



DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-1-119-126

УДК 553.461

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗА МОРФОЛОГИИ И ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ХРОМИТОВЫХ ТЕЛ

В.Е. Марков¹, Н.П. Васильев¹, К.В. Карепина², Е.В. Карелина¹

¹ Российский университет дружбы народов

Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

² Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных
и благородных металлов

Российская Федерация, 117587, Москва, Варшавское шоссе, 129/1

Дефицит хромитового сырья в России в настоящее время послужил толчком к использованию методов, ранее не использовавшихся при поисках и прогнозировании рудных тел. Хромитовые месторождения Урала характеризуются очень сложным строением. Для прогноза склонения рудных тел можно использовать наблюдающуюся связь между структурными элементами гипербазитов и преимущественной ориентировкой осей оптической индикатрисы оливина. В подавляющем большинстве случаев оси N_g индикатрисы статистически параллельны линейности хромшпинелида. Важным структурным элементом является линейность, которая представляет собой субпараллельные цепочки изометричных зерен хромшпинели или удлинённые зерна хромшпинели, ориентированные в одном направлении. Результаты проведенных работ по микроструктурному анализу вмещающих пород и измерению преимущественной ориентировки осей оптической индикатрисы оливина на Южнопогурейском рудопроявлении позволили авторам спрогнозировать склонение хромитовых рудных тел. Получены данные, помогающие предполагать склонение рудных тел, где есть дуниты, но не видна их полосчатость. Информация о пространственном положении и морфологии рудных тел крайне важна на этапе поисков слабоизученных рудопроявлений, и позволяет с максимальной достоверностью сделать вывод о целесообразности дальнейшего проведения геолого-разведочных работ, а также оптимально планировать разведочные работы.

Ключевые слова: хромиты, линейность хромшпинелида, оптическая индикатриса оливина, склонение рудных тел

В настоящее время на внутреннем рынке России сложилась острая ситуация, связанная с нехваткой хромосодержащего сырья. Дефицит в стране хромитовых месторождений обусловлен тем, что большинство из них осталось на территории республик бывших СССР. Те, которые остались на нашей территории имеют очень сложное строение, зачастую традиционные методы поисков хромитовых тел (геофизические, геохимические) малоинформативны.

Вместе с тем, выполняющиеся на хромитовых месторождениях исследования по изучению полосчатости, линейности и других структурных элементов позволяют сделать вывод о возможности применения этих данных для прогнозирования пространственного положения и морфологии рудных тел. На большинстве

известных месторождений отмечается, что оруденение образует линейно вытянутые зоны, приуроченные к осевым частям складок полосчатости; простираание рудных тел совпадает с простираанием уплощенности пироксена, а склонение рудных тел параллельно линейности аксессуарных хромшпинелидов во вмещающих породах [1]. Это позволяет прогнозировать пространственное положение и отчасти морфологию рудных тел и помогает оптимально планировать разведочные работы.

В тех случаях, когда не удается макроскопически обнаружить внутреннюю структуру вмещающих пород в обнажениях, можно использовать часто наблюдающуюся связь между структурными элементами гипербазитов и преимущественной ориентировкой осей оптической индикатрисы оливина. В подавляющем большинстве случаев оси Ng индикатрисы статистически параллельны линейности хромшпинелида, а максимум осей Nr располагается нормально к уплощенности энстатита.

Эту закономерность подтверждают сделанные авторами замеры оптической индикатрисы оливина из образцов, отобранных вкрест простираания рудной зоны (ВИМС, 2010—2013 гг.) в районе рудопроявления Южнопогурейское на П.Урале.

В общем плане геолого-тектоническая позиция Южнопогурейского хромитового рудопроявления определяется приуроченностью к западной границе Погурейского блока, расположенного в центральной части Войкаро-Сынинского ультраосновного массива. В разрезе блок представляет собой сложно построенную пластину мощностью 4—6 км, крутопадающую на юго-восток под углами 50—70°, сложенную чередованием гарцбургитов с различным содержанием линейных жилородных и неправильной формы дунитовых выделений мощностью от интервалов 30—40 см до 1,5—2,0 м, ориентированных в субмеридиональном направлении. Также пластина содержит вытянутые дунитовые тела длиной 250—300 м и шириной до пределов 25—180 м.

Из 100 образцов, отобранных по 3 профилям вкрест простираания рудной зоны, были выполнены ориентированные шлифы, по которым на федоровском столике производились измерения индикатрисы оливина. Исследования позволили сделать следующие выводы.

Практически важным структурным элементом является линейность, которая представляет собой субпараллельные цепочки изометричных зерен хромшпинели или удлинённые зерна хромшпинели, ориентированные в одном направлении (рис. 1, а). В 26 шлифах, где была видна линейная ориентировка аксессуарного хромшпинелида, след линейности параллелен простираанию осей Ng оптической индикатрисы оливина (рис. 1, а, б).

Истинное положение линейности, не может отклоняться от плоскости шлифа на большой угол (>15—20°), иначе ее не будет видно. Особенно это относится к агрегатной линейности. Поэтому можно считать, что, по меньшей мере, в этих шлифах, максимум осей Ng оливина совпадает с линейностью аксессуарного хромшпинелида.

В большинстве шлифов наблюдается хорошо выраженная преимущественная ориентировка осей оптической индикатрисы оливина (рис. 2). Оси Ng погружаются на В-СВ под углом ~30°, оси Nr на С-СВ под углом ~35° и оси Nm погружаются на ЮЗ под углом ~45°.

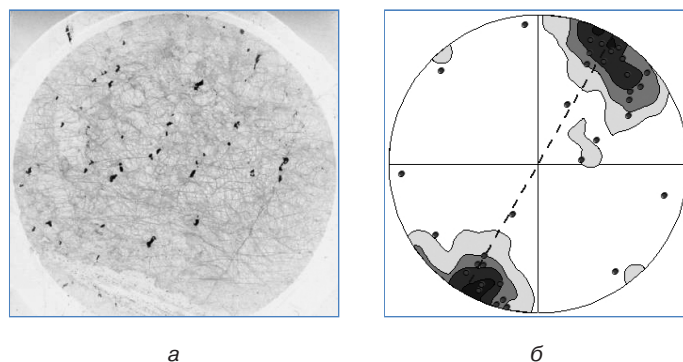


Рис. 1. Результаты исследования: а — агрегатная линейность хромшпинелида (черное) в шлифе (без анализатора); б — ориентировка осей Ng оптической индикатрисы оливина в проекции на плоскость шлифа

[[Fig. 1. a — aggregate linearity of chromspinelide (black) in thin section (without analyzer); б — orientation of the Ng axes of optical indicatrix of olivine projected on the plane of the section]]

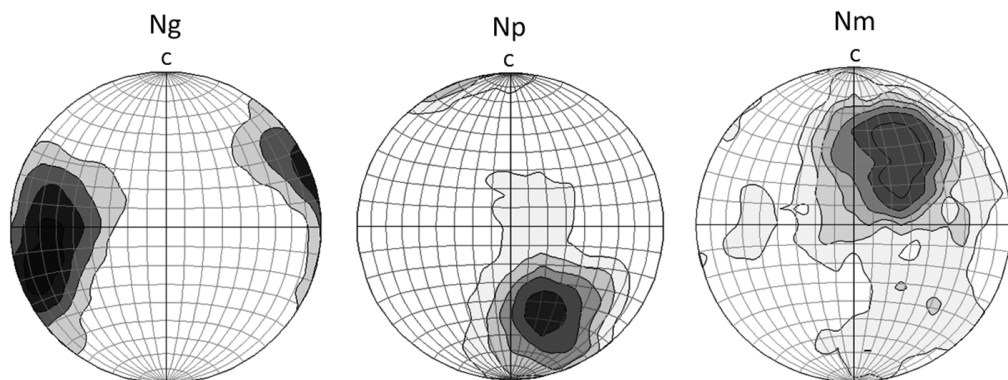


Рис. 2. Генеральная ориентировка осей оптической индикатрисы оливина в пределах детально изученного участка

[[Fig. 2. General orientation of the axes of optical indicatrix of olivine within investigated area]]

Эта ориентировка или ее элементы характерны для большинства образцов (рис. 3).

Выявленную на участке работ преимущественную ориентировку осей оптической индикатрисы оливина можно объяснить результатом совместного проявления двух процессов: высокотемпературного пластического течения вещества посредством внутризернового трансляционного скольжения по системе плоскостей кристаллической решетки оливина $\{0kl\}$ в направлении кристаллографической оси $[100]$ и синтетонической перекристаллизацией.

Согласно экспериментальным исследованиям [3], система скольжения $\{0kl\}[100]$ в оливине активна в диапазоне температур $800\text{--}1300\text{ }^\circ\text{C}$ при всестороннем давлении $5\text{--}20\text{ кб}$ и низких скоростях деформации $10^{-4}\text{--}10^{-6}\text{ сек}^{-1}$. Теоретически, при деформации трансляционным скольжением по системе $\{0kl\}[100]$, оси Ng оливина стремятся занять положение вдоль направления твердопластического течения, а оси Nm и Np — образовать веер перпендикулярный к оси Ng. На микроструктурной диаграмме это выражается точечным максимумом Ng и нор-

мальным к нему поясом осей Nm-Np. При повышении температуры или уменьшении скорости деформации, преобладающей становится плоскость скольжения (010), а на микроструктурной диаграмме пояс Nm-Np сменяется точечными максимумами Nm и Np [4]. Именно эти 2 типа преимущественной ориентировки преобладают на Южнопогурейском участке. Наиболее совершенная ориентировка (четкие максимумы с высокой концентрацией, узкие, неразмазанные пояса) характерны для относительно крупнозернистых пород с преобладанием одинаковых по размеру зерен. В неравномернозернистых породах, содержащих наряду с крупными зернами оливина значительное (до 60%) количество мелких зерен, степень совершенства преимущественной ориентировки ухудшается. Участие внутризернового трансляционного скольжения по системе $\{0kl\}[100]$ в создании преимущественной ориентировки осей оптической индикатрисы оливина проявляется не только характерным узором на микроструктурной диаграмме, но и образованием полос излома (kink-bands).

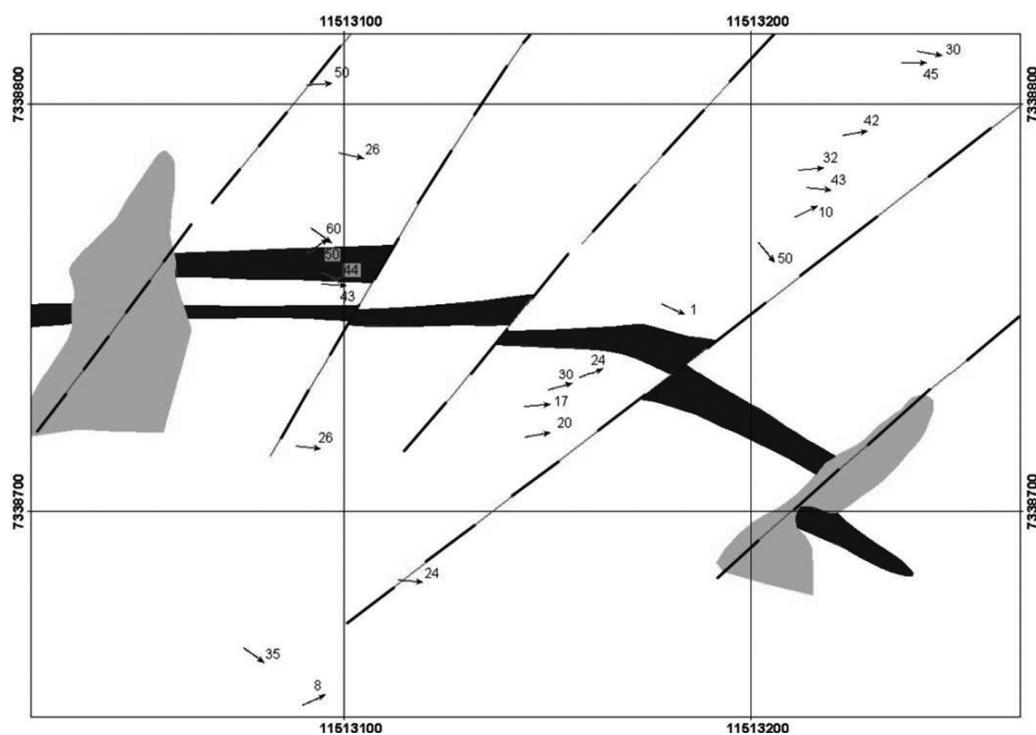


Рис. 3. Карта ориентировки линейности акцессорного хромшпинелида (определена по положению максимума осей Ng оливина; стрелки указывают направление погружения). Черное — хромитовые рудные тела; серое — аллювиальные отложения; пунктирная линия — разломы. Стрелками показаны направление погружения линейности хромшпинелида (цифра — угол погружения)

[Fig. 3. Map of linearity orientation of accessory chromspinelide (determined by the position of the maximum of Ng axes of olivine; arrows indicate direction of dip). Black — chromite ore bodies; grey — alluvial sediments; dotted line — faults. Arrows — the direction of dip of the linearity of chromspinelide (number — angle of dip)]

При синтетектонической перекристаллизации преимущественная ориентировка осей индикатрисы оливина контролируется полем напряжений, возникающем в породе под действием стресса. Оси Ng стремятся занять положение вдоль на-

правления растяжения, а оси N_r — нормально к направлению сжатия. Узор микро-структурных диаграмм зависит от соотношения величин напряжений по главным осям, изменяясь от 3-х точечных максимумов ($N_g \parallel$ линейности, $N_r \perp$ уплощенности) до неполных поясов, содержащих хорошо выраженные максимумы [3].

Несмотря на различие ориентирующих механизмов, почти всегда максимум осей N_g оптической индикатрисы оливина располагается по направлению пластического течения, параллелен линейности хромшпинелида и, при устойчивой ориентировке, может использоваться для прогноза склонения рудных тел. Оси N_r в подавляющем большинстве случаев располагаются перпендикулярно плоскости течения (по направлению сжатия) и могут использоваться для выявления скрытых плоскостных структур. Однако прямой связи между ориентировкой плоскостных структур и пространственным положением рудных тел не установлено.

По результатам микроструктурного анализа вмещающих пород и измерения преимущественной ориентировки осей оптической индикатрисы оливина на Южнопогурейском рудопроявлении авторами было спрогнозировано склонение рудных тел (рис. 4). Согласно нашим исследованиям, рудные тела склоняются на восток, юго-восток под углом $55\text{--}60^\circ$ на западной стороне и под более пологим углом $15\text{--}20^\circ$ на восточной стороне (рис. 4, 5).

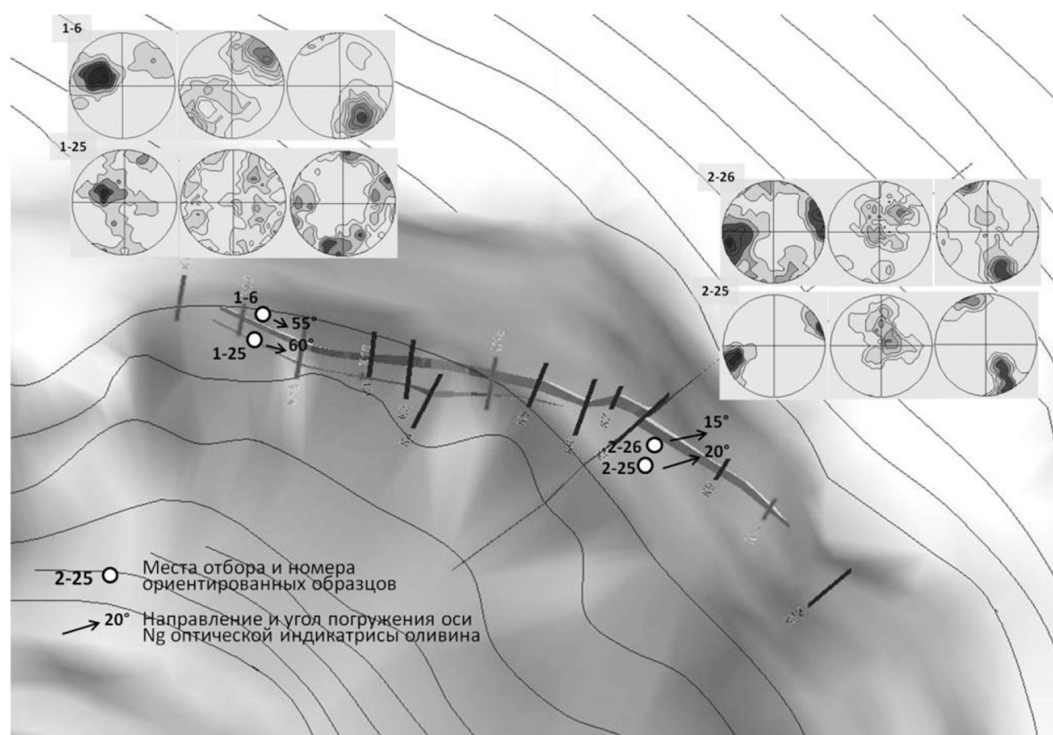


Рис. 4. Результаты микроструктурного анализа вмещающих пород Южнопогурейского хромитового рудопроявления. Диаграммы преимущественной ориентировки осей оптической индикатрисы оливина (проекция на верхнюю полусферу). На рисунке — вскрытые канавами рудные тела.

[**Fig. 4.** Results of microstructural analysis of chromite ore enclosing rocks of Yujnopogureyskoe chromite deposit. Charts of the preferential orientation of axes of the optical indicatrix of olivine (projection on the upper hemisphere). On the figure — geological plan of ore bodies exploited by trenches]

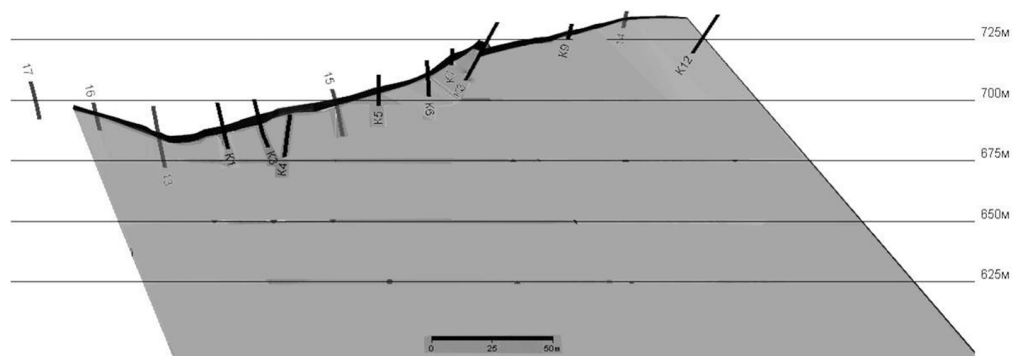


Рис. 5. Склонение рудных тел Южнопогурейского рудопоявления в проекции на вертикальную плоскость, установленное по результатам микроструктурного анализа
[**Fig. 5.** Dip of ore bodies of Yujinopogureyskoe deposit in projection to the vertical plane based on the results of microstructural analysis]

Эти данные помогают предполагать склонение рудных тел, где есть дуниты, но не видна их полосчатость. Информация о пространственном положении и морфологии рудных тел крайне важна на этапе поисков слабоизученных рудопоявлений и позволяет с максимальной достоверностью сделать вывод о целесообразности дальнейшего проведения геолого-разведочных работ, а также оптимально планировать разведочные работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Марков В.Е., Карелина Е.В., Эмси Гаррелл Денбре Шемрой. Структурная позиция хромитового оруденения на месторождении Центральное (Полярный Урал) // *Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования.* 2016. № 3. С. 41—52.
- [2] Савельев Д.Е. Соотношение структур рудоносной дунит-хромититовой ассоциации и перидотитов в офиолитах (на примере массивов Крака) // *Литосфера.* 2013. № 2. С. 76—91.
- [3] Щербаков С.А. Пластические деформации ультрабазитов офиолитовой ассоциации Урала. М.: Наука, 1990. 119 с.
- [4] Nicolas A., Poirier J.P. Crystalline plasticity and solid state flow in metamorphic rocks // New York: Wiley-Interscience, 1976. 444 p.

©Марков В.Е., Васильев Н.П., Карепина К.В., Карелина Е.В., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 01 декабря 2017

Дата принятия к публикации: 12 января 2018

Для цитирования:

Марков В.Е., Васильев Н.П., Карепина К.В., Карелина Е.В. Использование микроструктурного анализа для прогноза морфологии и пространственного расположения хромитовых тел // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования.* 2018. Т. 19. № 1. С. 119—126. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-1-119-126

Сведения об авторах:

Марков Владимир Евгеньевич — старший преподаватель департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов.

Область научных интересов: математическое моделирование геологических задач, инновационные методы дистанционного зондирования Земли, компьютерные технологии, геоинформационные технологии, структурные критерии локализации хромитовых месторождений. *Контактная информация:* e-mail: vemarkov@yandex.ru

Васильев Николай Петрович — студент-выпускник специалитета департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* литогеохимические поиски МПИ, математическое моделирование геологических задач, структурные критерии локализации хромитовых месторождений. *Контактная информация:* e-mail: rukolya@gmail.com

Карепина Ксения Васильевна — научный сотрудник Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов. *Область научных интересов:* геоинформационные технологии в геологии, поиски цветных и благородных металлов, микроструктурный анализ. *Контактная информация:* e-mail: ksusha55-89@mail.ru

Карелина Елена Викторовна — доцент департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* поиски и разведка месторождений полезных ископаемых, математическое моделирование геологических задач, месторождения благородных, черных и цветных металлов. *Контактная информация:* e-mail: elkarelina@mail.ru

MICROSTRUCTURAL ANALYSIS FOR PREDICTING THE MORPHOLOGY AND SPATIAL ARRANGEMENT OF CHROMITE BODIES

V.E. Markov¹, N.P. Vasiliev¹, K.V. Karepina², E.V. Karelina¹

¹ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russian Federation

² Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals
129, Varshavskoe sh., Bld. 1, Moscow, 117545, Russian Federation

Shortage of chromite raw materials in Russia at present time encouraged the use of methods, which have not been previously used in exploration and prediction of ore bodies. Chromite deposits of the Urals are characterized by a very complex structure. For prediction of the declination of ore bodies it is possible to use the observed relationship between the structural elements of ultrabasites and the preferential orientation of the axes of the optical indicatrix of olivine. In the majority of cases the Ng-axis of the indicatrix are parallel statistically to the linearity of chromespinelide. An important structural element is the linearity, which is presented by subparallel chains of isometric grains of chromespinelide or elongated grains of chromespinelide oriented in the same direction. The results of microstructural analysis of the enclosing rocks and measurements of the preferential orientation axes of the optical indicatrix of olivine on Yujnopogureyskoe deposit has allowed to predict the decline of the ore bodies. Information about the spatial position and morphology of the ore bodies allows effective planning of the exploration work.

Key words: chromite, chromespinelide linearity, optical indicatrix of olivine, decline of ore bodies

REFERENCES

- [1] Markov V.E., Karelina E.V., McGarrell Denbre Shemroy. Structural position of chromite mineralization at the deposit Central (Polar Urals). *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2016. No. 3. P. 41—52 (in Russ.).
- [2] Saveliev D.E. The relationship between ore-bearing dunite association and peridotites in ophiolites (on an example of Kraka massifs, Southern Ural). *Lithosphere*. 2013. No. 2. P. 76—91. (in Russ.).
- [3] Scherbakov S.A. *Plasticheskie deformacii ul'trabazitov ofiolitovoj associacii Urala* [Plastic deformations of ultrabasites of the Urals ophiolitic assemblage]. Moscow: Science publ., 1990. 119 p. (in Russ.).
- [4] Nicolas A., Poirier J.P. *Crystalline plasticity and solid state flow in metamorphic rocks* // New York: Wiley-Interscience, 1976. 444 p.

Article history:

Received: December 01, 2017

Accepted: January 12, 2018

For citation:

Markov V.E., Vasiliev N.P., Karepina K.V., Karelina E.V. (2018). Microstructural analysis for predicting the morphology and spatial arrangement of chromite bodies. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(1), 119—126. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-1-119-126

Bio Note:

Vladimir E. Markov — senior lecturer at Department of Geology, Mining and Oil&Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Scientific interests*: mathematical modeling of geological problems, innovative methods of remote sensing, computer technology, GIS technology, structural criteria for the localization of chromite deposits. *Contact information*: e-mail: vemarkov@yandex.ru

Nikolay P. Vasilyev — specialist graduate of the Department of Geology, Mining and Oil&Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Scientific interests*: lithogeochemical exploration of mineral deposits, mathematical modeling of geological problems, structural criteria for the localization of chromite deposits. *Contact information*: e-mail: rukolya@gmail.com

Ksenia V. Karepina — scientific researcher of the Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals. *Scientific interests*: geo-information technologies in geology, prospecting for base and precious metals, microstructural analysis. *Contact information*: e-mail: ksusha55-89@mail.ru

Elena V. Karelina — assistant professor at the Department of Geology, Mining and Oil&Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Scientific interests*: prospecting and exploration of mineral deposits, mathematical modeling of geological problems, deposits of precious, ferrous and non-ferrous metals. *Contact information*: e-mail: elkarelina@mail.ru