

## ОКСИТЕРМОБАРОМЕТРИЯ ДУНИТ-КЛИНОПИРОКСЕНИТОВОГО КОМПЛЕКСА МАССИВА СВЕТЛЫЙ БОР, ПЛАТИНОНОСНЫЙ ПОЯС УРАЛА: ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ

И. С. Чашухин, С. Л. Вотяков, А. Б. Миронов

Продолжая планомерное изучение окислительно-восстановительного состояния дунит-клинопироксенитовых комплексов Платиноносного пояса Урала, нами была изучена коллекция дунитов, собранная в ходе геологической экскурсии на массиве Светлый Бор. Цель – проследить эволюцию редокс-состояния ультрамафитов в ходе формирования массива, послужившего вместе с Вересовоборским массивом коренным источником платины крупнейшего на Урале Исовско-Туринского россыпного района [4] в сопоставлении с ранее изученными массивами Платиноносного пояса и России [5].

Массив находится к западу от г. Качканара, Свердловская область, в 1 км к западу от пос. Косья. Ультрамафиты представлены дунитовым ядром площадью 16 км<sup>2</sup>, окруженным клинопироксенитовой оторочкой мощностью от 0.2 до 1.5 км [2]. Центральная часть ядра сложена крупно- и среднезернистыми дунитами, краевая, вблизи клинопироксенитов – тонкозернистыми разностями. По классификации А.А. Ефимова, Светлый Бор относится к автономным дунит-клинопироксенитовым телам Платиноносного пояса [1].

### ОБРАЗЦЫ

Отбор образцов дунитов проведен на двух участках. Два из них (8990, 8991) отобраны в центральной части массива, в искусственных выемках газопровода восточнее реки Ис; четыре (8992, 8993, 8994, 8996) – в поисковых канавах в юго-западной части массива (рудопроявление Высоцкого); один (8995) – в сухом русле притока р. Ис, вблизи этого рудопроявления. После просмотра шлифов и полировок для дальнейшего изучения были оставлены четыре образца (№№ 8990, 8992, 8993, 8995).

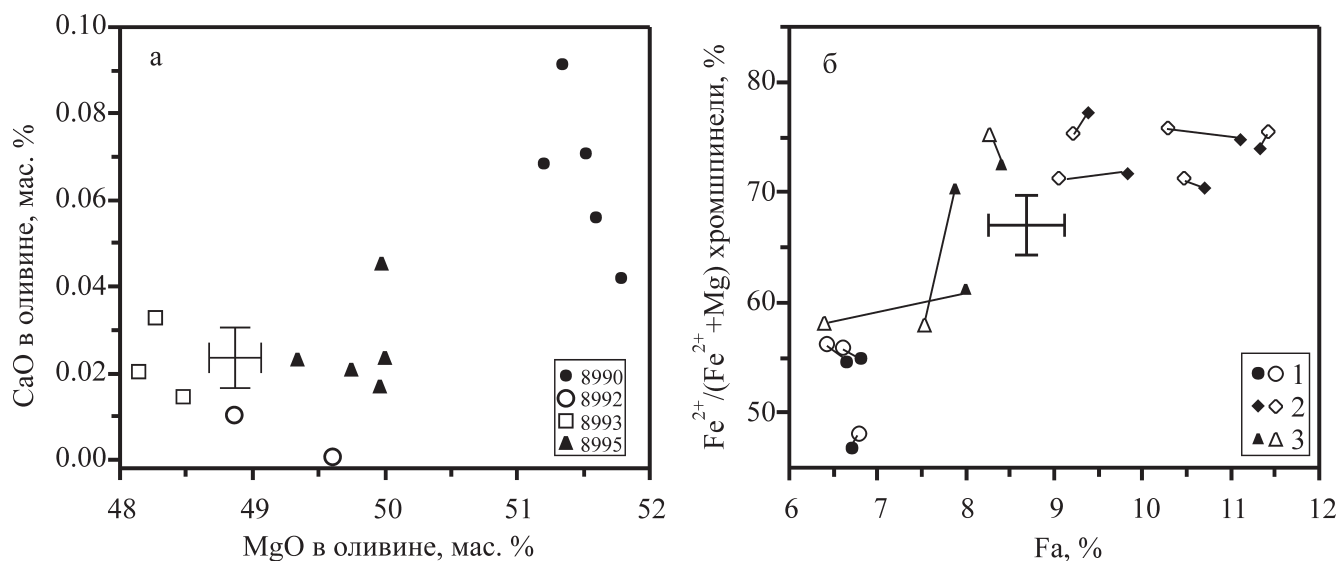
Образец 8990 из центральной части массива сложен петельчато серпентинизированным на ~50% дунитом. Отчетливо различаются два типа оливина: 1) однородные по строению зерна, 2) зерна с ярко выраженной отдельностью (спайностью). Как правило, сечения с хорошо выраженной спайностью близки к Nm (001), блеск которой хорошо виден невооруженным глазом. Порода содержит много мелких идиоморфных зерен хромшпинели. В полировке хромшпинель однородна и не метаморфизована.

Дуниты из поисковых канав (обр. 8992, 8993) сложены тонкозернистым, без признаков спайности, серпентинизированным на 30% оливинами и обильными мелкими зернами неметаморфизованной хромшпинели. Встречено зерно клинопироксена со спайностью по двум направлениям. По одному из них в центре зерна развиты тонкие пластинки хромшпинели, состав которых по данным микрозонда аналогичен составу акцессорной хромшпинели. Периферия зерна клинопироксена очищена от пластинок и рудный образует округлые зерна. В третьем образце (8994), помимо 5–10% петельчатого серпентина, развит антигорит (10%). Последний представлен двумя формами: ранней, слагающей удлиненные лейсты по границам оливиновых зерен, и поздней, образующей прожилки с поперечно ориентированными пластинками. Во всех случаях антигорит сопровождается обильными выделениями магнетита и метаморфизует хромшпинель. Степень замещения хромшпинели магнетитом неравномерная и варьирует от первых до 70–80%. По этой причине этот образец для дальнейшего изучения был отбракован.

Образец 8995 из русла притока р. Ис представлен петельчато серпентинизированным на ~50% дунитом. Структура оливина массивная, зерна со спайностью редки. Хромшпинель образует крупные, чистые (неметаморфизованные) зерна, практически без магнетита.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Аналитические исследования проведены в Центре коллективного пользования УрО РАН “Геоаналитик”, г. Екатеринбург, аттестат аккредитации № 001544. Анализы сосуществующих минералов выполнены в полированных шлифах на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca SX100. Мессбауровские спектры сняты на спектрометре SM2201, источник излучения <sup>57</sup>Со в матрице Сг, режим постоянных ускорений, геометрия пропускания, комнатная температура. На основе полученных данных оценено редокс-состояние ультрамафитов; расчеты fO<sub>2</sub> выполнены по оксидометру Больхауза–Берри–Грина [6] по методикам, опубликованным нами ранее [5]. Погрешность составила 0.4 ед. log. fO<sub>2</sub>.



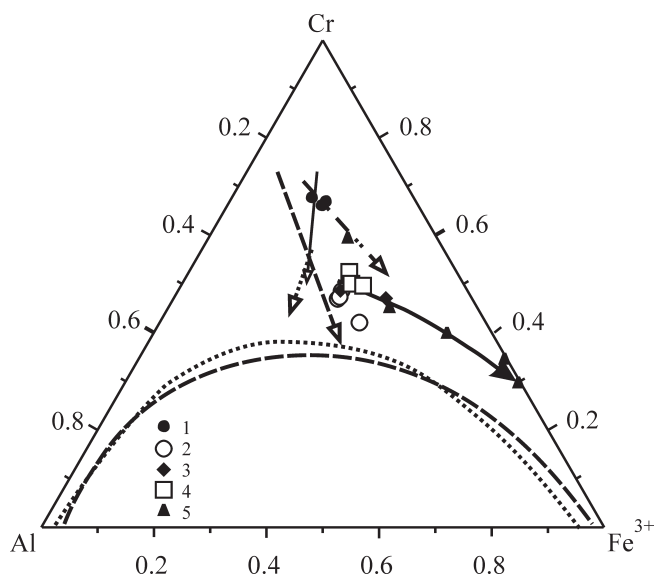
**Рис. 1.** Составы оливинов и хромшпинелей в дунитах массива Светлый Бор.

а – соотношение извести и магнeзии в оливине, цифрами показаны номера образцов; б – величины железистости сосуществующих оливинов и хромшпинелей; 1 – дунит центральной части массива, 2 – дуниты рудопроявления Высоцкого, 3 – дунит из плотика; залитые значки – центр, не залитые – края зерен; линиями соединены соседние зерна.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

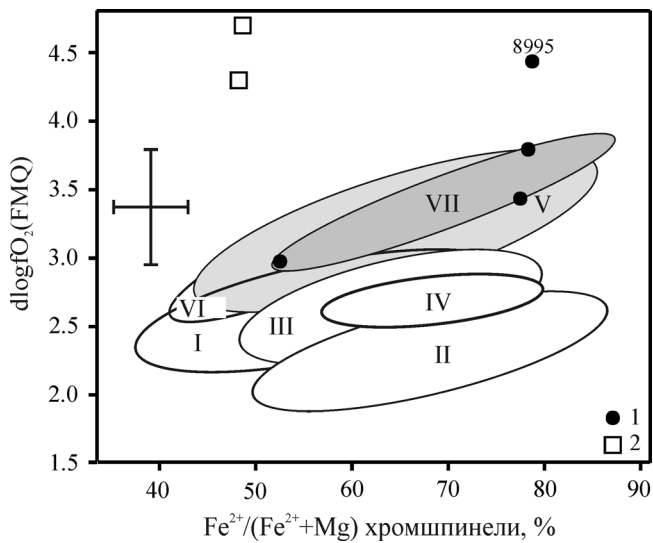
По составу оливина дунит центральной части массива (обр. 8990) существенно отличается от остальных дунитов: если в центре величина Fa варьирует в пределах 6.4–6.9%, то на рудопроявлении Высоцкого 9.1–11.4, в дуните из русла ручья – 7.7–8.4%. Железистость периферии зерен на 0.2–0.7% ниже их ядер. Оливины центральной части особенно четко отличаются от остальных по соотношению извести и магнeзии – разница существенно превышает погрешности анализа (рис. 1а). Железистость сосуществующих хромшпинелей варьирует от 47 до 67% в образце из центральной части массива, от 58 до 70% в дунитах притока и достигает максимума 70–75% в дунитах рудопроявления Высоцкого (рис. 1б). В подавляющем большинстве случаев края зерен оливина имеют несколько пониженную по сравнению с центром величину Fa. Соответственно для хромшпинели за некоторым исключением эта зависимость противоположна.

По соотношению трехвалентных катионов в хромшпинели выборка также разделилась на две естественные группы. Образец из центральной части располагается в поле составов большинства зональных дунит-клинопироксенитовых массивов (г. Соловьева, Кытлымский, Гальмозанский и Кондёрский массивы), хромиты из рудопроявления Высоцкого и часть хромшпинелей из русла притока р. Ис располагаются в компактном поле, отличным от ранее изученных [5], а с учетом всех данных образуют новый, ранее неизвестный тренд в координатах Al–Cr–Fe<sup>3+</sup> (рис. 2). Возможно, что этот тренд является частью кривой низкотемпературного по



**Рис. 2.** Соотношение трехвалентных ионов в структуре аксессуарной хромшпинели из дунитов массива Светлый Бор в сопоставлении с трендами составов хромшпинелей зональных комплексов.

1 – центральная часть массива, 2–4 – рудопроявление Высоцкого, 5 – русло притока р. Ис. Линии со стрелками – тренды составов: жирная сплошная – юго-западная часть массива Светлый Бор, штриховая – Уктусский массив [3], пунктирная – Денежкин Камень, штрих-пунктирная – г. Соловьева, Кытлымский массив (Иювское тело, Косвинское Плечо, Сосновский Увал), тонкая сплошная – Восточно-Хабарнинская ассоциация). Линии сольвуса: штриховая – Уктусский массив [3], пунктирная – Денежкин Камень. Расчет минала Fe<sup>3+</sup> проведен с использованием мессбауэровской спектроскопии.



**Рис. 3.** Соотношения летучести кислорода и железистости хромшпинели в дунитах зональных комплексов.

1 – массив Светлый Бор, 2 – хромит-платиновые шпирры из дунитов г. Соловьевой. Эллипсы: I – массив г. Соловьевой, II – Иовское тело, III – Сосновский Увал, IV – Денежкин Камень, V – Кондерский массив, VI – Гальмознанский массив, VII – Светлый Бор.

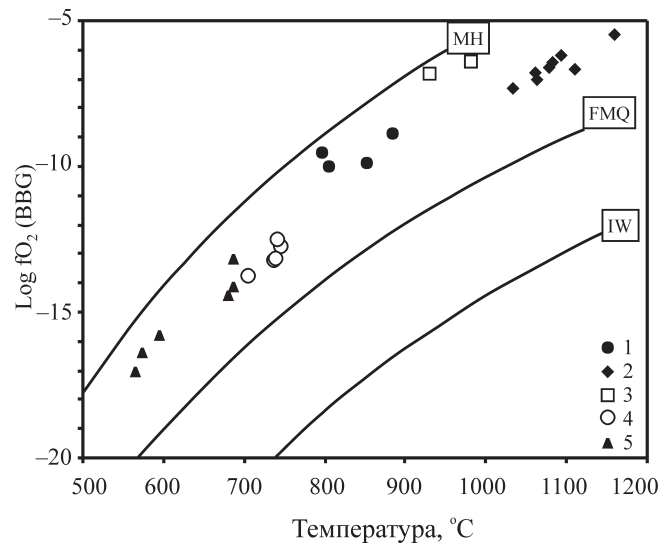
сравнению с хромшпинелями Уктуса и Денежкина Камня сольвуса.

Величина летучести кислорода в дунитах массива Светлый Бор, нормированная на фиксированную железистость, близка дунитам Гальмознанского и Кондёрского массивов, несколько превышает  $fO_2$  дунитов г. Соловьевой и существенно – Кытлымского массива (рис. 3). Максимального значения она достигает в образце дунита из русла притока р. Ис и практически соответствует состоянию окисленности платиноносных хромититов г. Соловьевой ( $fO_2 \approx 4.5$  ед.  $\log$  относительно FMQ). Температура замороженного оливин-хромшпинелевого равновесия равна 800–900°С (рис. 4).

## ВЫВОДЫ

Несмотря на ограниченность изученной выборки образцов, можно сделать ряд предварительных выводов. Сумма приведенных данных свидетельствует о гетерогенной природе дунитов массива Светлый Бор. Дуниты центральной части по ряду параметров состава (содержанию кальция в структуре оливина и составу аксессуарной хромшпинели) близки к дунитам г. Соловьевой. Дуниты юго-западной части отличаются пониженной концентрацией кальция в оливине, повышенной железистостью сосуществующих хромшпинели и оливина и отличным от других массивов соотношением трехвалентных катионов в структуре хромшпинели.

По температуре оливин-хромшпинелевого равновесия дуниты Светлого Бора занимают промежу-



**Рис. 4.** Соотношения температуры оливин-хромшпинелевого равновесия и летучести кислорода в дунитах массива Светлый Бор и в других массивах Платиноносного пояса Урала.

1 – массив Светлый Бор; 2–3 – г. Соловьева: 2 – безрудные хромитит-дунитовые серии, 3 – платиноносные хромититы; 4 – Кытлымский массив, Иовское тело; 5 – массив Денежкин Камень, Желтая Сопка. Расчеты температуры и летучести кислорода проведены с использованием мёссбауэровской спектроскопии хромшпинели.

точное положение между дунитами г. Соловьевой, с одной стороны, и дунитами Кытлымского массива и массива Денежкин Камень – с другой. Снижение железистости оливина на контакте с зернами хромшпинели, и, соответственно, повышение железистости хромшпинели на контакте с зернами оливина, свидетельствует об увеличении коэффициента распределения железа и магния между этими фазами и как итог – о снижении температуры минерального равновесия. Это позволяет предположить, что первичные температуры формирования дунит-клинопироксенитового комплекса массива Светлый Бор были существенно выше измеренных.

Редокс-состояние дунитов массива в целом – наиболее окисленное из ранее изученных зональных дунит-клинопироксенитовых комплексов Платиноносного пояса и Урала в целом. Оно практически идентично состоянию окисленности платиноносных автономных дунит-клинопироксенитовых комплексов Гальмознанского и Кондёрского массивов и свидетельствует о значительной потенциальной продуктивности массива на платиновые руды.

Авторы благодарны Е.В. Пушкареву, Т.В. и Ю.М. Телегиным и И.А. Готтман за организацию и проведение экскурсии на массив Светлый Бор.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 24 “Научные осно-*

вы инновационных энергоресурсосберегающих экологически безопасных технологий оценки и освоения природных и техногенных ресурсов”.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ефимов А.А.* Горячий меланж как форма сонахождения дунитов, пироксенитов и габбро в Платиновом поясе Урала // Под знаком платины: мат-лы Уральской летней минералог. школы. Екатеринбург: УГГГА, 1999. С. 98–101.
2. *Иванов О.К.* Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала (минералогия, петрология, генезис). Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 1997. 488 с.
3. *Пушкарёв Е.В.* Уктусский дунит-клинопироксенит-габбровый массив. Геология, петрология, минерагения. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, УГГА, 1999. 159 с.
4. *Телегин Ю.М., Телегина Т.В., Толстых Н.Д.* Геологические особенности рудопоявлений платины Светлоборского и Каменушинского массивов Платинового пояса Урала // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанных с ними месторождений: мат-лы III Международ. конф. (г. Качканар). Екатеринбург: УрО РАН, 2009. С. 212–215.
5. *Чащухин И.С., Вотяков С.Л., Щанова Ю.В.* Кристаллохимия хромшпинели и окситермобарометрия ультрамафитов складчатых областей. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. 310 с.
6. *Ballhaus C., Berry R., Green D.* High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implication for the oxidation state of the upper mantle // Contrib. Mineral. Petrol. 1991. V 107. P. 27–40.