

Оценка воздействия горнопромышленного комплекса Мурманской области на состояние растительного покрова по данным спутниковых наблюдений

С.П. Месяц✉, С.П. Остапенко

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация
✉ mesyats@goi.kolasc.net.ru

Резюме: Введение: на фоне обострения глобального экологического кризиса особо необходима постановка исследований и широкомасштабных программ по улучшению состояния природной среды. Цель: оценка воздействия предприятий горной и горно-металлургической отраслей на состояние природной среды по изменению фотосинтезирующей активности растительного покрова с использованием данных спутниковых наблюдений. Методы исследования: дистанционное наблюдение приземных слоев атмосферы и земной поверхности, интегральная оценка аэрозольного техногенного загрязнения и реакции растительного покрова на основании спутниковых данных для прогноза импактных зон предприятий. Объект исследования: центральная часть территории Мурманской области. Результаты: определены площади импактных зон горных и горно-металлургических предприятий по данным многолетних спутниковых наблюдений территории Мурманской области. Представлены результаты оценки техногенного воздействия предприятий горной и горно-металлургической отраслей Мурманской области на растительный покров. Предложено использовать изменение фотосинтезирующей активности растительного покрова, определяемое по данным спутниковых наблюдений, в качестве интегрального показателя техногенного воздействия отрасли на природную среду.

Ключевые слова: горная отрасль, горно-металлургическая отрасль, аэрозольное техногенное воздействие, растительный покров, фотосинтезирующая активность, спутниковые данные, вегетационный индекс, охрана окружающей среды, охрана атмосферного воздуха

Благодарности: Работа выполнена в рамках проекта РФФИ и Правительства Мурманской области № 17-45-510037 р_а.

Для цитирования: Месяц С.П., Остапенко С.П. Оценка воздействия горнопромышленного комплекса Мурманской области на состояние растительного покрова по данным спутниковых наблюдений. *Горная промышленность*. 2019;(6):112–116. DOI 10.30686/1609-9192-2019-6-148-112-116.

Assessment of Impact from Mining Sector of Murmansk Region on Condition of Vegetation Cover using Satellite Observations

S.P. Mesyats ✉, S.P. Ostapenko

Mining Institute of the Kola Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation
✉ mesyats@goi.kolasc.net.ru

Abstract: Introduction: at the time when the global environment is aggravating, the need for research and wide-scale programmes to improve its condition becomes especially acute. Objective: assessment of impact from mining and metallurgical facilities on the environmental condition based on changes in photosynthesizing activity of the vegetation cover using satellite observations data. Research methodology: remote observations of the atmospheric boundary layer and the earth surface, integral estimation of the airborne technogenic pollution and reaction of the vegetation cover using satellite data in order to forecast the impact zones of the enterprises. Research subject: Central part of the Murmansk Region. Results: areas of the impact zones of mining and metallurgical facilities have been defined based on the data of multi-year satellite surveys of the Murmansk Region. The paper presents the assessment results of the technogenic impact from enterprises of the Mining and Metallurgical Sector of the Murmansk Region on the vegetation cover. It is suggested to use changes in the photosynthesizing activity of the vegetation cover that are defined on the basis of satellite observations data as a cumulative factor of the sector's environmental impact.

Keywords: Mining Sector, Mining and Metallurgical Sector, airborne technogenic pollution, vegetation cover, photosynthesizing activity, satellite data, vegetation index, environmental protection, atmospheric air protection

Acknowledgements: The research was executed as part of Project No. 17-45-510037 p_a by the Russian Foundation for Basic Research (RFFI) and the Government of the Murmansk Region.

For citation: Mesyats S.P., Ostapenko S.P. Assessment of Impact from Mining Sector of Murmansk Region on Condition of Vegetation Cover using Satellite Observations. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2019;(6):112–116. (In Russ.) DOI 10.30686/1609-9192-2019-6-148-112-116.

Введение

Деятельность горной и горно-металлургической отраслей приводит к значительному загрязнению природной среды, в том числе атмосферного воздуха. Так, виды экономической деятельности по ОКВЭД «добыча полезных ископаемых» и «обрабатывающие производства» обуславливают половину выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в России (соответственно: 4,8 и 3,8 млн т или 28 и 22% в 2018 г.). Величина третьего, значительно меньшего по объему источника выбросов «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», составляет 2,7 млн т (16% от всей суммы выбросов)¹.

В связи с большим объемом выбросов значимое влияние на результаты экономической деятельности отраслей и их социальный образ оказывает государственное регулирование в области экологии, которое достигается учетом и нормированием загрязнения и обеспечивается применением экономических инструментов².

Вместе с тем нормирование предельно допустимых (критических) нагрузок, выбросов и т.п. и экономические последствия их превышения лишь опосредованно соответствуют принципу государственного регулирования – «недопущению необратимых последствий загрязнения атмосферного воздуха для природной среды»³, поскольку применяемая система технологических показателей выбросов не учитывает совокупности локальных природно-климатических условий и других абиотических и биотических факторов, определяющих реакцию природной среды на негативное воздействие горной и горно-металлургической отраслей. В обеспечении установленного принципа государственного управления № 96-ФЗ «научная обоснованность, системность и комплексность подхода к охране атмосферного воздуха и охране окружающей среды в целом» представляются перспективными исследования реакции природной среды на техногенное воздействие для совершенствования нормативной базы с целью улучшения состояния природной среды.

На фоне обострения глобального экологического кризиса очевидна необходимость постановки исследований и широкомасштабных программ по улучшению состояния природной среды. Концепция устойчивого развития, широко декларируемая в последнее время, может быть реализована только в условиях устойчивого состояния биосферы, определяемого состоянием природных экосис-

тем, сохранение которых относится к числу самых актуальных задач, стоящих перед цивилизацией.

Адекватным способом оценки масштабного техногенного воздействия горной и горно-металлургической отраслей на природную среду является дистанционное наблюдение приземных слоев атмосферы и земной поверхности, получившее широкое распространение в связи с публикацией спутниковых данных [1–3]. Интегральная оценка аэрозольного техногенного загрязнения и реакции растительного покрова на основании спутниковых данных для прогноза импактных зон предприятий, предложенная в работе [4], использована для оценки воздействия предприятий горного профиля на природную среду на примере одного из регионов России.

Цель проводимых исследований

Оценка воздействия предприятий горной и горно-металлургической отраслей на состояние природной среды по изменению фотосинтезирующей активности растительного покрова с использованием данных спутниковых наблюдений.

Объект исследования

Объектом исследования определена центральная, наиболее промышленно освоенная, часть территории Мурманской области. Основными источниками загрязнения являются предприятия горно-металлургической и горной отраслей, обусловившие 69,8% выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в 2018 г.⁴ В порядке убывания доли суммарных выбросов от стационарных источников представлены следующие предприятия: АО «Кольская ГМК» (пгт. Никель) – 31,8%, АО «Кольская ГМК» (г. Мончегорск) – 20,1%, АО «Апатит» – 5,4%, Филиал АО «РУСАЛ Урал» в г. Кандалакше «Объединённая компания РУСАЛ Кандалакшский алюминиевый завод» – 5,4%, АО «Ковдорский ГОК» – 2,9%, АО «Кольская ГМК» (гп. Заполярный) – 2,6%, АО «ОЛКОН» – 1,6%. Для сравнения, доля выбросов ОАО «Мурманская ТЭЦ» составила 7,1%.

Данные спутниковых наблюдений и их обработка

Для характеристики техногенного воздействия предприятий на природную среду использовались данные наблюдения территории Мурманской области космическим аппаратом MODIS за май – октябрь (период вегетации) 2000–2019 гг.⁵

Аэрозольное загрязнение атмосферного воздуха параметризовалось величиной аэрозольной оптической толщины (АОТ), характеризующей ослабление света в атмосфере за счёт его поглощения и рассеяния, с разрешением в плане

¹ О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году: Государственный доклад. Режим доступа: <https://gosdoklad-ecology.ru/2017/o-doklade/>

² Об охране атмосферного воздуха: фед. закон от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/; Об охране окружающей среды: фед. закон от 10 янв. 2002 г. № 7-ФЗ. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/

³ Об охране окружающей среды: фед. закон от 10 янв. 2002 г. № 7-ФЗ. Ст. 3. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/

⁴ Ежегодные доклады о состоянии окружающей среды Мурманской области. Режим доступа: <http://www.gov-murman.ru/region/environmentstate>

⁵ NASA EOSDIS Land Processes DAAC, USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. Sioux Falls, South Dakota. Available at: <http://lpdaac.usgs.gov>

10 км (MODIS MOD04_L2). Площадь аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха рассчитывалась по пространственной корреляции AOT в меридиональном и широтном направлениях от стационарного источника загрязнения и усреднением лагов вариограмм за двадцатилетний период с учетом розы ветров в период наблюдения [5].

Для оценки состояния природной среды используется выделение фоновых и импактных зон по спутниковым изображениям территории на основе данных Landsat с разрешением в плане 30 м и данных MODIS по вегетационному индексу (NDVI) с разрешением 250 м (MOD13Q1) [6]. Алгоритм обработки спутниковых данных Landsat включает дешифрирование подстилающей поверхности и выделение мониторинговых полигонов с однотипным растительным покровом. Пример дешифрирования подстилающей поверхности по спутниковым изображениям Landsat и распределение ее вегетационного индекса по данным MODIS приведен на рис. 1.

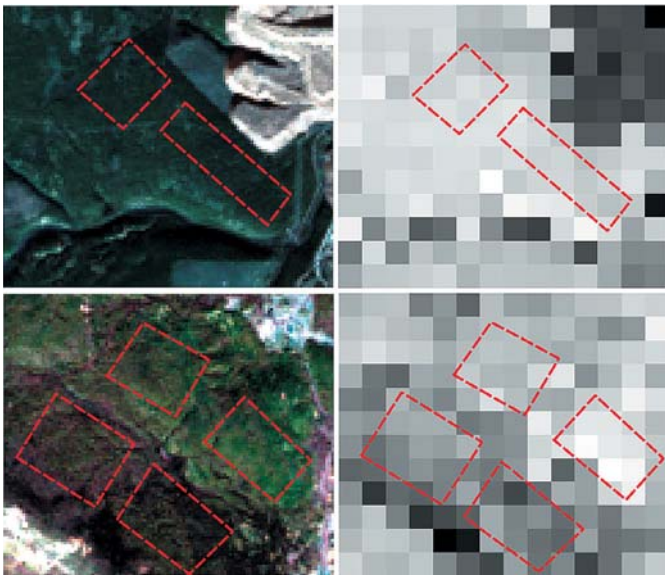


Рис. 1
Спутниковые изображения Landsat (1) и MODIS (2) мониторинговых полигонов АО «Ковдорский ГОК» в сентябре 2019 г. (в верхнем ряду – в импактной зоне, в нижнем ряду – фоновые)

Fig. 1
Landsat (1) and MODIS (2) satellite images of the monitored dump sites of AO 'Kovdorskiy GOK' in September 2019 (top: in the impact zone; bottom: background)

В ходе исследования рассматривались 12 типов растительного покрова на 830 мониторинговых полигонах. Для каждого типа растительного покрова по временным сериям данных MODIS определялись ежегодные максимальные значения, даты достижения максимальных значений вегетационного индекса, изменение которых характеризует угнетение фотосинтезирующей активности растений. Затем проводилось усреднение полученных показателей за период наблюдений, что обеспечило погрешность оценки вегетационного индекса не более 3% [6].

Площадь техногенного воздействия на природную среду рассчитывалась по пространственной корреляции координат мониторинговых полигонов с измененным вегетационным индексом усреднением лагов вариограмм по восьми направлениям. Обработка дан-

ных проводилась в среде программирования R⁶ и в геоинформационной системе QGIS⁷.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что относительно фоновых значений зоны техногенного воздействия характеризуются снижением вегетационного индекса, что позволяет оценить размеры импактных зон предприятий. Например, для АО «Кольская ГМК» величина вегетационного индекса на мониторинговых площадках, расположенных между гп. Заполярный и пгт. Никель, уменьшается на 70% от фоновых значений, протяженность влияния предприятий распространяется на ~60 км (рис. 2).

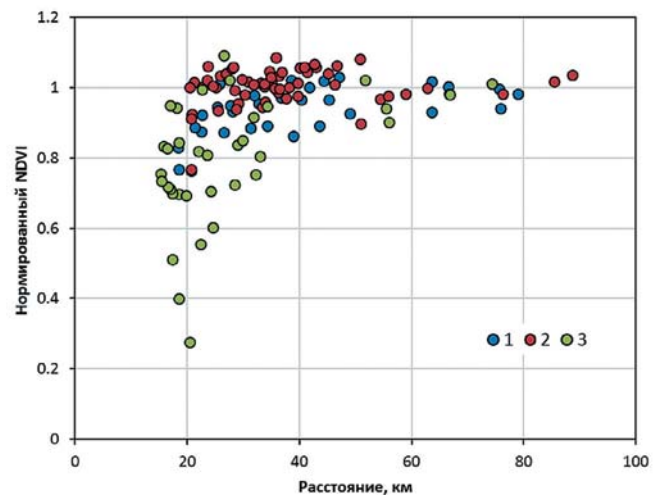


Рис. 2
Зависимость усредненного за 20-летний период вегетационного индекса от среднеквадратичного расстояния до источников техногенного воздействия АО «Кольская ГМК» (гп. Заполярный и пгт. Никель): 1 – лишайниково-зеленомошное лиственничное редколесье; 2 – лиственный лес; 3 – лишайниково-кустарничковая тундра

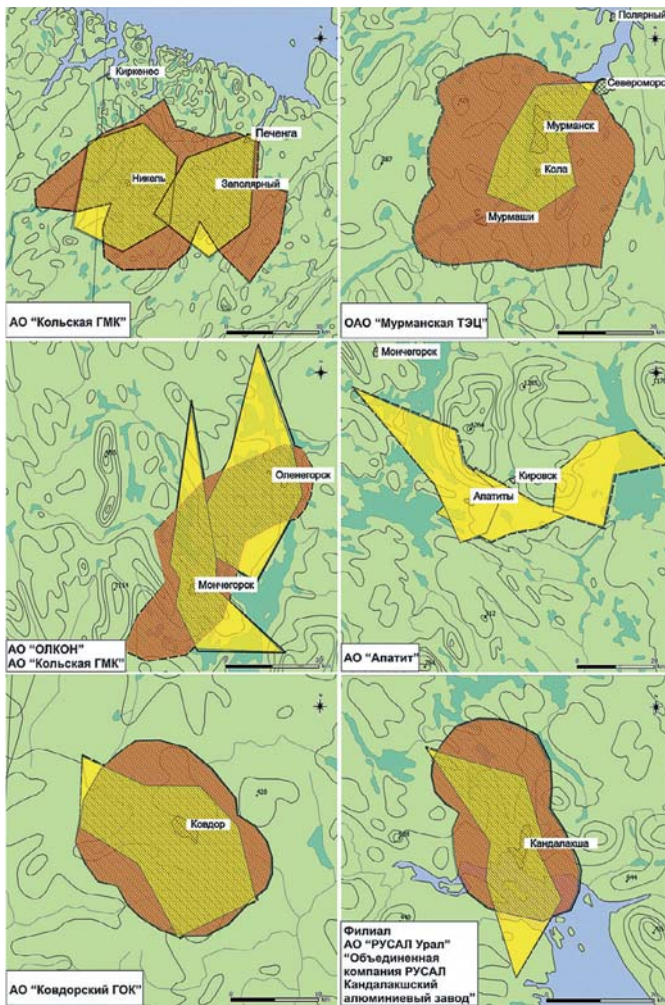
Fig. 2
Dependence of the 20-year averaged vegetation index on the root-mean-square distance from the technogenic impact sources of AO 'Kolskaya GMK' (Zapolyarniy Urban Settlement and Nickel Urban Community): 1 – lichenous-moss leaf sparse forest; 2 – leaf forest; 3 – lichenous fruticulose tundra

Выявлена пространственная корреляция аэротехногенного загрязнения с изменением вегетационного индекса, свидетельствующая о негативном воздействии отрасли на природную среду (рис. 3).

Отмечается отсутствие воздействия аэрозольного загрязнения на фотосинтезирующую активность растительного покрова в зоне АО «Апатит» (рис. 3). Наиболее вероятно, это связано с циркуляцией ветровых потоков, определяемой Хибинским горным массивом и составом аэрозольного загрязнения при разработке месторождений апатитсодержащих руд [7].

6 R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. – R Foundation for Statistical Computing. Vienna: Austria; 2008. Available at: <http://www.R-project.org>.

7 QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System, Software Version 3.0.8. Open Source Geospatial Foundation Project. Available at: <http://qgis.osgeo.org>.



аэрозольное техногенное воздействие
 снижение фотосинтезирующей активности растительного покрова
 airborne technogenic pollution
 decreasing photosynthesizing activity of the vegetation cover

Рис. 3
Границы угнетения растительного покрова и аэрозольного техногенного воздействия крупных предприятий Мурманской области

Fig. 3
Boundaries of depressed vegetation cover and airborne technogenic pollution from large-size industrial facilities of the Murmansk Region

Результаты оценки техногенного воздействия предприятий горной и горно-металлургической отраслей Мурманской области на растительный покров обобщены в таблице.

Значительное, более чем на порядок, различие отношения площадей угнетения растительного покрова и аэрозольного техногенного загрязнения, а также отсутствие корреляции площадей с суммарным выбросом загрязнений в атмосферу свидетельствует о наличии неучтенных показателей, характеризующих воздействие предприятий на природную среду. Предлагаемая оценка состояния растительного покрова по его фотосинтезирующей активности на основании спутниковых данных повышает достоверность оценки состояния природной среды в промышленных районах.

Выводы

С обоснованием использования спутниковых данных выполнена оценка аэротехногенного воздействия предприятий горной и горно-металлургической отраслей Мурманской области на состояние природной среды по изменению фотосинтезирующей активности растительного покрова. Выявлена пространственная корреляция аэротехногенного воздействия с изменением вегетационного индекса и даты достижения его максимального значения и определены площади импактных зон предприятий.

Представляется целесообразным ввести в систему нормативных показателей техногенного воздействия на природную среду, помимо технологических (расчетных) показателей деятельности предприятий, показатель состояния растительного покрова, определяемый изменением его фотосинтезирующей активности по спутниковым данным. Предложенный подход исключает необходимость проведения наземных наблюдений, что определяет его перспективность для оценки техногенного воздействия на природную среду.

Таблица
Характеристики техногенного воздействия предприятий на растительный покров

Table
Characteristics of the technogenic impact of the industrial facilities on the vegetation cover

Предприятие	Площадь, тыс. км ²		Отношение площадей угнетения растительного покрова и аэрозольного техногенного загрязнения	Суммарный выброс загрязнений в атмосферу, тыс. т
	угнетения растительного покрова	аэрозольного техногенного воздействия		
АО «Кольская ГМК» (промплощадки пгт. Никель и гп. Заполярный)	2,7	1,9	1,5	117,9
АО «Кольская ГМК» (промплощадка г. Мончегорск) и АО «ОЛКОН»	1,2	1,0	1,2	53,0
АО «Апатит»	0,037	0,8	0,05	13,8
Филиал АО «РУСАЛ Урал» в г. Кандалакше «Объединённая компания РУСАЛ Кандалакшский алюминиевый завод»	0,7	0,4	1,73	11,8
АО «Ковдорский ГОК»	0,3	0,2	1,5	6,5
ОАО «Мурманская ТЭЦ»	1,6	0,4	4,2	16,6

Список литературы

1. Опарин В.Н., Потапов В.П., Гиниятуллина О.Л., Быков А.А., Счастливцев Е.Л. Комплексный мониторинг техногенной нагрузки на атмосферу горнопромышленного региона. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2017;(5):162–171. DOI: 10.15372/FTPRPI20170518.
2. Bondur V.G., Vorobev V. E. Satellite monitoring of impact Arctic Regions. *Izvestiya of Atmospheric and Oceanic Physics*. 2015;51(9):949–968. DOI: 10.1134/S0001433815090054.
3. Mesyats S., Ostapenko S. Satellite data based assessment of environment impact of mining industry. In *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, 29 June – 5 July, 2017. Int. Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*. 2017;17(41):551–558. DOI: 10.5593/sgem2017/41/S19.070.
4. Месяц С.П., Остапенко С.П. Прогноз техногенного воздействия горнопромышленных предприятий на состояние природной среды по данным спутниковых наблюдений. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2018;(4):181–187. DOI: 10.15372/FTPRPI20180420.
5. Месяц С.П., Остапенко С.П., Зорин А.В. Методический подход к оценке аэрозольного техногенного загрязнения по данным спутниковых наблюдений на примере горнопромышленного комплекса Мурманской области. *Горная промышленность*. 2016;(6):69–73.
6. Месяц С.П., Остапенко С.П., Аверина О.В. Методический подход к оценке влияния горнопромышленных предприятий на состояние растительного покрова по данным спутниковых наблюдений. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2017;(S23):545–553. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-10-23-545-553.
7. Талалаев С.М. Метеорологические условия пылеобразования на хвостохранилище. *Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*. 1986;(502):101–108.

References

1. Oparin V.N., Potapov V.P., Giniyatullina O.L., Bykov A.A., Schastlivtsev E.L. Integrated Monitoring of Induced Air Pollution in Mining Regions. *Journal of Mining Science*. 2017;53(5):945–953. DOI: 10.1134/S1062739117052982.
2. Bondur V.G., Vorobev V.E. Satellite monitoring of impact Arctic Regions. *Izvestiya of Atmospheric and Oceanic Physics*. 2015;51(9):949–968. DOI: 10.1134/S0001433815090054.
3. Mesyats S., Ostapenko S. Satellite data based assessment of environment impact of mining industry. In *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, 29 June – 5 July, 2017. Int. Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*. 2017;17(41):551–558. DOI: 10.5593/sgem2017/41/S19.070.
4. Mesyats S.P., Ostapenko S.P. Prediction of the Environmental Impact of Mining Industry Based on Satellite Observations. *Journal of Mining Science*. 2018;54(4):690–696. DOI: 10.1134/S106273911804472.
5. Mesyats S.P., Ostapenko S.P., Zorin A.V. Methodological approach to the assessment of technology-related aerosol pollution by data of satellite observations: case study of the mineral mining and processing complex in the Murmansk Oblast. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2016;(6):69–73. (In Russ.)
6. Mesyats S.P., Ostapenko S.P., Averina O.V. A methodical approach to estimate the impact of mining enterprises on vegetation cover based on satellite data. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017;(S23):545–553. (In Russ.) DOI: 10.25018/0236-1493-2017-10-23-545-553.
7. Talalaev S.M. Meteorological conditions for dust formation at the tailing dump. *Trudy glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A.I. Voeikova*. 1986;(502):101–108. (In Russ.)

Информация об авторах

Месяц Светлана Петровна – ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; e-mail: mesyats@goi.kolasc.net.ru.

Остапенко Сергей Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; e-mail: lirabis@goi.kolasc.net.ru.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 10.09.2019

Поступила после рецензирования: 14.10.2019

Принята к публикации: 29.11.2019

Information about the author

Svetlana P. Mesyats – Leading Research Fellow, Head of Laboratory, Mining Institute of the Kola Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; e-mail: mesyats@goi.kolasc.net.ru.

Sergey P. Ostapenko – Candidate of Science (Engineering), Leading Research Fellow, Mining Institute of the Kola Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; e-mail: lirabis@goi.kolasc.net.ru.

Article info

Received: 10.09.2019

Revised: 14.10.2019

Accepted: 29.11.2019