

## СОСТАВ АКЦЕССОРНОЙ ХРОМОВОЙ ШПИНЕЛИ ИЗ ПЕРМОТРИАСОВЫХ БАЗАЛЬТОВ ФУНДАМЕНТА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2017 г. С. В. Берзин, К. С. Иванов

Хромовая шпинель является широко распространенным акцессорным минералом в основных вулканитах. Этот минерал характеризуется широкими вариациями химического состава в зависимости от условий кристаллизации и состава сосуществующего расплава. В связи с этим хромовая шпинель служит индикатором условий образования базальтов, в том числе геодинамических обстановок их формирования [Barnes, 2000; Barnes, Roeder, 2001; Kamenetsky et al., 2001; Roeder, 1994; Roeder et al., 2001; и др.]. **Задачи исследования** – изучение составов акцессорных хромовых шпинелей из пермтриасовых базальтов фундамента Западно-Сибирской плиты и сопоставление их с литературными данными о составе хромовой шпинели в базальтах разных геодинамических обстановок.

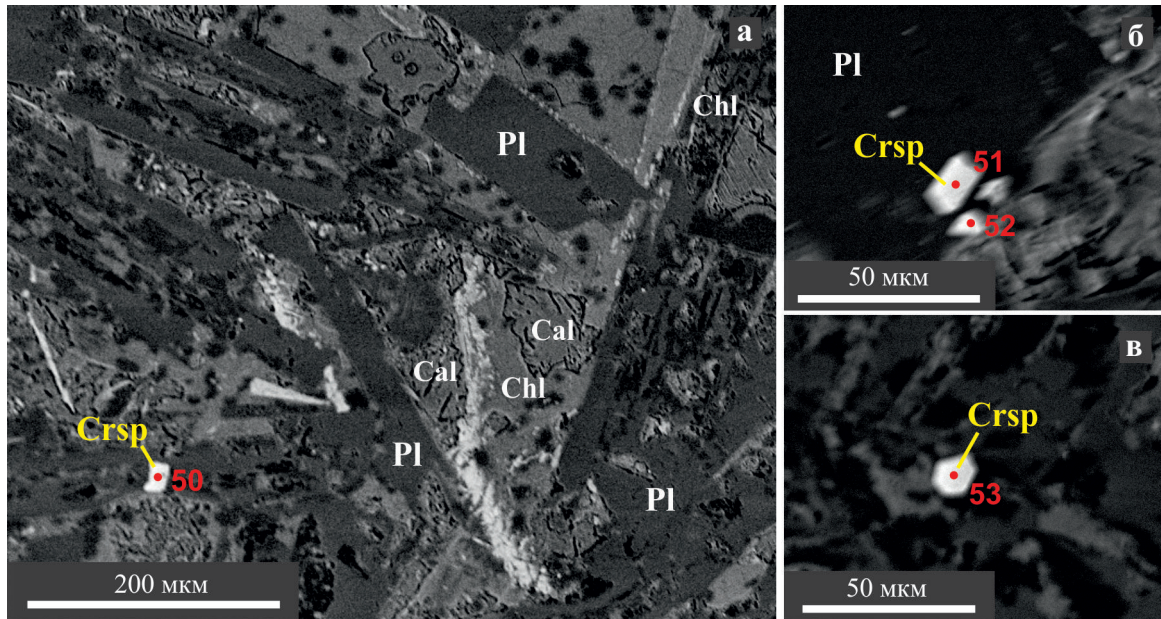
Пермтриасовые трапповые базальты распространены на очень большой площади Сибирской плиты и в доюрском фундаменте Западно-Сибирского бассейна вплоть до Среднего Урала на западе, Тимано-Печерского региона, а также Карского и Баренцева морей на севере. В фундаменте Западно-Сибирского бассейна они преимущественно слагают рифты и грабены и широко присутствуют на поверхности фундамента в его центральной, западной, восточной и северных частях [Сурков и др., 1987; Добрецов, 1997; Иванов К.С. и др., 2002, 2003, 2016а, б; Добрецов и др., 2005; Иванов К.П. и др., 2006, 2007; Ivanov A.V., 2007; Иванов, Ерохин, 2014; Ivanov K.S. et al., 2016; и др.]. По сравнению с трапповыми базальтами Сибирской платформы пермтриасовые вулканиты фундамента Западной Сибири изучены существенно хуже в основном за счет отсутствия естественных обнажений. Исследованию их геохимии и отчасти минералого-петрографических характеристик посвящен ряд публикаций [Медведев и др., 2003; Батурина и др., 2005; Сараев и др., 2009; Берзин и др., 2016а, б; Иванов К.С. и др., 2016а, б; Пономарев и др., 2016; и др.]. В данной работе впервые приводятся сведения о составе акцессорной хромовой шпинели из пермтриасовых базальтов фундамента Западной Сибири.

В ходе данного исследования произведено микроскопическое и микрозондовое изучение нескольких десятков тонких полированных шлифов

базальтов из фундамента Западной Сибири. Хромовая шпинель была найдена в четырех образцах: скв. Западно-Чистинная 501, 3428 и 3438 м, скв. Котыгъеганская 28, 3022 м, скв. Сыморьяхская 10640, 2045 м, и в одном образце пермтриасовых базальтов из обнажения на Среднем Урале в разрезе по р. Багаряк (обр. Багаряк-015). Скважина Западно-Чистинная 501 находится в центральной части ХМАО в пределах Колтогорско-Уренгойского рифта. Образцы с глубин 3428 и 3438 м представлены массивными базальтами, сложенными микрокристами плагиоклаза, погруженными в палагонит, замещаемый вторичными минералами – пумпеллиитом и хлоритом. Скважина Котыгъеганская 28 расположена в восточной части ХМАО [Иванов К.С. и др., 2016б]. Образец с глубины 3022 м представлен зеленокаменно-измененным выветрелым базальтом. Скважина Сыморьяхская 10640 размещается в Шаимском районе Приуральской части Западной Сибири. Образец с глубины 2045 м сложен плагиоклазом, клинопироксеном и основным стеклом, по которому развиваются метаморфогенные минералы. Образец Багаряк-015 отобран из скального обнажения на правом берегу р. Багаряк на западной околице д. Зырянка. Здесь в пределах Восточно-Уральской зоны находится один из наиболее представительных уральских разрезов вулканитов верхней перми–нижнего триаса [Иванов К.П., 1974; Иванов К.С. и др., 2002; и др.]. Образец представлен порфировым миндалекаменным базальтом с мелкими порфировыми вкрапленниками плагиоклаза.

Хромовая шпинель в рассмотренных образцах выражена отдельными идиоморфными зернами размером 5–30 мкм, которые встречаются на границе минеральных индивидов, местами захвачены в процессе роста зернами плагиоклаза или погружены в палагонит (рис. 1). Изучение состава и съемку в отраженных электронах осуществляли на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca SX-100 в ИГГ УрО РАН, аналитик А.В. Михеева.

Составы изученных хромовых шпинелей приведены в табл. 1. Содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  варьирует в широких пределах от 14.00 до 49.00 мас. %, отношение  $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al} + \text{Fe}^{3+}) = 0.34\text{--}0.70$ ,  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}) = 0.50\text{--}0.99$  мас. %. Почти все анализы попадают в по-



**Рис. 1.** Зерна акцессорной хромовой шпинели в пермотриасовых базальтах Западной Сибири.

Образец из скважины Западно-Чистинная 501, 3438 м. Фотографии в отраженных электронах. Pl – плагиоклаз, Cal – кальцит, Chl – хлорит, Crsp – хромовая шпинель.

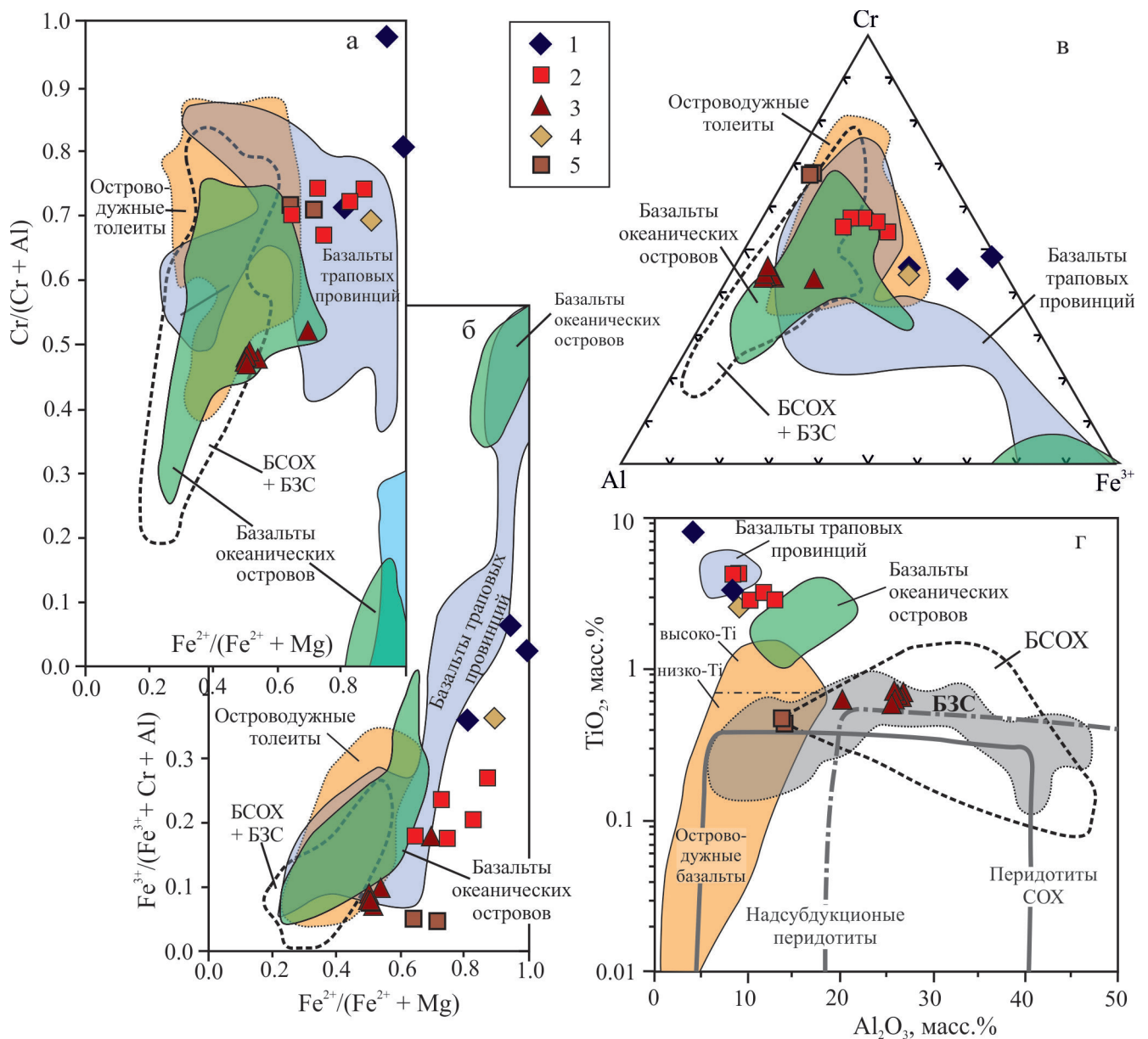
**Таблица 1.** Состав хромовой шпинели из пермотриасовых базальтов фундамента Западно-Сибирской платформы, мас. %

| Точка                               | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | V <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO*  | MnO  | MgO   | ZnO   | Сумма |
|-------------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|
| <i>Западно-Чистинная 501/3428 м</i> |                  |                  |                                |                                |                               |       |      |       |       |       |
| 35                                  | 0.13             | 3.25             | 8.25                           | 30.13                          | 1.09                          | 48.79 | 0.43 | 3.53  | 0.00  | 95.83 |
| 37                                  | 0.20             | 0.00             | 0.54                           | 31.49                          | 0.20                          | 57.36 | 1.71 | 0.93  | 1.35  | 93.90 |
| 38                                  | 0.11             | 7.74             | 3.98                           | 24.42                          | 0.90                          | 52.86 | 0.30 | 0.11  | 2.67  | 93.08 |
| <i>Западно-Чистинная 501/3438 м</i> |                  |                  |                                |                                |                               |       |      |       |       |       |
| 50                                  | 1.03             | 2.82             | 12.71                          | 38.06                          | 0.74                          | 36.70 | 0.27 | 4.87  | 0.00  | 97.34 |
| 51                                  | 0.00             | 2.81             | 10.16                          | 38.89                          | 0.92                          | 40.74 | 0.00 | 3.29  | 0.27  | 97.31 |
| 52                                  | 0.45             | 4.13             | 8.23                           | 34.75                          | 1.16                          | 44.21 | 0.38 | 2.33  | 0.36  | 96.02 |
| 53                                  | 0.00             | 4.24             | 8.92                           | 37.87                          | 1.05                          | 39.28 | 0.30 | 5.19  | 0.00  | 96.96 |
| 54                                  | 0.18             | 3.15             | 11.54                          | 39.91                          | 1.02                          | 33.93 | 0.27 | 6.88  | 0.00  | 97.05 |
| 55                                  | 0.15             | 18.03            | 4.91                           | 13.52                          | 1.47                          | 45.03 | 0.00 | 0.02  | 13.42 | 96.63 |
| 56                                  | 0.00             | 14.83            | 3.75                           | 26.73                          | 1.99                          | 39.26 | 0.29 | 0.05  | 9.77  | 96.66 |
| <i>Котыгъеганская 28/3022 м</i>     |                  |                  |                                |                                |                               |       |      |       |       |       |
| 21                                  | 0.00             | 0.69             | 26.61                          | 34.83                          | 0.24                          | 25.34 | 0.00 | 10.75 | 0.00  | 98.93 |
| 22                                  | 0.00             | 0.64             | 26.44                          | 34.90                          | 0.25                          | 25.14 | 0.00 | 10.88 | 0.00  | 98.72 |
| 23                                  | 0.00             | 0.67             | 26.14                          | 35.76                          | 0.26                          | 25.44 | 0.00 | 10.71 | 0.00  | 99.50 |
| 24                                  | 0.00             | 0.71             | 25.83                          | 35.13                          | 0.27                          | 26.18 | 0.00 | 10.83 | 0.00  | 99.46 |
| 25                                  | 0.00             | 0.62             | 25.82                          | 36.46                          | 0.26                          | 25.13 | 0.00 | 10.51 | 0.00  | 99.33 |
| 26                                  | 0.00             | 0.57             | 25.36                          | 34.17                          | 0.35                          | 27.88 | 0.00 | 9.91  | 0.00  | 98.90 |
| 34                                  | 0.00             | 0.62             | 19.94                          | 32.00                          | 0.67                          | 37.66 | 0.00 | 6.19  | 0.00  | 97.81 |
| <i>Сьморьяхская 10640/2045 м</i>    |                  |                  |                                |                                |                               |       |      |       |       |       |
| 56                                  | 0.00             | 2.49             | 8.87                           | 29.46                          | –                             | 51.66 | 0.26 | 1.96  | –     | 94.74 |
| <i>Обр. Багаряк-015</i>             |                  |                  |                                |                                |                               |       |      |       |       |       |
| 28                                  | 0.56             | 0.45             | 13.01                          | 48.50                          | 0.14                          | 24.46 | 0.28 | 6.66  | 0.94  | 95.14 |
| 29                                  | 0.00             | 0.41             | 13.19                          | 47.47                          | 0.14                          | 26.64 | 0.22 | 5.30  | 0.38  | 93.95 |

\*Сумма двух- и трехвалентного железа в пересчете на двухвалентное.

ле составов хромита, анализы из образца Котыгъеганская 28/3022 м попадают на границу полей составов хромита и герцинита, некоторые анализы

из образца Западно-Чистинная 501/3428 м ложатся на границу полей составов хромита и магнетита. В проанализированных хромовых шпинелях



**Рис. 2.** Положение точек составов хромовой шпинели из пермотриасовых базальтов Западной Сибири на диаграммах с полями составов для шпинели.

а–в – из вулканитов разных геодинамических обстановок [Barnes, 2000; Barnes, Roeder, 2001]; г – из вулканитов разных геодинамических обстановок, а также перидотитов зон COX и надсубдукционных перидотитов [Kamenetsky et al., 2001].

1 – скв. Западно-Чистинная 501, 3428 м; 2 – скв. Западно-Чистинная 501, 3438 м; 3 – скв. Котыгъеганская 28, 3022 м; 4 – скв. Сыморьяхская 10640, 2045 м; 5 – обр. Багаряк-015.

отмечена примесь V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.14–1.5%. В двух анализах в образце Западно-Чистинная 501/3438 м (ан. 55.56) наблюдается значительная примесь ZnO (до 9.8–13.4%) и TiO<sub>2</sub> (15.0–18.0%), что в целом достаточно нехарактерно для хромовой шпинели из базальтов.

На диаграммах показаны результаты сопоставления полученных результатов с данными о составе хромовых шпинелей из базальтов разных геодинамических обстановок (рис. 2). На трехкомпонентной диаграмме Al–Cr–Fe<sup>3+</sup> (см. рис. 2в) и диаграммах Cr/(Cr + Al)–Fe<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup> + Mg) (см. рис. 2а) и Fe<sup>3+</sup>/(Fe<sup>3+</sup> + Cr + Al)–Fe<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup> + Mg) (см. рис. 2б) [Barnes, 2000; Barnes, Roeder, 2001] поля составов хромовой шпинели из базальтов океанических островов и континентальных трапповых провинций частично перекрываются полями составов базальтов COX и островных дуг, однако в целом отли-

динамических обстановок (рис. 2). На трехкомпонентной диаграмме Al–Cr–Fe<sup>3+</sup> (см. рис. 2в) и диаграммах Cr/(Cr + Al)–Fe<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup> + Mg) (см. рис. 2а) и Fe<sup>3+</sup>/(Fe<sup>3+</sup> + Cr + Al)–Fe<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup> + Mg) (см. рис. 2б) [Barnes, 2000; Barnes, Roeder, 2001] поля составов хромовой шпинели из базальтов океанических островов и континентальных трапповых провинций частично перекрываются полями составов базальтов COX и островных дуг, однако в целом отли-



чаются от них явно выраженным трендом увеличения содержания в минерале двух- и трехвалентного железа. Интерпретацию данных немного затрудняет то, что подобный тренд на “ожелезнение” характерен и для метаморфически преобразованных хромовых шпинелей [Barnes, Roeder, 2001]. Стоит отметить, что в выборку анализов хромшпинелей из базальтов трапповых провинций авторами включены и данные по Сибирской трапповой провинции из классических разрезов вблизи Норильска [Barnes, 2000].

Изученные нами хромовые шпинели на всех трех диаграммах попадают как в область перекрытия всех четырех показанных полей составов (например, на трехкомпонентной диаграмме, см. рис. 2г), так и в области, характерные только для шпинелей из базальтов трапповых провинций (см. рис. 2а–в). Последнее достаточно наглядно видно на диаграмме  $Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Cr + Al) - Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$  (см. рис. 2б), где фигуративные точки анализов образуют единый линейный тренд, близкий к области составов хромшпинелей из базальтов трапповых провинций, но при этом слегка отклоняющийся в сторону повышенного содержания  $Fe^{2+}$ . Последнее может быть связано с зеленокаменным изменением вмещающих пород.

На диаграмме  $TiO_2 - Al_2O_3$  (см. рис. 2г) [с полями составов по: Kamenetsky et al., 2001] хромовые шпинели из образцов Западно-Чистинная 501/3428 м, Западно-Чистинная 501/3438 м и СЫ110640/2045 тяготеют к полю составов базальтов трапповых провинций и частично попадают в поле базальтов океанических островов. Хромовые шпинели из проб Котыгъеганская 28/3022 и Багаряк-015 на данной диаграмме попадают в поля составов базальтов зон СОХ и задугового спрединга, частично перекрывающиеся полем островодужных базальтов.

Таким образом, мы получили первые данные о составе хромовой шпинели из пермотриасовых базальтов фундамента Западной Сибири и Восточной зоны Среднего Урала. При сопоставлении с имеющейся информацией о составах хромовой шпинели из базальтов разных геодинамических обстановок показано, что составы изученных хромшпинелей попадают в поля составов базальтов трапповых провинций и океанических островов, а также частично в поля составов океанических и островодужных базальтов. Эти сведения согласуются с данными о геохимической близости пермотриасовых базальтов Урала и Сибири не только к базальтам трапповых провинций, но и к островодужным вулканикам, что впервые отметил К.П. Иванов, а позднее и многие другие авторы [Берзин и др., 2016а, б; Иванов К.П., 1974; Иванов К.П. и др., 2006, 2007; Иванов К.С. и др., 2002; и др.]. Этот факт вполне можно объяснить контаминацией внедрявшейся базальтовой магмой палеозойских островодужных комплексов, широко распространенных в доюрском фунда-

менте Западной Сибири. В целом очевидно, что изучение типохимических особенностей хромовых шпинелей в базальтах дает не всегда однозначные результаты для последующих геодинамических реконструкций. Однако такие исследования могут быть валидными в совокупности с другими геохимическими и изотопно-геохимическими данными.

Авторы благодарны А.В. Михеевой за осуществление микронзондовых анализов.

*Исследования проведены при поддержке Российского научного фонда, проект № 16-17-10201.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Батурина Т.П., Сараев С.В., Травин А.В. Каменноугольные и пермотриасовые вулканиды в зоне сочленения Урала и Западной Сибири // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 5. С. 504–516.
- Берзин С.В., Иванов К.С., Зайцева М.В. Пермьотриасовые базальты фундамента Западно-Сибирского бассейна, вскрытые сверхглубокой скважиной Ен-Яхинская СГ-7 // Литосфера. 2016а. № 6. С. 117–128.
- Берзин С.В., Иванов К.С., Бочкарев В.С., Зайцева М.В. Изотопия (Pb, He, Sr, Nd), минералогия и геохимия пермотриасовых базальтов Западно-Сибирского мегабассейна, вскрытых сверхглубокой скважиной Ен-Яхинская СГ-7 // Горные ведомости. 2016б. № 3–4 (142–143). С. 28–43.
- Добрецов Н.Л. Пермьотриасовый магматизм и осадконакопление в Евразии как отражение суперплума // Докл. АН. 1997. Т. 354, № 2. С. 220–223.
- Добрецов Н.Л., Владимиров А.Г., Крук Н.Н. Пермьотриасовый магматизм Алтае-Саянской складчатой области как отражение Сибирского суперплума // Докл. АН. 2005. Т. 400, № 4. С. 505–509.
- Иванов К.П. Триасовая трапповая формация Урала. М.: Наука, 1974. 154 с.
- Иванов К.П., Иванов К.С., Федоров Ю.Н. Геохимия триасовых вулканидов Западно-Сибирской плиты (на примере туринской серии) // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 766–790.
- Иванов К.П., Иванов К.С., Коротеев В.А., Лепихина О.П., Ронкин Ю.Л. Распределение микроэлементов в породах дифференцированной серии (на примере Тюменского силла) // Литосфера. 2006. № 4. С. 57–67.
- Иванов К.С., Ерохин Ю.В. Палеогеодинамика формирования системы триасовых грабенов Западной Сибири // Докл. АН. 2014. Т. 458, № 4. С. 442–445.
- Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Смирнов В.Н., Слободчиков Е.А. Рифтогенез на Среднем Урале (комплексы и структуры растяжения в истории развития Среднего Урала). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. 91 с.
- Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Ерохин Ю.В., Пономарев В.С. Геологическое строение фундамента Приуральской части Западно-Сибирского нефтегазозного мегабассейна. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016а. 302 с.
- Иванов К.С., Писецкий В.Б., Ерохин Ю.В., Хиллер В.В., Погромская О.Э. Геодинамическое строение и флюи-

- динамика фундамента Западной Сибири (на востоке ХМАО). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016б. 242 с.
- Иванов К.С., Федоров Ю.Н., Коротеев В.А., Печеркин М.Ф., Кормильцев В.В., Погромская О.Э., Ронкин Ю.Л., Ерохин Ю.В.* Структура и природа области сочленения Урала и Западной Сибири // Докл. АН. 2003. Т. 393, № 5. С. 647–651.
- Медведев А.Я., Альмухамедов А.И., Кирда Н.П.* Геохимия пермотриасовых вулканитов Западной Сибири // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 1–2. С. 86–100.
- Пономарев В.С., Ерохин Ю.В., Иванов К.С.* Вещественный состав базальтов из доюрского основания Западной Сибири (Западно-Таркосалинская площадь, ЯНАО) // Вестн. Урал. отд. Рос. минералогического о-ва. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016. С. 95–104.
- Сараев С.В., Батурина Т.П., Пономарчук В.А., Травин А.В.* Пермотриасовые вулканиты Колтогорско-Уренгойского рифта Западно-Сибирской геосинеклизы // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 1. С. 4–20.
- Сурков В.С., Жеро О.Г., Смирнов Л.В.* Раннемезозойский рифтогенез и его влияние на структуру литосферы Западно-Сибирской плиты // Геология и геофизика. 1987. № 9. С. 3–11.
- Barnes S.J.* Spinel and Mg ilmenites from the Noril'sk 1 and Talnakh intrusions and other mafic rocks of the Siberian flood basalt province // *Economic Geology*. 2000. V. 95. P. 1701–1717.
- Barnes S.J., Roeder P.L.* The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // *J. Petrology*. 2001. V. 42. P. 2279–2302.
- Ivanov A.V.* Evaluation of different models for the origin of the Siberian traps // *Geol. Soc. Amer.* 2007. Spec. Paper 430. P. 669–691.
- Ivanov K.S., Erokhin Yu.V., Ponomarev V.S., Pogromskaya O.E., Berzin S.V.* Geological Structure of the Basement of Western and Eastern Parts of the West-Siberian Plain // *Int. J. Environmental Sci. Ed.* 2016. V. 11, no. 4. P. 6409–6432.
- Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S.* Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks // *J. Petrology*. 2001. V. 42. P. 655–671.
- Roeder P.L.* Chromite: from the fiery rain of chondrules to the Kilauea Iki lava lake // *Canad. Mineral.* 1994. V. 32. P. 729–746.
- Roeder P.L., Poustovetov A., Oskarsson N.* Growth forms and composition of chromian spinel in MORB magma: diffusion-controlled crystallization of chromian spinel // *Canad. Mineral.* 2001. V. 39. P. 397–416.