ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 550.814

DOI: [10.46698/VNC.2021.62.10.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.62.10.010)

Оригинальная статья

Анализ пространственного
распределения химических элементов
апатит-штаффелитовых руд

И. И. Босиков¹, Р. В. Ключев², М. В. Текиев¹

¹Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Россия, 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44;

²Московский политехнический университет, Россия, 107203, г. Москва, ул. Большая Семеновская, 38, e-mail: kluev-roman@rambler.ru

Статья поступила: 06.05.2021, доработана: 21.05.2021, принята к публикации: 03.06.2021

Резюме: Актуальность работы. Важным и перспективным источником сырья для производства фосфатного концентрата являются апатит-штаффелитовые руды. Критерием оценки апатит-штаффелитовых руд является, прежде всего – содержание полезных компонентов – P_2O_5 и $Fe_{общ}$. Вопросы гранулометрического и минерального состава апатит-штаффелитовых руд, состава извлекаемых минералов – штаффелита, апатита, магнетита, их влияние на технологические показатели, в конечном итоге – вопросы геолого-технологической типизации руд. Таким образом, назревает актуальный вопрос геолого-технологического картирования месторождения. **Цель исследований:** провести анализ пространственного распределения химических элементов, химический анализ и морфотектонический анализ в пределах Северного участка Ковдорского месторождения. **Методы исследований.** Статистическая обработка результатов химического анализа, химический анализ проб, метод обратно взвешенных расстояний, морфоструктурный анализ. **Результаты исследований.** Для анализа пространственных закономерностей распределения химических элементов на основе данных химического анализа проб из скважин были составлены выборки, включающие в себя показатели значений содержаний элементов либо в горизонтальной плоскости (на различных горизонтах), либо в вертикальной плоскости (в разведочных профилях). В итоге авторами было составлено 6 выборок характеризующие: горизонт 290 м, горизонт 270 м, горизонт 250 м, а также разведочные профили 16, 17, 18. В научно-исследовательской работе произведен анализ пространственного распределения химических элементов в пределах Северного участка Ковдорского месторождения. В ходе изучения анализа выявлены характерные особенности распространения P_2O_5 , которые выражаются в приуроченности данного оруденения к сочетанию тектонического нарушения исследуемого участка и к карбонатитовому штоку.

Ключевые слова: апатит-штаффелитовые руды, химический анализ проб, анализ пространственного распределения, геокартирование, разведочные профили, метод обратно взвешенных расстояний.

Для цитирования: Босиков И. И., Ключев Р. В., Текиев М. В. Анализ пространственного распределения химических элементов апатит-штаффелитовых руд. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (2): 137 – 151. DOI: [10.46698/VNC.2021.62.10.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.62.10.010).

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION
OF SOLID MINERALS, MINERAGENCY

DOI: [10.46698/VNC.2021.62.10.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.62.10.010)

Original paper

Analysis of spatial distribution of chemical
elements of apatite-stafelite oreI. I. Bosikov¹, R. V. Klyuev², M. V. Tekiev¹¹North Caucasian institute of Mining and Metallurgy (State Technological University),
44 Nikolaeva Str., Vladikavkaz 362021, Russian Federation;²Moscow Polytechnic University, 38 Bolshaya Semenovskaya Str., Moscow 107203,
Russian Federation, e-mail: kluev-roman@rambler.ru

Received: 06.05.2021, revised: 21.05.2021, accepted: 03.06.2021

Abstract: Relevance. An important and promising source of raw materials for the production of phosphate concentrate are apatite-shafelite ores. The criterion for evaluating apatite-stafelite ores is, first of all, the content of useful components – P₂O₅ and Fe₂O₃. Issues of granulometric and mineral composition of apatite-stafelite ores, composition of recoverable minerals – stafelite, apatite, magnetite, their influence on technological indicators, and ultimately – issues of geological and technological typification of ores. Thus, the urgent issue of geological and technological mapping of the field is brewing. **Aim:** to analyze the spatial distribution of chemical elements, chemical analysis and morphotectonic analysis within the Northern section of the Kovdorskoye field. **Methods.** Statistical processing of chemical analysis results, chemical analysis of samples, inverse distance weighted method, morphostructural analysis. **Results.** To analyze the spatial patterns of the distribution of chemical elements, based on the data of chemical analysis of samples from wells, samples were compiled, including indicators of the values of the contents of elements either in the horizontal plane (at different horizons) or in the vertical plane (in exploration profiles). As a result, the authors compiled 6 samples characterizing: horizon 290 m, horizon 270 m, horizon 250 m, as well as exploration profiles 16, 17, 18. In the research work, the analysis of the spatial distribution of chemical elements within the Northern section of the Kovdorskoye field was carried out. During the study of the analysis, the characteristic features of the distribution of P₂O₅ were revealed, which are expressed in the confinement of this mineralization to a combination of tectonic disturbance of the study area and to a carbonatite stockwork.

Keywords: apatite-shafelite ores, chemical analysis of samples, analysis of spatial distribution, geo-mapping, exploration profiles, inverse distance weighted method.

For citation: Bosikov I. I., Klyuev R. V., Tekiev M. V. Analysis of spatial distribution of chemical elements of apatite-stafelite ore. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11 (2): 137 – 157. DOI: 10.46698/VNC.2021.62.10.010.

Введение

Важным и перспективным источником сырья для производства фосфатного концентрата являются апатит-штаффелитовые руды [Туголуков и др., 2011, 2012]. Критерием оценки апатит-штаффелитовых руд является, прежде всего – содержание полезных компонентов – P₂O₅ и Fe_{общ}. Вопросы гранулометрического и минерального состава апатит-штаффелитовых руд, состава извлекаемых минералов – штаффелита, апатита, магнетита, их влияние на технологические показатели обогащения (в конечном итоге – вопросы геолого-технологической типизации руд). Таким образом, уже сегодня назревает вопрос геолого-технологического картирова-

ния месторождения [Босиков и др., 2021; Голик и др., 2018, 2019, 2020; Заалишвили и др., 2018; Хулелидзе и др., 2016; Чотчаев и др., 2020, 2021; Ganapathy et al., 2020; Klyuev и др., 2020; Svalova et al., 2019].

В приповерхностной части карбонатитового штока, на апатитовых карбонатах развита обогащенная фосфатами кора выветривания, представляющая собой остаточное апатит-штаффелитовое месторождение. Формирование его связано с выщелачиванием кальцита из апатитовых карбонатитов (0,5-5,5% P_2O_5), переотложением апатита и образованием штаффелита, вермикулита, гематита и глинистых минералов.

Кора выветривания имеет линейно-площадной характер: на компактных крупных элементах штокверка, занимающих значительную площадь, формируются пластообразные залежи с переменной мощностью (от нескольких метров до 100 и более метров). Жилообразные тела апатитовых карбонатитов преобразованы процессом выветривания в апатит-штаффелитовую руд на всем протяжении, как по простирацию, так и по падению, на глубину от 30 м до 100-150 м (профили 4, 8, 10^A, 14 и др.). Характерными для месторождения формами рудных залежей являются чашеобразные («котловинные», по Б. И. Сулимову) структуры, расположенные в западном, юго-западном, юго-восточном и восточном секторах карбонатитовой дуги.

Размеры этих «котловин» по простирацию (длина) варьирует от 200 м до 500 м, по ширине – от 130-150 м до 250-300 м, по глубине (что адекватно мощностям рудных залежей) – от 30-110 м до 150-160 м (профили 3¹, 3², 4, 4², 9, 14¹, 15¹, 17).

Котловинные структуры разделены участками пережимов, где отмечаются 1-2, иногда до 3, сравнительно маломощных соединяющих рукавов. Как правило, на участках пережимов в более удаленных от котловин участках подошва залежи приближается к дневной поверхности (глубина проникновения и распространения руды уменьшается).

В результате чего на участках пережимов залежь теряет сплошность и свою подковообразную форму, распадаясь на отдельные узлы, стягивающиеся к участкам котловин уже с глубины 20-30 и более метров в соответствующих горизонтальных сечениях.

Границы залежи и составляющих ее отдельных тел на контакте с родоначальными первичными карбонатитами, как правило, извилистые, причем карбонатиты и штаффелитовые руды всегда разделены зоной дезинтегрированных и активно выщелачиваемых карбонатов, мощность которой может колебаться от первых метров до нескольких десятков метров. Контакты штаффелитовых руд с дезинтегрированными карбонатитами всегда резкие, но в эндоконтактной зоне могут присутствовать реликты дезинтегрированных карбонатитов.

Границы штаффелитовых руд с боковыми силикатными породами – фенитами и фенитизированными гнейсами, амфиболитами и щелочными породами ийолит-мельтейгит-твейтозитового состава определяются характером границ родоначальных карбонатитов. Резкие и четкие контакты карбонатитов с вмещающими породами наследуются и штаффелитовыми рудами. Если же переход к вмещающим породам происходит через штокверковую зону (систему прожилков), последние имеют место также и в штаффелитовом горизонте.

Внутреннее строение апатит-штаффелитовых залежей определяется:

1) наличием и концентрацией включений кондиционных по содержанию пяти-окиси фосфора пород внутри общего контура.

2) различиями в составе самих кондиционных руд, формой, размерами и условиями залегания отдельных разновидностей.

Включения некондиционных пород в промышленном контуре распространены достаточно широко. В среднем по месторождению некондиционные участки составляют 20% от объема залежи. Эта величина не учитывает еще множество мелких включений имеющих некондиционную мощность и идущих при подсчете на разубоживание руды.

Некондиционные включения представлены теми породами, с которыми залежь граничит на каждом конкретном участке: фенитами, фенитизированными гнейсами, амфиболитами, твейтозитами, ийолит-мельтейгитами, полностью сохраняющими силикатную часть своего состава, а также текстурно-структурные особенности. Форма включений силикатных пород внутри рудной зоны унаследуется от коренных карбонатитов [Бембель, 2017; Бронскова, 2016; Костеневич и др., 2017].

Площадь юго-западного рудного узла с поверхности почти полностью закрыта чехлом четвертичных отложений различной мощности.

В восточной части площади развиты водно-ледниковые отложения, сложенные валунно-гравийно-галечным материалом с разнозернистым песчаным заполнителем и линзами супесчаного и суглинистого состава. Мощность их варьирует от нескольких метров до 35 м.

На остальной площади, в центральной и западной частях месторождения, на водоразделе и склонах горы Пилькома-Сельга распространены элювиально-делювиальные отложения щебнисто-валунно-глыбового состава с песчано-дресвяным и супесчаным заполнителем. Мощность их составляет 1-5 м.

Кроме того, на участке присутствуют современные техногенные отложения, представленные в западной части отвалом №2, в северной – складом апатит-штаффелитовой руды, состоящими из глыбово-щебнистого материала с дресвяно-супесчаным и песчаным заполнителем.

С южной стороны к участку примыкает хвостохранилище, сложенное отходами обогащения бадделеит-apatит-магнетитовых руд обогатительных фабрик ОАО «Ковдорский ГОК» [Земцовская, 2016], состоящими из мелкозернистых пылеватых песков.

Целью исследований является провести анализ пространственного распределения химических элементов в пределах исследуемого участка.

Методика исследования. Статистическая обработка результатов химического анализа, химический анализ проб, метод обратно взвешенных расстояний, морфо-структурный анализ.

Техническая часть. Исходными данными для характеристики породы явились пробы, отобранные из скважин. По пробам проведен химический анализ с определением: FeO , P_2O_5 , CaO , CO_2 , MgO , ZrO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Всего проанализировано 339 проб из 22 скважин. Пример таблицы с исходными данными опробования и результатами химического анализа проб приведен в таблице 1.

На основе данных статистического анализа, проведенных по основным элементам (рис. 1, 2, 3, 4.), можно сделать следующие выводы:

Гистограммы показывают логнормальный закон распределения у FeO , P_2O_5 , ZrO_2 и Fe_2O_3 . При этом из гистограммы P_2O_5 (рис. 2) видно, что при логнормальном распределении наблюдается отрицательное смещение, максимальное количество проб находится за пределами бортового содержания (180 проб) для данного элемента, и варьируется в пределах 0-5%. Так же отрицательное смещение наблюдается на гистограмме Fe_2O_3 (рис. 4).

Таблица 1 / Table 1

**Исходные данные опробования и результаты химического анализа проб /
Initial sampling data and results of chemical analysis of samples**

№ скв / Well number	X	Y	Z	FeO	P ₂ O ₅	CaO	CO ₂	MgO	ZrO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
17p	-1741,10	-2096,70	300,45	4,47	6,18	20,44	0,77	9,50	0,03	44,78	6,89	6,51
17p	-1741,10	-2096,70	296,40	3,69	8,49	19,46	0,99	13,80	0,02	34,60	8,45	5,67
17p	-1741,10	-2096,70	293,40	3,69	10,74	24,50	1,87	13,80	0,02	34,60	8,45	5,67
17p	-1741,10	-2096,70	289,80	3,97	7,15	17,36	0,88	13,80	0,02	34,60	8,45	5,67
17p	-1741,10	-2096,70	285,30	5,70	5,51	18,26	0,88	7,80	0,03	44,18	7,80	8,30
17p	-1741,10	-2096,70	281,40	10,83	18,63	27,30	1,54	8,20	0,03	15,54	5,72	14,80
17p	-1741,10	-2096,70	277,35	3,35	5,25	43,68	29,04	4,30	0,01	8,14	2,34	4,72
17p	-1741,10	-2096,70	271,45	3,18	6,69	36,40	20,68	5,20	0,02	12,70	3,77	5,04
17p	-1741,10	-2096,70	264,75	3,69	4,73	42,42	27,39	5,20	0,02	12,70	3,77	5,04
17p	-1741,10	-2096,70	258,55	4,80	0,63	6,44	0,88	4,00	0,02	55,16	14,43	7,46
18п	-1635,40	-2134,50	298,3	12,24	20,20	29,42	2,93	2,22	0,28	10,03	5,75	15,44
18п	-1635,40	-2134,50	294,3	8,92	26,10	38,99	3,65	2,22	0,28	10,03	5,75	15,44
18п	-1635,40	-2134,50	291,1	18,53	16,25	24,05	2,21	3,41	0,12	8,78	4,25	34,78
18п	-1635,40	-2134,50	287,3	29,11	17,20	25,45	2,50	3,41	0,12	8,78	4,25	34,78
18п	-1635,40	-2134,50	282,65	35,49	8,20	12,62	1,82	5,28	0,35	10,86	3,44	47,94
18п	-1635,40	-2134,50	279,2	27,98	13,05	19,15	2,26	5,28	0,35	10,86	3,44	47,94
18п	-1635,40	-2134,50	275,05	38,64	2,75	4,49	1,34	12,00	0,68	16,25	2,88	57,12
18п	-1635,40	-2134,50	269,55	32,17	0,89	2,24	1,30	12,00	0,68	16,25	2,88	57,12
18п	-1635,40	-2134,50	264,05	38,03	1,74	3,65	1,13	12,00	0,68	16,25	2,88	57,12
18п	-1635,40	-2134,50	258,55	38,03	3,24	5,89	1,55	12,94	0,34	15,83	2,50	53,48
18п	-1635,40	-2134,50	253,05	5,94	1,25	8,13	1,03	12,94	0,34	15,83	2,50	53,48
18п	-1635,40	-2134,50	247,55	36,89	3,18	6,45	2,26	12,94	0,34	15,83	2,50	53,48
18п	-1635,40	-2134,50	243,05	26,40	10,65	17,38	2,26	9,00	0,24	14,76	3,31	37,24
18п	-1635,40	-2134,50	239,35	7,03	3,35	14,44	1,27	9,25	0,05	44,92	7,06	10,31
18п	-1635,40	-2134,50	235,9	7,03	2,66	17,67	1,18	9,25	0,05	44,92	7,06	10,31
18п	-1635,40	-2134,50	232,4	3,60	8,30	17,38	1,93	11,13	0,04	37,38	8,31	5,23
18п	-1635,40	-2134,50	228,4	6,82	3,20	15,98	6,39	13,06	0,01	34,31	7,81	8,58
18п	-1635,40	-2134,50	224,6	5,67	2,85	13,46	4,04	13,06	0,01	34,31	7,81	8,58

Результаты исследований

Для анализа пространственных закономерностей распределения химических элементов на основе данных химического анализа проб из скважин были составлены выборки, включающие в себя показатели значений содержаний элементов либо в горизонтальной плоскости (на различных горизонтах), либо в вертикальной плоскости (в разведочных профилях). В итоге авторами было составлено 6 выборок характеризующие: горизонт 290 м, горизонт 270 м, горизонт 250 м, а также разведочные профили 16, 17, 18.

Карты распределения химических элементов построены в программе ArcGis 9.3.1 при помощи модуля Geostatistical Analyst методом обратно взвешенных расстояний (ОВР) [Лебедев и др., 2013; Zhukovskiy et al., 2019].

*Рис. 1. Гистограмма FeO /
Fig. 1. Bar graph FeO*

*Рис. 2. Гистограмма P₂O₅, БС – бортовое содержание /
Fig. 2. Bar graph P₂O₅, COC – cut-off content*

*Рис. 3. Гистограмма ZrO₂ /
Fig. 3. Bar graph ZrO₂*

Рис. 4. Гистограмма Fe_2O_3 /
Fig. 4. Bar graph Fe_2O_3

Рис. 5. Карта распределения P_2O_5 на горизонте 290 м /
Fig. 5. P_2O_5 distribution map at 290 m horizon

Метод ОВР учитывает вес окружающих измеренных значений для того, чтобы определить расчетное значение для ячейки, в которой не было данных. При этом учитываются не только расстояния от интерполируемой точки, но и расстояния между самими исходными точками так, что веса более близких друг к другу исходных точек уменьшаются.

Были построены и проанализированы карты и разрезы по профилям для четырех основных элементов (FeO , P_2O_5 , ZrO_2 , Fe_2O_3), главным из которых является P_2O_5 , так как это и есть полезное ископаемое, разведка которого и проводится в данном проекте. Карты и разрезы для P_2O_5 приведены ниже (рис. 5, 6, 7, 8, 9, 10.).

Рис. 6. Карта распределения P_2O_5 на горизонте 270 м /

Fig. 6. P_2O_5 distribution map at 270 m horizon

Рис. 7. Карта распределения P_2O_5 на горизонте 250 м /

Fig. 7. P_2O_5 distribution map at 250 m horizon

Рис. 8. Разрез по проектному профилю 16 /
Fig. 8. Section along the project profile 16

Рис. 9. Разрез по проектному профилю 17 /
Fig. 9. Section along the project profile 17

Рис. 10. Разрез по проектному профилю 18 /
Fig. 10. Section along the project profile 18

Заключение

Анализируя карты распределения P_2O_5 на различных горизонтах, можно сделать следующие выводы:

- залежь носит узловой характер, мощности тела полезного ископаемого не выдержаны, так же не выдержаны и содержания P_2O_5 в пределах рудного тела. Узловой характер залежи подтверждается и 3 группой сложности. С глубиной содержания P_2O_5 снижаются до забортовых;

- наиболее богатыми по содержанию P_2O_5 являются центральная и северная части участка. Но высокие значения в центральной части прослеживаются уже с уровня 290 м, а в северной части область высоких значений более заметно на уровне 270 м;

- богатые содержания в центральной и северной частях сохраняются с глубиной и имеют тенденцию смещения на запад;

- южная часть участка работ характеризуется высокими значениями содержания на верхних уровнях, а с глубиной эти значения понижаются до забалансовых.

Данные карты распределения имеют практический характер, непосредственно, они будут играть не последнюю роль при проведении блокировки запасов.

Из анализа карт распределения по проектным профилям вытекает следующее:

- наиболее высокими значениями содержания P_2O_5 характеризуются профили 16 и 17;

- из профиля 18 следует, что руды в данной части участка являются, в большинстве своем, рядовыми.

Данные карты распределения, построенные в разведочных профилях, играют огромную роль в обосновании увязки расположения рудного тела, так как на полученных разрезах, построенных по результатам ранее проведенных работ, более богатые участки руд нарисованы в виде крутопадающих зон. В то же время, возможен вариант увязки этих зон в виде тела, ориентированного под углом 45° . И именно такая морфология и подтверждается в построенных разрезах (рис. 9.). Такая морфология также может быть подтверждена ориентировкой тектонических зон, показанных на карте и разрезах, по которым могла происходить циркуляция гидротермальных растворов, приведших к обогащению.

Следовательно, для выяснения особенностей внутреннего строения рудоносной залежи, необходимо получить перекрытый разрез посредством бурения наклонных скважин.

Так же эти карты позволяют определить глубины залегания и масштабы участков с наиболее высокими содержаниями полезного компонента, что весьма полезно при блокировке запасов.

Аналогичные исследования проводились и в странах дальнего зарубежья [De Oliveira et al., 2014; Elshkaki et al., 2017; Ghorbani et al., 2016; Sebutsoe et al., 2017; Sinclair et al., 2015; Song et al., 2017].

Литература

1. Бембель Р. М., Сухов Л. А., Щетинин И. А. Пути повышения геологической эффективности освоения месторождений углеводородов в Западной Сибири. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – № 6. – С. 6-10. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-6-6-10

2. Босиков И. И., Ключев Р. В., Хетагуров В. Н., Ажмухамедов И. М. Разработка методов и средств управления аэрогазодинамическими процессами на добычных участках // Устойчивое развитие горных территорий. – 2021. – № 1. – С. 77-83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83.
3. Босиков И. И., Ключев Р. В., Гаврина О. А. Анализ геолого-геофизических материалов и качественная оценка перспектив нефтегазоносности Южно-Харьбинского участка (Северный Кавказ). // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – № 11 (1). – С. 6-21. DOI: 10.46698/VNC. 2021.36.47.001.
4. Бронскова Е. И. Комплексный анализ геологического строения Апрельского месторождения для эффективности доразведки и разработки залежей в тюменской свите. / Е. И. Бронскова. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2016. – № 8. – С. 36-44.
5. Голик В. И., Бурдзиева О. Г., Дмитрак Ю. В., Шаймартдянов Т. Э. Взаимодействие природных и технических систем обеспечения сбалансированности земной поверхности при освоении недр. // Геология и Геофизика Юга России. – 2018. – Т. 8. № 4. – С. 33-43. DOI: 10.23671/VNC. 2018.4.20132.
6. Голик В. И., Кожиев Х. Х., Бурдзиева О. Г., Масленников С. А. Геомеханические факторы взаимодействия природных и технических систем в районах освоения недр. // Геология и Геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 3. – С. 179-188. DOI: 10.23671/VNC. 2019.3.36481.
7. Голик В. И., Бурдзиева О. Г., Дзеранов Б. В. Управление геодинамикой массива путем регулирования величины напряжений. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. № 2. С. 147-160. DOI: 10.46698/VNC. 2020.93.21.011.
8. Заалишвили В. Б., Реквава П. А., Мельков Д. А. Развитие сейсмостойкого строительства на горных территориях Северной Осетии на основе новой региональной кривой коэффициента динамичности. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2018. – № 4. – С. 509-517. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-4-509-517.
9. Земцовская Е. В. Горнотехническая рекультивация отвалов скальных пород на примере АО «Ковдорский ГОК» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 7. – С. 384-391.
10. Костеневич К. А. Влияние условий формирования и постседиментационных процессов преобразования отложений на структуру пустотного пространства и фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов продуктивного горизонта тюменской свиты Краснотенского свода. / К. А. Костеневич, О. И. Белоус, С. А. Слюпкина. // Современные проблемы седиментологии в нефтегазовом инжиниринге: труды III Всероссийского научно-практического седиментологического совещания, 10–12 апреля 2017 г. – Томск: Изд-во ЦППС НД, 2017. – С. 84-90.
11. Лебедев С. В., Нестеров Е. М., Зарина Л. М. Оценочные типы цифровых карт в методологии геоэкологического картографирования. // Проблемы региональной экологии. – 2013. – № 5. – С. 53-57.
12. Туголуков А. В., Бармин И. С., Попович В. Ф., Лыгач В. Н. Исследование технологических свойств разновидностей апатит-штаффелитовых руд Ковдорского месторождения. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 12. – С. 37-42.
13. Туголуков А. В., Бармин И. С., Морозов В. В., Поливанская В. В. Исследование и оптимизация процесса флотационного обогащения апатит-штаффелитовой руды ковдорского месторождения. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 4. – С. 165-169.
14. Хулелидзе К. К., Кондратьев Ю. И., Бетров З. С., Заалишвили В. Б. Оценка коренных и техногенных месторождений РСО-Алания как возможных объектов применения тех-

нологии подземного и кучного выщелачивания. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2016. – № 8 (1). – С. 46-51. DOI: 10.21177/1998-4502-2016-8-1-46-51.

15. Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. № 4. С. 70-100. DOI: 10.46698/VNC. 2020.87.26.005.

16. Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Зонирование высокогорных территорий по геоэкологическим нагрузкам, обусловленным геодинамическими и климатическими воздействиями. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. № 1. – С. 81-94. DOI: 10.46698/VNC. 2021.15.66.007.

17. De Oliveira D.M., Sobral L.G. S., Olson G.J., Olson S.B. Acid leaching of a copper ore by sulphur-oxidizing microorganisms. // Hydrometallurgy. – 2014. – Vol. 147-148. – pp. 223-227. DOI: 10.1016/j. hydromet. 2014.05.019

18. Elshkaki A., Reck B.K., Graedel T.E. Anthropogenic nickel supply, demand, and associated energy and water use. // Resources, Conservation and Recycling. – 2017. – Vol. 125. – pp. 300-307.

19. Ganapathy G.P., Zaalishvili V.B., Chandrasekaran S.S., Melkov, D.A. Integrated monitoring of slope process in India and Russia. // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2020. – No. 12 (4). – pp. 572-581. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-572-581.

20. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions: A review. // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 2016. – Vol. 37. No. 2. – pp. 73-119.

21. Klyuev R. V., Bosikov I.I., Mayer A. V., Gavrina O.A. Comprehensive analysis of the effective technologies application to increase sustainable development of the natural-technical system. // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2020. – No. 2. – pp. 283-290.

22. Sebutsoe T.C., Musingwini C. Characterizing a mining production system for decision-making purposes in a platinum mine. // The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2017. – Vol. 117. – pp. 199-206.

23. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. // Hydrometallurgy. – 2015. – Vol. 157. – pp. 306-324. DOI: 10.1016/j. hydromet. 2015.08.022.

24. Song X., Pettersen J.B., Pedersen K.B., Roberg S. Comparative life cycle assessment of tailings management and energy scenarios for a copper ore mine: A case study in Northern Norway. // Journal of Cleaner Production. – 2017. – Vol. 16415. – pp. 892-904.

25. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A. V., Ginzburg A.A. Complex Environmental Monitoring in Russia and India. // Geology and Geophysics of Russian South. – 2019. – Vol. 9 (4). – pp. 87-101. DOI: 10.23671/VNC. 2019.4.44491.

26. Zhukovskiy Y., Batueva D., Buldysko A., Shabalov M. Motivation towards energy saving by means of IoT personal energy manager platform. // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – No. 1333 (6). DOI: 10.1088/1742-6596/1333/6/062033.

References

1. Bembel R.M., Sukhov V.A., Schetinin I.A. Ways of increasing geological efficiency of hydrocarbon fields development in Western Siberia. Oil and Gas Studies, 2017. No. 6. pp. 6-10. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-6-6-10 (In Russ.)

2. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Khetagurov V.N., Azhmukhamedov I.M. Development of methods and management tools aerogas dynamics processes at mining sites. Sustainable development of mountain territories, 2021. No. 1. pp. 77-83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83. (In Russ.)

3. Bosikov I.I., Klyuev R. V., Gavrina O.A. Analysis of geological-geophysical materials and qualitative assessment of the oil and gas perspectives of the Yuzhno-Kharbizhinsky area (North-

ern Caucasus). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii*, 2021. No. 11 (1). pp 6-21. DOI:10.46698/VNC. 2021.36.47.001. (In Russ.)

4. Bronskova E.I. Complex analysis of the geological structure of the Aprelskoye field for the efficiency of additional exploration and development of deposits in the Tyumen suite. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2016. No. 8. pp. 36-44. (In Russ.)

5. Golik V.I., Burdzieva O.G., Dmitrak Yu.V., Sheymartdyanov T.E. Interaction of natural and technical systems for ensuring balance of earth surface when developing bowelsin. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2018. Vol. 8 (4). pp. 33-43. DOI: 10.23671/VNC. 2018.4.20132. (In Russ.)

6. Golik V.I., Kozhiev Kh.Kh., Burdzieva O.G., Maslennikov S.A. Interaction of Natural and Technical Systems in the Subsoil Development Areas. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2019. Vol. 9 (3). pp. 179-188. DOI: 10.23671/VNC. 2019.3.36481. (In Russ.)

7. Golik V.I., Burdzieva O.G., Dzeranov B.V. Ground geodynamics control by regulating stress level. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2020. Vol. 10 (2). pp. 147-160. DOI: 10.46698/VNC. 2020.93.21.011. (in Russ.)

8. Zaalishvili V.B., Rekvava P.A., Melkov D.A. Development of seismic resistance constructions in the mountain territories of North Ossetia on the basis of a new regional curve of dynamicity coefficient. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018. No. 10 (4). pp. 509-517. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-4-509-517. (In Russ.)

9. Zemtsovskaya E.V. Rock dumps mining recultivation the case of «Kovdorsky GOK» JSC. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull*, 2016. No. 7. pp. 384-391. (In Russ.)

10. Kostenevich K.A. Influence of formation conditions and postsedimentary processes of sediment transformation on the structure of the void space and filtration-capacity properties of reservoir rocks of the productive horizon of the Tyumen suite of the Krasnoleninsky arch. K.A. Kostenevich, O.I. Belous, S.A. Slyunkina. *Modern problems of sedimentology in oil and gas engineering: Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Sedimentological Meeting*, April 10-12, 2017. Tomsk. Publishing house of TsPPS ND, 2017. pp. 84-90. (In Russ.)

11. Lebedev S.V., Nesterov E.M., Zarina L.M. Title of the article: evaluative types of digital maps in methodology of geoecological cartography. *Regional Environmental Issues*, 2013. No. 5. pp. 53-57. (In Russ.)

12. Tugolukov A.V., Barmin I.S., Popovich V.F., Lygach V.N. Study of technological properties of varieties of apatite-staffelite ores of the Kovdor deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2011. No. 12. pp. 37-42. (In Russ.)

13. Tugolukov A.V., Barmin I.S., Morozov V.V., Polivanskaya V.V. Research and optimization of the process of flotation concentration of apatite-staffelite ore of the Kovdor deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull*, 2012. No. 4. pp. 165-169. (In Russ.)

14. Hulelidze K.K., Kondratyev Y.I., Betrozov Z.S., Zaalishvili V.B. Evaluation of original and technogenic deposits of the republic of north ossetia-alania as possible objects of application of underground and heap leaching technology. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2016. No. 8 (1). pp. 46-51. DOI: 10.21177/1998-4502-2016-8-1-46-51. (In Russ.)

15. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Influence of geodynamic processes on the geoecological state of high mountain areas. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2020. Vol. 10 (4). pp. 70-100. DOI: 10.46698/VNC. 2020.87.26.005. (in Russ.)

16. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Zoning of high mountainous areas by geoecological loads caused by geodynamic and climatic influences. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2021. Vol. 11 (1). pp. 81-94. DOI: 10.46698/VNC. 2021.15.66.007. (in Russ.)

17. De Oliveira D.M., Sobral L.G.S., Olson G.J., & Olson S.B. Acid leaching of a copper ore by sulphur-oxidizing microorganisms. *Hydrometallurgy*, 2014. Vol. 147-148, pp. 223-227. DOI: 10.1016/j.hydromet. 2014.05.019

18. Elshkaki A., Reck B.K., Graedel T.E. Anthropogenic nickel supply, demand, and associated energy and water use. *Resources, Conservation and Recycling*, 2017. Vol. 125. pp. 300-307.

19. Ganapathy G. P., Zaalishvili V. B., Chandrasekaran S. S., Melkov D. A. Integrated monitoring of slope process in India and Russia. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2020. No. 12 (4). pp. 572-581. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-572-581.

20. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions: A review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 2016. Vol. 37. No. 2. pp. 73-119.

21. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Mayer A. V., Gavrina O. A. Comprehensive analysis of the effective technologies application to increase sustainable development of the natural-technical system. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2020. No. 2. pp. 283-290. (In Russ.)

22. Sebutsoe T. C., Musingwini C. Characterizing a mining production system for decision-making purposes in a platinum mine. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2017. Vol. 117. pp. 199-206.

23. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydrometallurgy*, 2015. Vol. 157. pp. 306-324. DOI: 10.1016/j.hydromet.2015.08.022.

24. Song X., Pettersen J. B., Pedersen K. B., Roberg S. Comparative life cycle assessment of tailings management and energy scenarios for a copperore mine: A case study in Northern Norway. *Journal of Cleaner Production*, 2017. Vol. 16415. pp. 892-904.

25. Svalova V. B., Zaalishvili V. B., Ganapathy G. P., Nikolaev A. V., Ginzburg A. A. Complex Environmental Monitoring in Russia and India. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2019. Vol. 9 (4). pp. 87-101. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44491.

26. Zhukovskiy Y., Batueva D., Buldysko A., Shabalov M. Motivation towards energy saving by means of IoT personal energy manager platform. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019. No. 333 (6). DOI: 10.1088/1742-6596/1333/6/062033.