



DOI: 10.22363/2312-8143-2021-22-2-234-240

УДК 550.84.09

Научная статья / Research article

## Построение карты геохимических аномалий по предсказанному значению золота на Лидинском рудном поле острова Уруп

Ю.М. Панасенко, В.Е. Марков, Е.В. Карелина

Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

E-mail: karelina\_ev@pfur.ru

### История статьи

Поступила в редакцию: 14 января 2021 г.

Доработана: 23 марта 2021 г.

Принята к публикации: 12 мая 2021 г.

**Ключевые слова:** геология, геохимические аномалии, геостатистический анализ в ArcGis, геохимические аномалии золота, золото-серебряные рудопроявления острова Уруп

**Аннотация.** Целью данной статьи является изучение способов построения карт геохимических аномалий методами геостатистики. На представленном в статье примере показана возможность вероятностного определения золота, образующего ореолы рассеяния закрытого типа по данным литогеохимического опробования Лидинской площади (о. Уруп, Курильские острова). На участке Коленчатом Лидинского рудного поля известно золотое рудопроявление Коленчатое. Оно приурочено к врезу реки и за пределами его пропадает. Это связано с мощным перекрытием участка четвертичными отложениями. Вкупе с неравномерным распределением золота данные обстоятельства осложняют построение карт геохимических аномалий и выделение перспективных участков. Для решения поставленной задачи была использована программа Statistica. С ее помощью была построена матрица корреляций, определены элементы спутники золота и составлено уравнение множественной регрессии для золота. Данное уравнение было использовано для вероятностного расчета значений золота в каждой точке опробования. В программе ArcGis в модуле Geostatistical Analyst была построена карта геохимических аномалий по предсказанному значению золота методом кригинга, выделены перспективные участки. Выявленные аномалии вытянуты в северо-западном направлении и пространственно приурочены к основной системе разломов.

### Для цитирования

Панасенко Ю.М., Марков В.Е., Карелина Е.В. Построение карты геохимических аномалий по предсказанному значению золота на Лидинском рудном поле острова Уруп // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2021. Т. 22. № 2. С. 234–240. doi: 10.22363/2312-8143-2021-22-2-234-240

© Панасенко Ю.М., Марков В.Е., Карелина Е.В., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Construction a map of geochemical anomalies for the predicted value of gold in the Lidin ore field of Urup Island

Yuri M. Panasenko, Vladimir E. Markov, Elena V. Karelina ✉

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation  
✉ E-mail: karelina\_ev@pfur.ru

### Article history

Received: January 14, 2021

Revised: March 23, 2021

Accepted: May 12, 2021

**Keywords:** geology, geochemical anomalies, geostatistical analysis in ArcGis, geochemical anomalies of gold, gold-silver ore occurrences of the island of Urup

**Abstract.** The purpose of this article is to study the methods of constructing maps of geochemical anomalies using geostatistical methods. The example presented in the article shows the possibility of probabilistic determination of gold in strongly overlapped areas (Urup Island, Kuril Islands). On the site of the Kolenchaty Lidinskoye ore field, the gold ore occurrence of the Kolenchaty is known. It is timed to the incision of the river and disappears outside of it. This is due to the strong overlap of the area by Quaternary sediments. Together with the uneven distribution of gold, these circumstances complicate the construction of maps of geochemical anomalies and the identification of promising areas. To solve this problem, the Statistica program was used. With its help, a matrix of correlations was built, elements of the satellites of gold were selected, and a multiple regression equation for gold was drawn up. This equation was used to probabilistically calculate gold values at each sampling point. In ArcGis, Geostatistical Analyst, geochemical anomalies were mapped from the predicted gold value by kriging, and promising areas were highlighted.

### For citation

Panasenko YuM, Markov VE, Karelina EV. Construction a map of geochemical anomalies for the predicted value of gold in the Lidin ore field of Urup Island. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2021;22(2):234–240. (In Russ.) doi: 10.22363/2312-8143-2021-22-2-234-240

### Введение

Остров Уруп — четвертый от Японии остров, на котором с 2015 года работает золотодобывающая компания «КурилГео» (рис. 1). Остров Уруп является частью Большекурильской структурно-фациальной зоны в строении которой принимают участие стратифицированные вулканические и вулканогенно-осадочные образования неогенового и четвертичного возраста, которые инъецированы многочисленными экстрозивными, интрузивными, субвулканическими телами и дайками различного состава. Рыхлые осадки четвертичного возраста играют резко подчиненную роль [1].

Месторождение золото-серебряной формации находится на юге острова, там же располагается и горно-обогачительный комбинат. На данный момент добыча Курильского золота ведется только на нем. Для открытия дополнительных ресурсов драгоценных металлов в середине острова, на Лидинском рудном поле (рис. 2), в 2019 году была проведена литогеохимическая съемка.



Рис. 1. Физическая карта о. Уруп, 1:200 000 (из отчета Гайнетдинова Р.Г.)

Figure 1. Physical map of i. Urup, 1: 200 000 (from the report of Gaynetdinov R.G.)

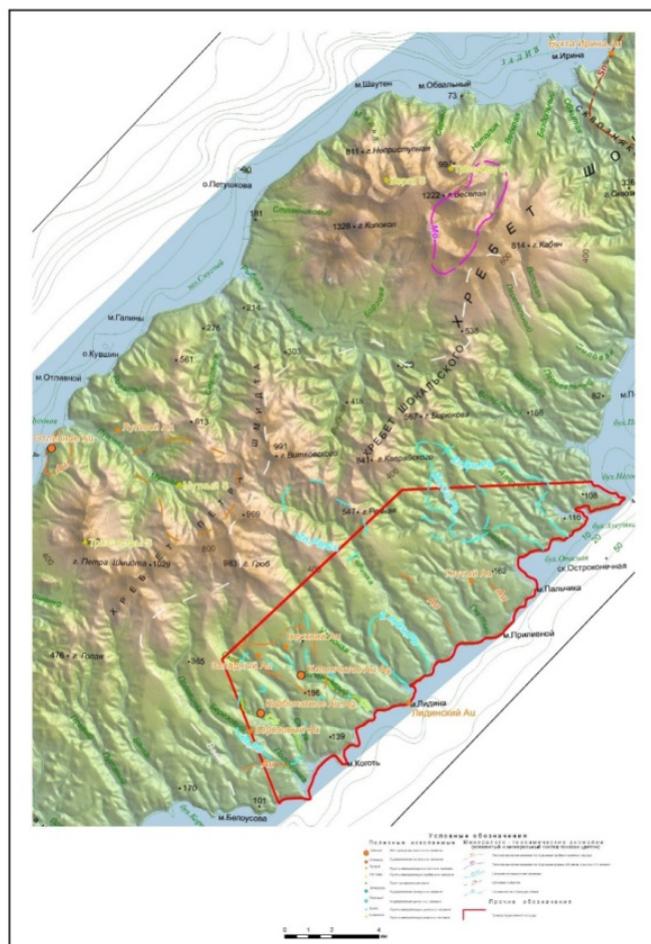


Рис. 2. Фрагмент физической карты о. Уруп (из отчета Гайнетдинова Р.Г.) красный контур – Лидинское рудное поле, 1:100 000

Figure 2. Fragment of a physical map i. Urup (from the report of Gainetdinov R.G.) red outline – Lidinskoye ore field, 1: 100 000

## 1. Ранее проведенные работы

На ранних этапах по выявленным благоприятным структурным критериям были локализованы наиболее перспективные участки. Именно на них были проведены литогеохимические работы (26 профилей с расстоянием между профилями — 200 м, между точками опробования — 50 м) с одновременной геологической съемкой. Проведенные до 2006 г. геофизические исследования носили региональный характер, охватывая всю Курильскую дугу и, в основном, прилегающую к островам акваторию. Наземные специализированные комплексные геофизические работы на рудное

золото на острове были проведены в 2004 и 2007 годах в рамках поисково-оценочных работ на южной части острова (электроразведка, магниторазведка, измерение физических свойств горных пород) [2]. По причине низких содержаний сульфидов в золотоносных породах, недостаточного знания литологического состава рудовмещающих пород и руд (отсутствие контрастной литологии и ясного литологического контроля оруденения) геофизические работы на Лидинском не проводились. Так же в 2007 году было пройдено 19 канав по всему участку. Многообещающие результаты дало Коленчатое рудопоявление и, в 2019 году, там были пройдены еще 7 канав.

## 2. Геохимические особенности Коленчатой рудоносной зоны

Коленчатая рудоносная зона приурочена к крутопадающему на север 50–70° разлому западно-северо-западного 260–300° простирания в миоцен-плиоценовых псефитовых туффитах и лавах дацитоандезитов. 2 рудных тела, вскрытых канавой, локализованы в зоне разлома с падение под углом 60°, прослежено по простиранию на 80 м. Представлены золотосодержащими вторичными кварцитами с отчетливой первичной текстурой гравелитов с тонковкрапленными сульфидами (Fe, Cu, Pb, Zn) и их шлировыми скоплениями. Рудные минералы составляют до 20 % объема породы и представлены пиритом (30 % от всех рудных минералов), халькопиритом (до 60 %), марказитом (7 %), гетитом (2 %), сфалеритом (1 %), а также единичными зернами барита. [3]

Полученные результаты анализов спектрометрии по канавам и закопушкам показали содержания золота до 6 г/т, однако при выведении значений опробования на карту они не давали объективной картины распределения и приуроченности к структурным элементам рудного поля. Ситуация осложнена наличием геохимического экрана надрудных отложений представленных зонами гидротермальных глин и маломощных безрудных кварцевых и кварц-карбонатных прожилков (рис. 3), которые препятствуют попаданию значимого количества Au в пробы [4]. Для повышения качества опробования на геохимических работах использовались ручные буры, позволяющие отбирать материал с глубины до 3м. Тем не менее резко аномальные

значения золота были обнаружены только в точках оруденения, где каньон ручья Коленчатый прорезал покрывку геохимического экрана до рудного уровня.

Как видно из рис. 3, зоны минерализации и ореолы рассеяния на рудопроявлении относятся к закрытому типу, а их поиски традиционными методами (построение мономинеральных карт и карт элементов-спутников) на данной площади оказались малоинформативными [5]. В связи с этим была предпринята попытка построения прогнозных карт с помощью статистических методов. В настоящее время имеется множество исследований по применению геостатистики в самых различных областях (от технических до народнохозяйственных), в том числе геологии, экологии, геофизики и др. [6–9].

### 3. Построение карты геохимических аномалий по предсказанным значениям золота

В отчетах предшественников указывались элементы-спутники золотого оруденения на данном участке — это серебро, висмут, сурьма, ртуть [10]. В программе Statistica с помощью функции кластерного анализа<sup>1</sup> нами были рассчитаны корреляции 36 элементов с золотом, из которых только Ag, As, Co, Hg, Sb, S имели коэффициент корреляции больше 0,5.

Дендрограмма в качестве связанного с золотом элемента предлагала Mo, но связь это была ненадежна, поэтому в итоговом списке индикаторов золота он не фигурирует. В блоке описательной статистики

были определены мода, среднее арифметическое, дисперсия, стандартное отклонение, квартильный размах этих элементов и Au. Далее был проведен анализ множественной регрессии<sup>2</sup>: значения выше геохимического фона золота, но ниже ураганных значений сравнивались с элементами индикаторами. Такая выборка позволила установить связь между аномальными значениями Au и другими элементами (рис. 5). Из полученного уравнения регрессии было выведено предсказанное значение золота в каждой точке опробования

В программе ArcGis 10.4.1<sup>3</sup> была построена карта геохимических аномалий (рис. 6) в модуле Geostatistical Analyst/мастер операций геостатистики методом кригинга<sup>4</sup> по предсказанным значениям<sup>5</sup> [11]. При наложении на геологическую карту данного участка прослеживается линейная вытянутость полученных аномалий, их приуроченность к линии разломов и жилам вторичных (вагги) кварцитов, с которыми связано оруденение на острове.

Выявленные аномалии вытянуты в северо-западном направлении и имеют длину от 1 км до 2,85 км, ширина варьируется от 280 м до 770 м. Можно предположить пространственную связь с кольцевыми структурами, так как именно с ними связано золото-серебряное оруденение на юге острова, но точно ее установить на данный момент не представляется возможным. Наибольшая концентрация полезного компонента находится в центре исследуемой площади, в окрестностях рудопроявления Коленчатого.

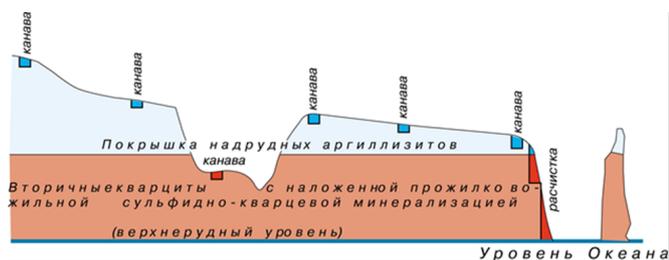


Рис. 3. Принципиальная схема строения рудных зон Лидинского золоторудного поля (Гайнетдинов Р.Г.)

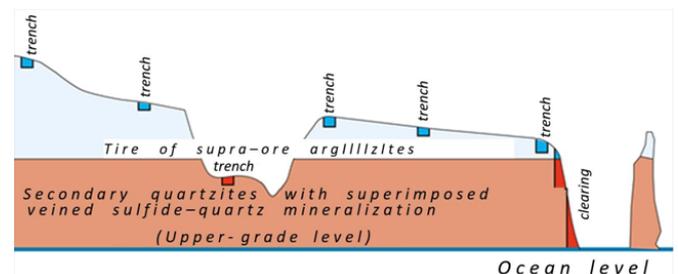


Figure 3. Schematic diagram of the structure of the ore zones of the Lidinsky gold ore field (Gaynetdinov R.G.)

<sup>1</sup> Кластерный анализ в Statistica. Ч. 2: Иерархическая кластеризация. URL: <http://sosninep.blogspot.com/2013/11/statistica-2> (дата обращения: 25.02.2021).

<sup>2</sup> Множественная регрессия в Statistica. URL: [http://statsoft.ru/products/STATISTICA\\_Base/multiple-regression.php](http://statsoft.ru/products/STATISTICA_Base/multiple-regression.php) (дата обращения: 25.02.2021).

<sup>3</sup> 13. ArcGIS10.4.1. Geostatistical Analyst. Руководство пользователя. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/guide-books/extensions/geostatistical-analyst/introduction-to-the-arcgis-geostatistical-analyst-tutorial.htm> (дата обращения: 25.02.2021).

<sup>4</sup> Построение карты аномалий методом кригинга. URL: <http://geoglobesoft.blogspot.com> (дата обращения: 25.02.2021).

<sup>5</sup> Краткий обзор geostatistical analyst. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/a-quick-tour-of-geostatistical-analyst.htm> (дата обращения: 25.02.2021).

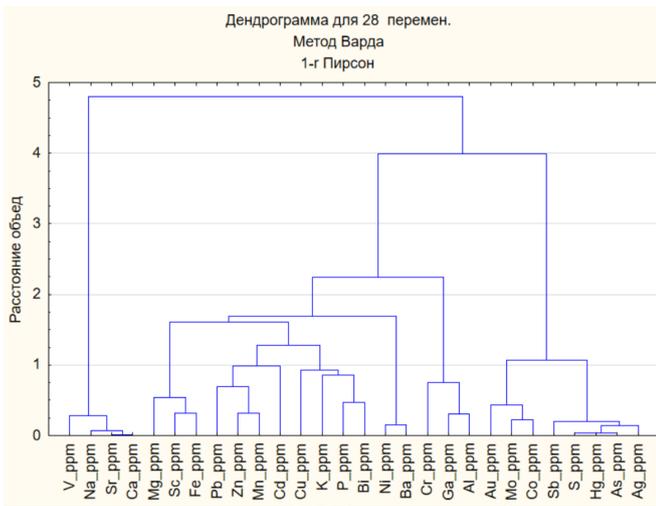


Рис. 4. Дендрограмма кластерного анализа

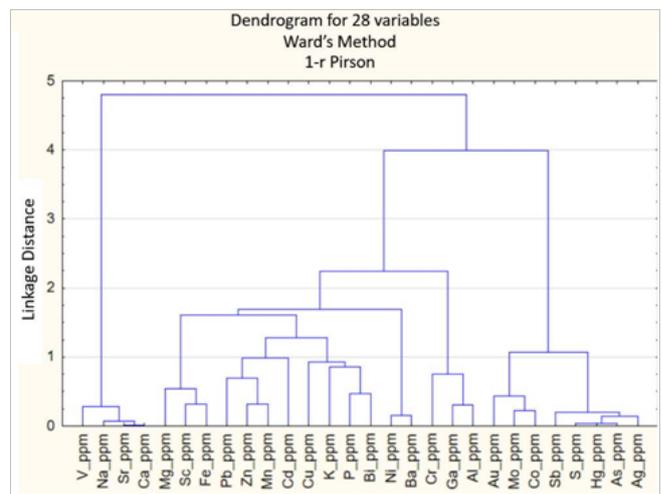


Figure 4. Cluster Analysis Dendrogram

Итоги регрессии для зависимой переменной: Au_ppm (bd_koleno в bd_ko)						
R= ,99559576 R2= ,99121092 Скоррект. R2= ,99115718						
F(7,1145)=18447, p<0,0000 Станд. ошибка оценки: ,01643						
	БЕТА	Ст.Ош. БЕТА	B	Ст.Ош. B	t(1145)	p-знач.
N=1153						
Св.член			0,029327	0,001193	24,5914	0,000000
Ag_ppm	0,835778	0,018584	0,165143	0,003672	44,9741	0,000000
As_ppm	0,142282	0,021220	0,000350	0,000052	6,7052	0,000000
Co_ppm	-0,040346	0,004006	-0,001018	0,000101	-10,0704	0,000000
Hg_ppm	0,043246	0,011570	0,015798	0,004227	3,7377	0,000195
S_ppm	-0,136840	0,005475	-0,310864	0,012439	-24,9920	0,000000
Sb_ppm	0,044974	0,008864	0,002978	0,000587	5,0740	0,000000
Mo_ppm	0,010940	0,008257	0,000203	0,000153	1,3249	0,185474

Рис. 5. Итоги множественной регрессии для зависимой переменной Au

Regression Summary for Depended Variable Au_ppm (bd_koleno)						
R= ,99559576 R2= ,99121092 Adjusted R2= ,99115718						
F(7,1145)=18447, p<0,0000 Std.Error of estimate:0,1643						
	БЕТА	Std.Err. of БЕТА	B	Std.Err. of B	t(1145)	P-level
N=1153						
Intercept			0,029327	0,001193	24,5914	0,000000
Ag_ppm	0,835778	0,018584	0,165143	0,003672	44,9741	0,000000
As_ppm	0,142282	0,021220	0,000350	0,000052	6,7052	0,000000
Co_ppm	-0,040346	0,004006	-0,001018	0,000101	-10,0704	0,000000
Hg_ppm	0,043246	0,011570	0,015798	0,004227	3,7377	0,000195
S_ppm	-0,136840	0,005475	-0,310864	0,012439	-24,9920	0,000000
Sb_ppm	0,044974	0,008864	0,002978	0,000587	5,0740	0,000000
Mo_ppm	0,010940	0,008257	0,000203	0,000153	1,3249	0,185474

Figure 5. Results of multiple regression for the dependent variable Au

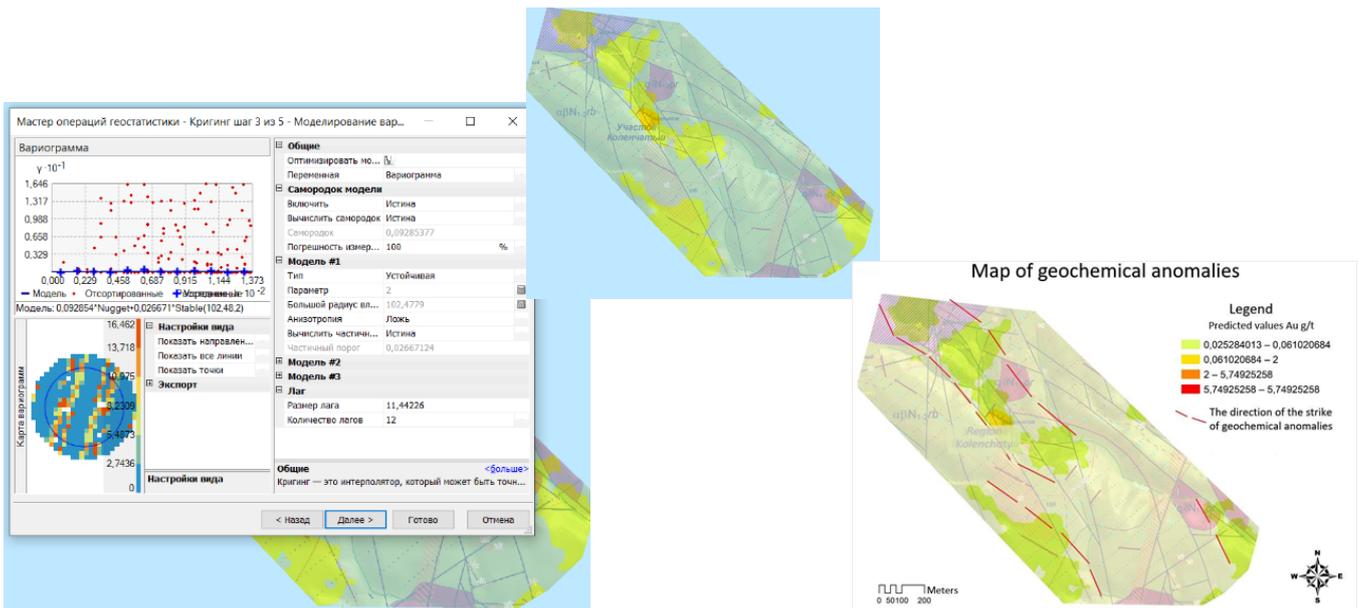


Рис. 6. Построение карты аномалий методом кригинга

Figure 6. Kriging anomaly mapping

## Заключение

Таким образом, была получена модель распределения золота на Лидинском рудном поле. Стоит отметить, что использование косвенных признаков (связь содержания элементов спутников с содержаниями золота), в данном случае, надежнее чем действительные концентрации Au в пробах, так как распределение золота крайне неравномерное. В результате исследования были выделены перспективные участки: 1-й очереди — центральная аномалия, проходящая через рудопроявление коленчатое; 2-й и 3-ей — аномалии по краям исследуемой территории. Данная модель позволит спроектировать новый этап геологоразведочных работ, включающих в себя бурение разведочных скважин, подсчет запасов и ресурсов с меньшими рисками.

## Список литературы

1. Пачин А.Г., Гайнетдинов Р.Г. Прогнозно-поисковые работы на золото в пределах острова Уруп (Курильские острова). Отчет фонда ФГУГП «СахГРЭ». Ю.-Сахалинск, 2006.
2. Рудаков С.И. Отчёт о результатах геологического изучения на золото и серебро Западно-Тетяевского участка Тетяевского рудного поля (Курильские острова, о. Уруп). Отчет фонда ФГУГП «СахГРЭ» по состоянию на 01.06.2008 г. Ю.-Сахалинск, 2008.
3. Кириллов В.Е., Горошков М.В. Золотоносность острова Уруп большекурильской гряды // Региональные проблемы. 2008. № 9. С. 50—55.
4. Калько И.А. Геохимические критерии выявления и прогнозирования золото-серебряного оруденения в чукотском сегменте Охотско-Чукотского вулканогенного пояса: дис. ... к.г.-м.н. М., 2009.
5. Трофимов Н.Н., Рычков А.И. Геохимические поиски рудных месторождений: учебник для вузов. М.: ПАИМС, 1984.
6. Долгаль А.С., Христенко Л.А. Результаты и перспективы геофизических исследований при поисках рудного золота на восточном склоне Кузнецкого Алатау // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Вып. 12. С. 57—69.
7. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика: теория и практика. Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН / под ред. Арутюняна Р.В. М.: Наука, 2010. 327 с.
8. Бараш И.Г., Буланов В.А., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Иванов А.В., Летникова Е.Ф., Миронов А.Г.,

Сизых А.И., Складов Е.В. Интерпретация геохимических данных. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.

9. Каневский М., Демьянов В., Савельева Е. и др. Элементарное введение в геостатистику. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М.: ВИНТИ, 1999. № 11. 136 с.

10. Удодов В.В. О результатах поисковых работ на золото на Тетяевском рудном поле (о.Уруп, Курильские острова) по состоянию на 01.01.2002. Промежуточный отчет. Фонды ФГУ ГП «СахГРЭ». Ю.-Сахалинск, 2002, с. 20.

11. Марков В.Е., Георгиевский А.Ф., Фролов Л.В. Применение геостатистического модуля ArcGIS для изучения геохимического поля (на примере Понпельшорского участка, Полярный Урал) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2010. № 1. С. 24—28.

## References

1. Pachin AG, Gajnetdinov R.G. *Prognozno-poiskovye raboty na zoloto v predelah ostrova Urup (Kuril'skie ostrova). Final report of FGUGP «SahGRJe» [Forecasting and prospecting for gold within the island of Urup (Kuril Islands). Report of the foundation of the FGUGP «Sahgre»]*. Y.-Sahalinsk; 2006. (In Russ.)
2. Rudakov SI. *Otchjot o rezul'tatah geologicheskogo izuchenija na zoloto i srebro Zapadno-Tetjaevskogo uchastka Tetjaevskogo rudnogo polja (Kuril'skie ostrova, o. Urup). Report of FGUGP «SahGRJe» on date 01.06.2008 [Report on the results of the geological study for gold and silver of the Zapadno-Tetyaevsky section of the Tetyaevsky ore field (Kuril Islands, Urup Island). The report of the fund of FGUGP «SAKHGRE» as of 01.06.2008]*. Y.-Sakhalinsk; 2008. (In Russ.)
3. Kirillov VE, Goroshko MV. Gold of the Urup island belonging to the bolshekurilsk arc islands. *Regional'nye problem*. 2008. (In Russ.)
4. Kalko IA. *Geohimicheskie kriterii vyjavlenija i prognozirovanija zoloto-serebrjanogo orudnenija v chukotskom segmente ohotsko-chukotskogo vulkanogenного пояса [Geochemical criteria for identifying and predicting gold-silver mineralization in the Chukchi segment of the Okhotsk-Chukchi volcanic belt: diss. for the degree of Ph. D.-M. Sc.]*. [dissertation]. Moscow; 2009. (In Russ.)
5. Trofimov NN, Rychkov AI. *Geochemical prospecting for ore deposits [Geochemical searches of ore deposits]*. Moscow: PAIMS Publ.; 1984. (In Russ.)
6. Dolgal AS, Khristenko LA. *Rezul'taty i perspektivy geofizicheskikh issledovanij pri poiskah rudnogo zolota na vostochnom sklone Kuzneckogo Alatau [Results and*

development of geophysical researches for prospecting of ore gold into the eastern flank of Kuznetsk Ala-Tau.] *Bulletin of Kamchatka regional association «Educational-scientific center». Earth sciences.* 2008;2(12):57–69. (In Russ.)

7. Demyanov VV, Savel'eva EA. *Geostatistika: teoriya i praktika. In-t problem bezopasnogo razvitiya atomnoj energetiki RAN [Geostatistics: theory and practice.* In: Arutyunyan RV. (ed.) *Institute of Problems of Safe Development of Atomic Energy of the Russian Academy of Sciences*. Moscow: Nauka Publ.; 2010. (In Russ.)

8. Barash IG, Bulanov VA, Gladkohub DP, Donskaya TV, Ivanov AV, Letnikova EF, Mironov AG, Sizykh AI, Sklyarov EV. *Interpretaciya geohimicheskikh dannyh [Interpretation of geochemical data]*. Moscow: Intermet Engineering Publ., 2001. (In Russ.)

9. Kanevsky M, Demyanov V, Savel'eva E, et al. *Elementarnoe vvedenie v geostatistiku. Problemy okruzhayushchej*

*sredy i prirodnyh resursov [Elementary introduction to geostatistics Problems of the environment and natural resources]* (vol. 11). Moscow: VINITI Publ.; 1999. (In Russ.)

10. Udodov VV. *About the results of prospecting for gold at the Tetyaevsky ore field (Urup Island, Kuril Islands) as of 01.01.2002. Interim report. Funds of the FSU SE «SAKHGRE».* [O rezul'tatah poiskovyh rabot na zoloto na Tetjaevskom rudnom pole (o.Urup, Kuril'skie ostrova) on date 01.01.2002. Final report of FGUGP «SahGRJe»]. Y.-Sahalinsk; 2002. (In Russ.)

11. Markov VE, Georgievsky AF, Frolov LV. Application of the geostatistical module of ArcGIS for the study of the geochemical field (on the example of the Pohnpelshorsky site, Polar Urals). *RUDN Journal of Engineering Researches.* 2010; 1:24–28. (In Russ.)

#### Сведения об авторах

**Панасенко Юрий Михайлович**, аспирант департамента недропользования и нефтегазового дела, инженерная академия, Российский университет дружбы народов; e-mail: panasenko1997.97@mail.ru

**Марков Владимир Евгеньевич**, старший преподаватель департамента недропользования и нефтегазового дела, инженерная академия, Российский университет дружбы народов, руководитель полевых практик студентов-геологов; eLIBRARI SPIN-код: 5882-5663; e-mail: markov\_ve@pfur.ru

**Карелина Елена Викторовна**, доцент департамента недропользования и нефтегазового дела, инженерная академия, Российский университет дружбы народов, кандидат геолого-минералогических наук; Scopus Author ID: 57215413670, eLIBRARI SPIN-код: 4919-8300; e-mail: karelina\_ev@pfur.ru

#### About the authors

**Yuri M. Panasenko**, Postgraduate student of the Department of Subsoil Use and Oil and Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University); e-mail: panasenko1997.97@mail.ru

**Vladimir E. Markov**, Senior lecturer of the Department of Subsurface Use and Oil and Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University); eLIBRARI SPIN-code: 5882-5663; e-mail: markov\_ve@pfur.ru

**Elena V. Karelina**, Associate Professor of the Department of Subsoil Use and Oil and Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Candidate of Geological and Mineralogical Sciences; Scopus Author ID: 57215413670, eLIBRARI SPIN-code: 4919-8300; e-mail: karelina\_ev@pfur.ru