлиты, их серпентинизированные разности и метапикриты, для которых характерными являются кумулятивные и бластопорфировые структуры. Кумулюсная минеральная фаза обычно представлена субизометричными, гипидиоморфными, реже идиоморфными зернами оливина, либо образовавшимися по ним псевдоморфозами лизардита. Клинопироксен и тремолитовая роговая обманка играют двойную роль, в большей части дунитов, верлитов и пикритов они

являются минералами интеркумулюсной фазы, однако в некоторых разновидностях верлитов и пикритов они наблюдаются в виде минералов кумулюсной фазы. Минералы интеркумулюсной фазы в этих породах представлены, преимущественно, вторичным тремолитом, хлоритом и рудными минералами, реже бруситом и флогопитом. Неоднородность структурно-минералогических особенностей ультрамафитов кингашского комплекса, очевидно, обусловлена различной степенью дифференциации первичного магматического расплава.

Ультрамафиты дунит-гарцбургитовой ассоциации наблюдаются в виде линзовидных, олистолизовых тел, сложенных реститовыми дунитами, гарцбургитами и их серпентинизированными разностями. Для свежих пород этой ассоциации характерны структуры, свойственные метаморфическим породам: гранобластовые, порфинокластовые и рекристаллизованные мозаичные. Удлиненные индивиды оливина и энстатита часто обнаруживают строгую предпочтительную минеральную ориентировку, они имеют неоднородное волнистое погасание, в них отмечаются полосы пластического излома, границы которых обычно ориентированы диагонально к направлению сланцеватости. Такие петроструктурные особенности дунитов и гарцбургитов свидетельствуют о вовлечении их в пластическое течение, осуществлявшееся сдвиговыми деформациями в условиях активной динамической обстановки. Подобные дуниты и гарцбургиты слагают крупный Оспинский ультрамафитовый массив, расположенный в юго-восточной части Восточного Саяна и представляющий собой фрагмент нижней части офиолитового покрова [4].

### Методика исследования

Петроструктурные исследования проводились, в основном, в неориентированных образцах и главная задача заключалась в выявлении соотношения ориентировок минералов по внутреннему строению и форме. В изученных образцах (обр. 13039; 13039-1; 23025-1; 23032; 23031-1) петроструктурные узоры оливина и пироксенов были приведены к единому горизонтальному плану, чтобы минеральная уплощенность в них имела субвертикальное расположение и была ориентирована в меридиональном направлении. Диаграммы оливина и клинопироксена из пород, отобранных из скважин (С-38-218,3; С-102-27,3), находятся в горизонтальной плоскости, перпендикулярно оси зерна, их пространственная ориентировка условная, минеральная уплощенность также ориентирована в меридиональном направлении. Диаграммы оливина из ориентированного образца дунита Кингашского массива (обр. Кн-4/1) пространственно ориентированы по отношению к странам света и располагаются в горизонтальной плоскости. Для построения диаграмм использовались результаты замеров пространственной ориентировки кристаллооптических осей оливина, ортопироксена и клинопироксена, при этом для всех осей было проведено по 100 определений. Для каждой оси результаты измерений ее пространственной ориентировки были вынесены на равноплощадную стереографическую сетку Шмидта в виде точек, затем с помощью специальной палетки подсчитана плотность точек, по которым проведены изолинии. В результате были получены ориентировки кристаллооптических осей с определенным типом узоров, интерпретация которых позволяет получить информацию об условиях формирования ультрамафитов [2].

### Результаты и их обсуждение

Петроструктурные исследования оливина и пироксенов осуществлялись в ультрамафитах как кингашского, так и идарского комплексов с целью идентификации их петроструктурных узоров и выявления термодинамических условий образования.

#### *Ультрамафиты кингашского комплекса*

В кингашском комплексе проведено петроструктурное изучение оливина и клинопироксена в дунитах и верлитах (рис. 1).

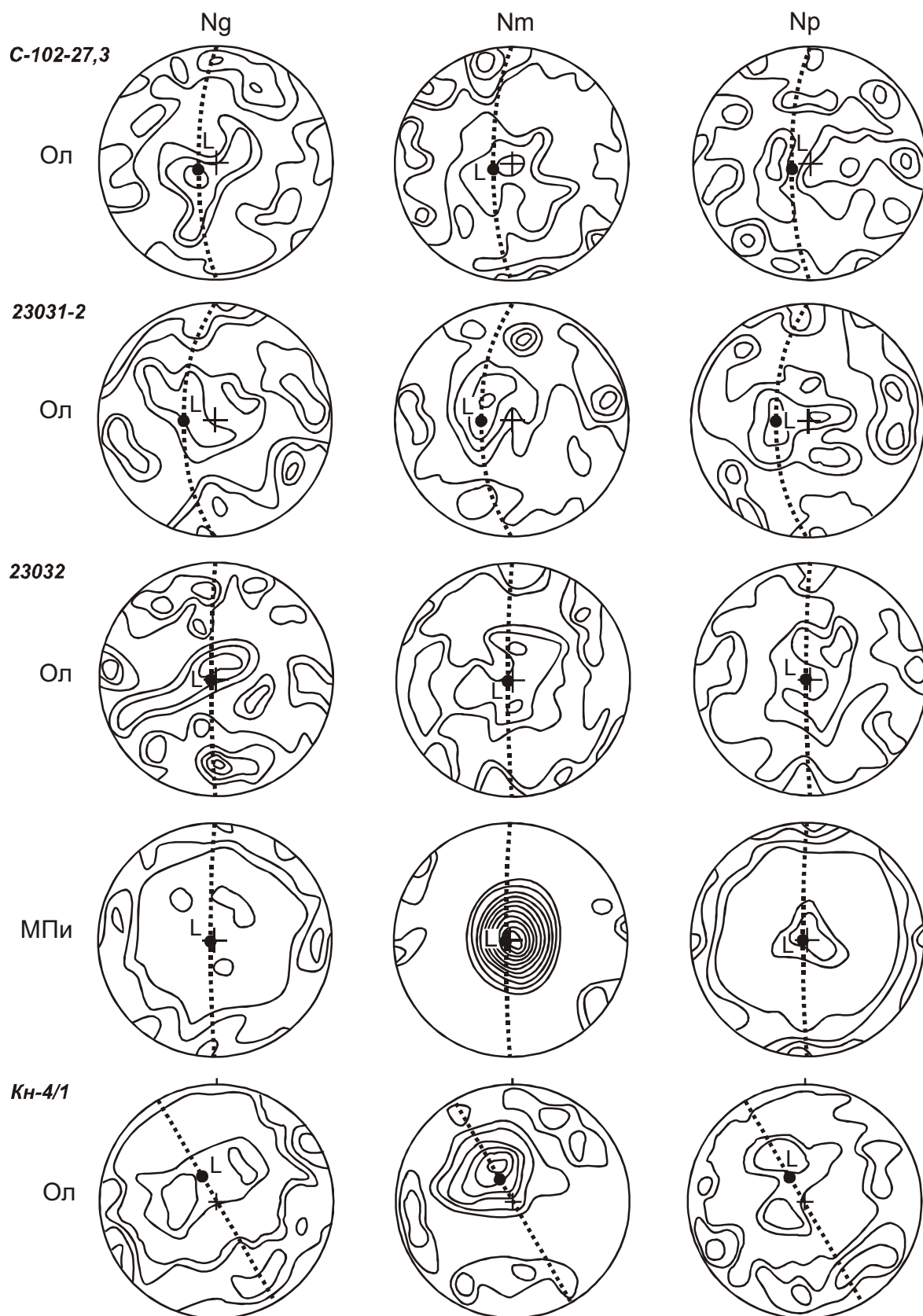
**Оливин** в исследуемых образцах обнаруживает сложные петроструктурные узоры (рис. 1, обр. С-102-27,3; 23031-2; 23032), анализ которых представляется в следующем обобщенном виде. Кристаллооптические оси Ng, Nm и Np по характеру узора имеют близкие ориентировки. Разноименные оси образуют максимумы и пояса, при этом максимумы и пояса всех трех осей пространственно совмещены. Минеральная уплощенность располагается нормально к поясам концентрации осей и проходит через совмещенные максимумы

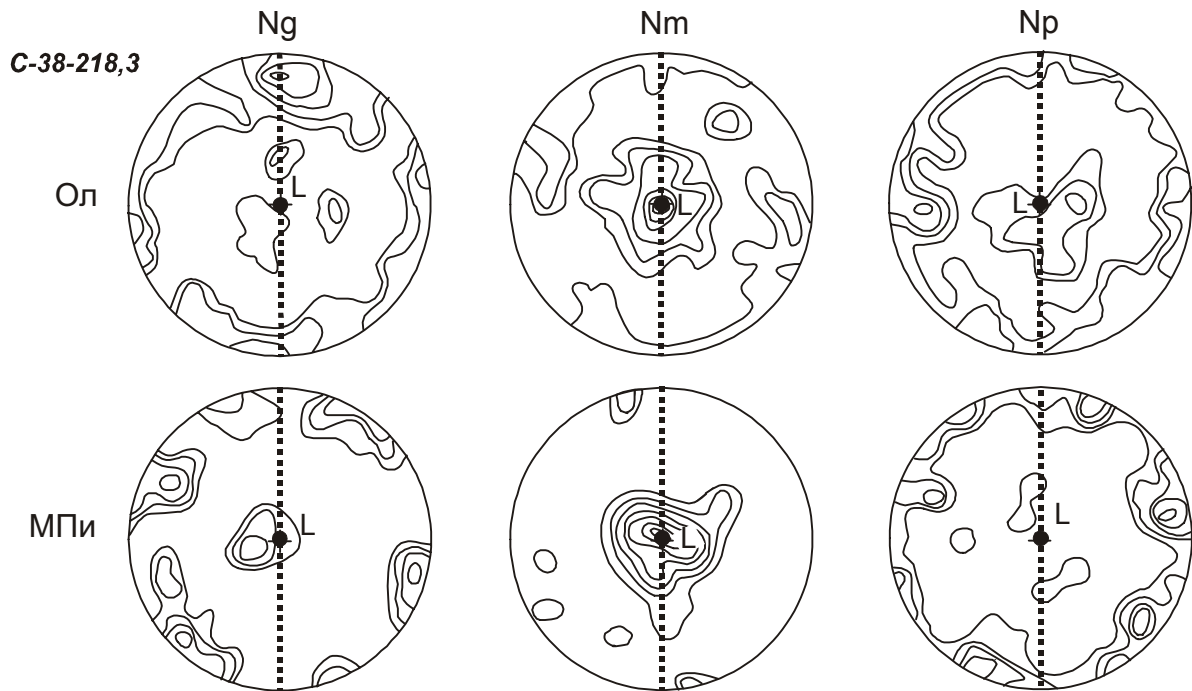
осей, с которыми пространственно совмещается минеральная линейность. В поясах отмечаются локальные максимумы, субнормальные к минеральной уплощенности. Подобные оптические ориентировки были установлены в дунитах и верлитах Кингашского массива. При этом наибольший интерес представляет подобная оптическая ориентировка оливина в ориентированном образце дунита (рис. 1, обр. Кн-4/1), которая обнаруживает тесную связь с залеганием массива. Она характеризуется наличием вертикальной минеральной уплощенности, ориентированной вдоль простирания массива, в которой располагаются субвертикальные максимумы осей Ng, Nm и Np, пространственно совмещенные с минеральной линейностью, круто погружающейся в юго-восточном направлении. Наибольшую плотность имеет максимум осей Nm (10 %), а максимумы других осей характеризуются слабой плотностью. Нормально к минеральной линейности располагаются совмещенные субгоризонтальные пояса концентрации осей Ng, Nm и Np. В этих поясах отмечаются локальные максимумы осей, ориентированные почти перпендикулярно к минеральной уплощенности. Таким образом, ориентировки оливина в изученном образце дунита по внутреннему строению и форме тесно связаны между собой и контролируются залеганием ультрамафитового тела.

**Клинопироксен.** Оптическая ориентировка клинопироксена, установленная в верлитах на исследуемой территории, является очень близкой по характеру узора клинопироксену в верлитах из нижней части разреза Кингашского массива (рис. 1, обр. 23032, С-38-218,3).

Оптические ориентировки клинопироксена в изученных верлитах хорошо согласуются с оптическими ориентировками сосуществующих оливинов, однако они отличаются более строгими преимущественными узорами. С минеральной линейностью пространственно совпадает сильный максимум осей Nm=[010] с высокой плотностью (до 20 %), к ней также тяготеют локальные максимумы осей Ng, Np с низкой плотностью (менее 4 %). Оси Ng и Np концентрируются, преимущественно, в совмещенные пояса, нормальные к минеральной линейности, в которых отмечаются локальные максимумы, ориентированные субнормально к минеральной уплощенности.

Анализ оптических ориентировок оливина и клинопироксена в изученных ультрамафитах кингашского комплекса свидетельствует о близости их петроструктурных узоров, которые, вероятно, являются отражением аналогичных условий их образования. Главными структурными элементами, определяющими петроструктуру оливина, очевидно, являются плоскость и направление течения магматического расплава. При этом плоскость течения расплава, очевидно, фиксируется вертикальной минеральной уплощенностью зерен оливина и клинопироксена, а его направление — максимумом осей Nm,





**Рис. 1.** Диаграммы ориентировки кристаллооптических осей оливина и клинопироксена в ультрамафитах кингашского комплекса. Проекция на верхнюю полусферу. Изолинии: 1-2-4-6-8-10-12-14-16-18-20 % на 1% сетки Шмидта. Точечная линия – плоскость минеральной уплотности, в которой «L» – минеральная линейность. Породы: дуниты, обр. КН-4/1; пироксеновые дуниты, обр. С-102-27,3; верлиты: обр. 23031-2; 23032; С-38-218,3

который отражает преимущественное кристаллографическое удлинение кристаллов оливина. Выявленные петроструктурные узоры оливина и клинопироксена, очевидно, являются результатом взаимодействия магматических процессов на заключительных стадиях кристаллизации ультрамафитов и метаморфических, осуществлявшихся пластическими деформациями, когда количество кумулятивных кристаллов становится велико и они начинают реагировать на динамические нагрузки [2, 5].

Полученные в дунитах и верлитах оптические ориентировки оливина, очевидно, отражают эффект течения магматического расплава [6]. Такие ориентировки определяются формой как изолированных оливиновых кристаллов в расплаве, так и кристаллов-кумулята с незначительным количеством интергранулярной жидкости.

При этом максимум  $N_m$  располагается в плоскости течения и соответствует его направлению (L), а две другие оси образуют ортогональные максимумы, либо пояса концентрации, перпендикулярные течению. Наиболее сильный по плотности максимум осей  $N_p$ , вероятно, ориентирован нормально к плоскости течения. Такой тип петроструктурного узора оливина образовался в условиях ламинарного течения расплава, которое обычно сопровождалось турбулентным вращением кристаллов [2, 7]. На заключительных стадиях формирования ультрамафитов ориентировка зерен оливина усложнялась наложенными пластическими деформациями, которые реализовались, главным образом, механизмами трансляционного

скольжения по системе (100)[001], при участии систем (001)[100] и (100)[010], о чем свидетельствует пространственное совмещение локальных максимумов осей  $N_g$  и  $N_p$  с максимумом осей  $N_m$ . При этом, направление трансляционного скольжения в оливине и пластического течения в породах совпадают и фиксируются  $L=N_m$ , унаследовавшей направление перемещения расплава. Формирование петроструктуры кумулятивного оливина в ультрамафитах, вероятно, осуществлялось при уменьшении температуры ( $\approx 1200 \dots 800$  °C), медленной скорости ( $< 10^{-6} \text{ c}^{-1}$ ) и низком стрессе (10...20 МПа) под структурным контролем внешнего поля напряжения, определяющего расположение максимумов осей  $N_g$ ,  $N_m$  и  $N_p$  и их поясов концентрации.

Детальный анализ узоров оптических ориентировок интергранулярного клинопироксена позволяет предположить следующую последовательность их формирования. В заключительную стадию кристаллизации верлитов, вероятно, скорость ламинарного течения значительно замедлялась и индивиды клинопироксена, кристаллизующиеся из остаточного расплава в интерстициях кумулятивных зерен оливина испытывали сжатие в направлении течения. В условиях сохраняющегося поля напряжения направление сжатия контролировало ориентировку осей  $N_m$  клинопироксена с формированием максимумов повышенной плотности, пространственно ориентированных вдоль направления течения (L). Подобное соотношение петроструктурного узора клинопироксена с плоскостью ламинарного течения магматического расплава установлено в меймечитах Гулинского плутона [8].

Таким образом петроструктурные узоры ориентировки оливина и клинопироксена в кумулятивных ультрамафитах кингашского комплекса сформировались, преимущественно, в обстановке ламинарного течения магматического расплава в вертикальном направлении, а не в стационарных условиях, в которых образуются изотропные петроструктурные узоры, обусловленные гравитационным осаждением кристаллов.

Ультрамафиты идарского комплекса

Установленные оптические ориентировки оливина в дунитах и гарцбургитах идарского комплекса представляют два петроструктурных типа (рис. 2).

Первый тип петроструктурного узора оливина установлен в дунитах с гранобластовой структурой (рис. 2, обр. 23025-1). Для него характерно наличие максимума осей Nm (6 %), совмещенного с минеральной линейностью, к которой также тяготеют слабые локальные максимумы осей Ng и Np. Нормально линейности все три кристаллооптические оси концентрируются в пояса с локальными максимумами. При этом, нормально к минеральной уплощенности располагаются максимумы осей Np (6 %) и Nm (4 %), а в ее плоскости перпендикулярно линейности находятся максимумы осей Ng (6 %), Nm (4 %) и Np (4 %). Подобные типы петроструктурных узоров оливина были установлены в дунитах Западной Тувы [9]. Формирование этого типа, очевидно, происходило в условиях прогрессивного регионального метаморфизма ультрамафитов идарского комплекса и осуществлялось механизмом внутрискристаллического скольжения в оливине в результате

смены систем трансляции от низкотемпературных к высокотемпературным:  $(001)[010] \rightarrow (110)[001] \rightarrow \{0kl\}[100] \rightarrow (010)[100]$ , которые реализовались в условиях соосных осевых деформаций в режиме повышения температур (750...1000 °C) и невысокого напряжения (10...20 МПа) [10, 11]. Формирование совмещенных с L максимумов осей Ng, Nm и Np происходило в том случае, когда последующая активизация более высокотемпературной системы трансляционного скольжения не могла уничтожить ранее образовавшиеся петроструктуры оливина при сохраняющемся направлении пластического течения. Формирование петроструктурного узора завершается при высоких температурах (>1000 °C) постдеформационной статической рекристаллизацией отжига, которая осуществлялась под структурным контролем внешнего поля напряжения, при этом оси Np стремятся ориентироваться вдоль направления сжатия. В результате рекристаллизации отжига формируется гранобластовая структура ненапряженных полигональных оливинных индивидов, часто сходящихся в тройных точках под углом ~120°.

Второй тип петроструктурного узора оливина установлен в гарцбургитах с порфирукластовой структурой (рис. 2, обр. 13039-1). Он имеет строгую предпочтительную ориентировку и характеризуется поясовым расположением осей Ng и Nm в плоскости минеральной уплощенности, в которой располагаются две минеральных линейности (L и L<sub>1</sub>). С ранней L пространственно совмещены наиболее сильный максимум осей Nm (12 %) и локальный максимум Ng (4 %), которые, вероятно, являются отражением первого типа петроструктурных узоров

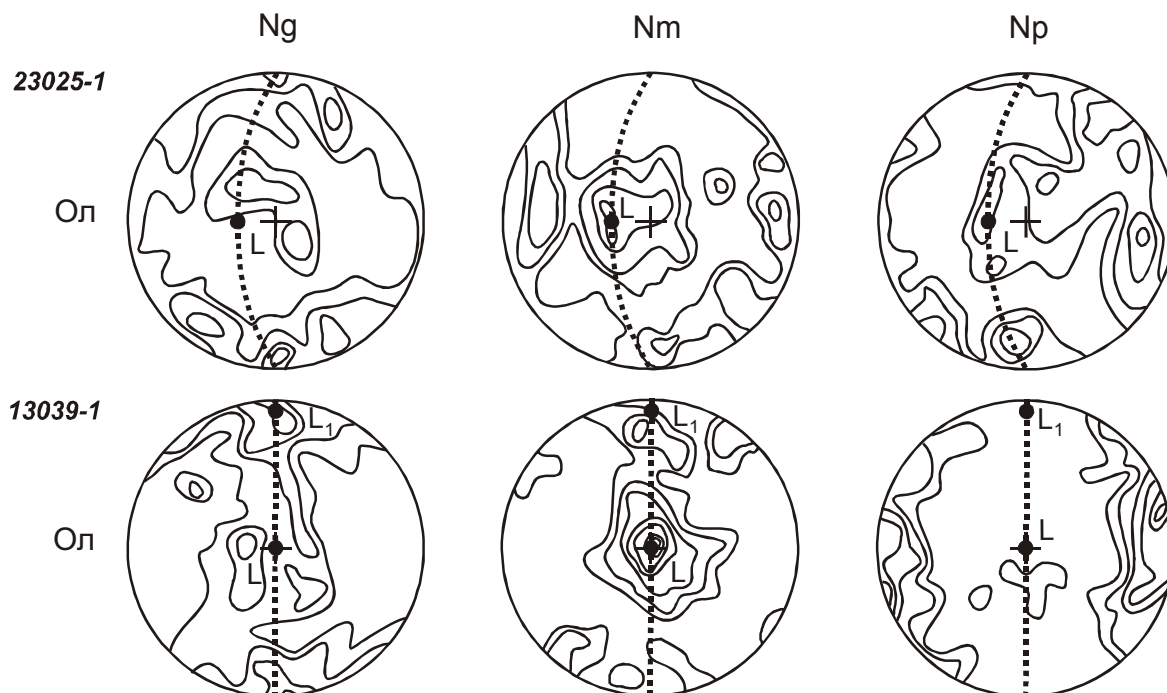


Рис. 2. Диаграммы ориентировки кристаллооптических осей оливина в ультрамафитах идарского комплекса. Проекция на верхнюю полусферу. Изолинии: 1-2-4-6-8-10-12 % на 1 % сетки Шмидта. Точечная линия – плоскость минеральной уплощенности, в которой «L» – минеральная линейность. Дуниты: обр. 23025-1; гарцбургиты: обр. 13039-1

ров оливина. Для этого типа ориентировки характерно наличие максимума  $N_p$  высокой плотности (10 %), который располагается к минеральной уплощенности под углом  $\sim 70^\circ$ . С появлением этого максимума связано переориентация минеральной линейности в  $L_1$  и формирование тяготеющих к ней максимумов осей  $N_g$  (6 %) и  $N_m$  (4 %).

Формирование этого петроструктурного узора оливина, очевидно, происходило в условиях простого сдвига и высокой скорости деформации, механизмом катакlastического течения, сопровождавшегося трансляционным скольжением с образованием полос излома и синтетектонической рекристаллизацией. Наличие многочисленных полос излома в оливине и энстатите свидетельствует о неоднородной пластической деформации, которая, вероятно, осуществлялась в широком интервале температур (500...850 °C) и при высоких напряжениях (100...200 МПа) [12] в верхних частях земной коры в процессе субгоризонтального перемещения ультрамафитов вдоль глубинных надвигов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ножкин А.Д., Туркина О.М., Бобров В.А., Киреев А.Д. Амфиболит-гнейсовые комплексы зеленокаменных поясов Канской глыбы: геохимия, реконструкция протолитов и условий их образования (Восточный Саян) // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37. – № 12. – С. 30–41.
2. Чернышов А.И. Ультрамафиты (пластическое течение, структурная и петроструктурная неоднородность). – Томск: Чародей, 2001. – 216 с.
3. Корнев Т.Я., Еханин А.Г. Эталон Кингашского базальт-коматитового комплекса (Восточный Саян). – Новосибирск: Наука, 1997. – 89 с.
4. Гончаренко А.И., Чернышов А.И. Деформационная структура и петрология нефритиносных гипербазитов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. – 200 с.
5. Щербаков С.А. Микроструктурный анализ ультрабазитов Тихого и Индийского океанов // Известия АН СССР. Сер. геол. – 1985. – № 3. – С. 54–56.
6. Turner F.J. Preferred orientation of olivine crystals in peridotites, with special reference to New Zealand examples // Trans. Roy. Soc. NZ. – 1942. – V. 72. – P. 280–300.

#### Выводы

Ультрамафиты кингашского комплекса, согласно результатам петроструктурного анализа оливина и клинопироксена, кристаллизовались в условиях ламинарного течения магматического расплава в режиме медленной скорости ( $< 10^{-6} \text{ c}^{-1}$ ) и уменьшения температуры ( $\approx 1200 \dots 800 \text{ }^\circ\text{C}$ ) под структурным контролем внешнего поля напряжения.

Ультрамафиты идарского комплекса, по данным петроструктурного анализа оливина, претерпели метаморфические преобразования в условиях прогрессивного регионального метаморфизма в режиме повышения температур (750...1000 °C) и невысокого напряжения (10...20 МПа) с образованием гранобластовых структур. В активных динамических зонах они подвергались интенсивному пластическому течению в режиме широкого интервала температур (500...850 °C) и высоких напряжениях (100...200 МПа) при возрастающей скорости деформации и увеличения роли синтетектонической рекристаллизации, что способствовало формированию порфирокластовых структур.

7. Казаков А.И. Микроструктурная ориентировка оливина в породах предположительно верхней мантии // ЗВМО. – 1965. – Ч. 94. – Вып. 5. – С. 576–580.
8. Васильев Ю.Р., Золотухин В.В. Петрология ультрабазитов севера Сибирской платформы и некоторые проблемы их генезиса. – Новосибирск: Наука, 1975. – 271 с.
9. Гончаренко А.И., Чернышов А.И., Возная А.А. Офиолиты Западной Тувы (строение, состав, петроструктурная эволюция). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1994. – 125 с.
10. Грин Х.У. Пластичность оливина в перидотитах // Электронная микроскопия в минералогии. – М.: Мир, 1979. – С. 427–447.
11. Nicolas A., Boudier F., Boullier A.M. Mechanism of flow in naturally and experimentally deformed peridotites // Amer. J. Sci. – 1973. – № 10. – P. 853–876.
12. Boudier F., Nicolas A. Stress and strain estimates in the Lanzo peridotite massif (Western Alps) // Association mafiques ultra-mafiques dans les orogenes. – Paris: CNRS, 1980. – P. 221–228.

Поступила 17.05.2007 г.