

ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ НА АЭРОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩИХ РУДНИКОВ

В.М. Хубиева^{1,2}

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва;

² Северо-Восточный федеральный университет

Аннотация: Рассмотрены вопросы вентиляции алмазодобывающих рудников. Основное внимание уделено тепловому режиму и связанному с ним вопросу проявления естественной тяги в условиях рудников, расположенных в районах Крайнего Севера. Общерудничная естественная тяга наряду с работой главной вентиляторной установки (ГВУ) оказывает значительное влияние на проветривание рудников и шахт. При этом естественная тяга может как способствовать процессу проветривания, так и препятствовать ему, мешая работе ГВУ. В работе выявлены причины возникновения естественной тяги. При управлении процессом проветривания с целью повышения его эффективности необходимо уметь оценивать величину и направление общерудничной естественной тяги. В работе проведен анализ воздушно-депресссионной и термовлажностной съемок в алмазодобывающих рудниках. Предложена формула по определению величины депрессии естественной тяги для рудников, разработан метод расчета депрессии естественной тяги и учета ее при взаимодействии с вентиляторами главного проветривания. Определен ряд технических мероприятий для исключения нарушения проветривания и снижения негативного влияния естественной тяги. Предложено использовать трехмерное компьютерное моделирование для учета влияния естественной тяги на аэрологическую безопасность рудника. В работе показаны результаты исследований влияния естественной тяги на распределение воздуха в рудниках.

Ключевые слова: аэрологическая безопасность, рудничная вентиляция, естественная тяга, положительная и отрицательная естественная тяга, тепловая депрессия, главная вентиляторная установка, вентиляционный ствол, скиповой ствол.

Для цитирования: Хубиева В.М. Влияние естественной тяги на аэрологическую безопасность алмазодобывающих рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1. – С. 186–193. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-186-193.

The influence of natural draft on the aerological safety of diamond mines

V.M. Khubieva^{1,2}

¹ National university of science and technology «MISIS», Moscow, Russia

² North-Eastern Federal University, Russia

Abstract: The article deals with the ventilation of diamond mines. The main attention is paid to the thermal regime and the appearance of natural draft in mines located in the Far North of Russia. A formula for determining the magnitude of the natural thrust depression for mines is proposed. A method for calculating the natural thrust depression and taking it into account

when interacting with the main ventilation units is developed. The results of the research of the influence of natural thrust on air distribution in mines are given.

Key words: aerological safety, mine ventilation, natural draft, positive and negative natural draft, thermal depression, main ventilation unit, ventilation shaft, skip shaft.

For citation: Khubieva V.M. The influence of natural draft on the aerological safety of diamond mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6-1):186-193. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-186-193.

Введение

Обеспечение эффективного проветривания рудника является важной задачей при добыче полезных ископаемых подземным способом. В настоящее время роль вентиляции при добыче полезных ископаемых подземным способом возросла, т. к. она является одной из условий высокопроизводительной работы в рудниках. Усложнения производственных процессов, а также требования непрерывного повышения безопасности труда поставили перед рудничной вентиляцией ряд новых задач. Именно это послужило причиной ее быстрого развития в последние полтора десятилетия.

Одной из отличительных особенностей проветривания рудников, расположенных в районах Крайнего Севера, является наличие большой естественной тяги. Она возникает вследствие различной плотности воздуха в горнах выработках и меняется с положительной на отрицательную в течение различного времени [1–2]. Как показали наблюдения, проведенные на рудниках «Интернациональный» и «Удачный» в Якутии, это время находится в диапазоне от нескольких минут до нескольких суток. Это может приводить к аварийным ситуациям, связанным с загазированием, опрокидыванием вентиляционной струи и т. д. [3]. Данные явления не обеспечены инженерными методиками для их учета, в том числе, в случае возникновения аварии и выбора тактики ведения аварийно-спасательных работ. Однако могут

быть учтены трехмерным компьютерным моделированием [4].

На обследуемых рудниках естественная тяга возникает по следующим причинам:

1. Устья стволов и штолен расположены не на одном уровне (часть месторождения вскрыта с бортов карьера). Из-за разницы температур воздуха и высотных отметок в зимнее время штольня принимает воздух, а летом выдает.

2. В зимний период времени в шахту подается сухой воздух с высокой влагоемкостью (так как он подогрет), пройдя по горным выработкам он набирает влагу. Поэтому в «мокрое» стволе температура воздуха всегда ниже, чем в «сухом», и, следовательно, воздух в нём опускается.

3. Также вторая причина обуславливает появление значительного капежа, что также влияет на величину естественной тяги.

Отдельного изучения требуют вопросы влияния химического состава рудничной атмосферы (существенно изменяющейся после массовых взрывных работ) на величину естественной тяги.

Как известно, температура воздуха на поверхности не является постоянной, поэтому происходят суточные и годовые изменения естественной тяги.

Результаты натурных наблюдений

Исследование по определению влияния естественной тяги на аэрологическую безопасность алмазодобывающих рудников проводилась на двух рудни-

ках АК «АЛРОСА» (ПАО) — «Интернациональный» и «Удачный».

Рудник «Интернациональный» ведет разработку трубки одноименного названия с 1971 г. на глубинах, превышающих 1000 м.

Проветривание рудника осуществляется всасывающим способом по центральной схеме (рис. 1).

Свежий воздух подается на горизонты по клетевому стволу. Далее от клетевого ствола воздух поступает по капитальным горным выработкам к объектам проветривания. Связь горизонтов осуществляется спиральными съездами, автоуклонами и вентиляционными восстающими выработками. Движение воздуха по спиральным съездам направлено вверх, при этом происходит подсыживание воздуха на сопряжениях с горизонтами. На всех горизонтах часть свежего воздуха используется для проветривания выработок околоствольного двора и действующих камер служебного назначения.

По проведенным измерениям при движении автомобильного транспорта по горным выработкам с уклонами при нисходящем проветривании часть нагретого воздуха, содержащего выхлопные газы, движется против движения основной струи или остаётся на месте.

Произведенные расчеты расхода воздуха, необходимого для рудника, показали, что при параллельном проветривании забоев нужно 4221,5 м³/мин, при последовательном проветривании забоев — 9850 м³/мин, а для горизонтов — 8865 м³/мин. С учётом утечек воздуха (при $k_{ут.} = 1,15$) в рудник подают $Q_R = 14138,1$ м³/мин.

Согласно исследованиям, проведенным в руднике «Интернациональный», при максимальной естественной тяге 31,1 даПа, возникающей в руднике в зимний период времени, наступает

ограничение подачи воздуха в рудник. Данное снижение расхода воздуха обусловлено перепадом температур наружного воздуха атмосферы (T_A) и допустимой температуры в выработках рудника $-4,2^\circ \text{C}$ (269,05° К).

$$\begin{aligned} Q_B &= Q_R \times \left(1 + \frac{(275 - T_A)}{T_A}\right) = \\ &= 14138,1 \times \left(1 + \frac{(275 - 269,05)}{269,05}\right) = \\ &= 14450,8 \text{ м}^3/\text{мин}, \end{aligned}$$

где Q_{R3} — требуемая подача воздуха в рудник при отрицательных температурах атмосферного воздуха, м³/мин, T_A — температура атмосферного воздуха на дневной поверхности, измеренная в градусах Кельвина.

Если T_A больше 2°C (275° К), то расчеты не проводятся и принимается Q_R вычисленная по формуле выше [5].

Рудник «Удачный» (ведет работы с 1967 году и с 2014 года горные работы ведутся подземным способом). Способ проветривание рудника — нагнетательный. Для этого используется главная вентиляторная установка, расположенная на вспомогательном-вентиляционном стволе (ВВС). При применении центрально-фланговой схемы проветривания свежий воздух поступает по стволу ВВС. Далее воздух выходит через наклонные съезды, скважины и скиповой ствол (СС).

Наличие элементов фланговой схемы проветривания и значительная разность высотных отметок между устьями стволов и наклонных скважин, обусловленная вскрытием запасов с борта карьера, являются факторами, которые влияют на особенности естественной тяги при воздухораспределении в руднике. Такие факторы, как работа калориферных установок на воздухоподающем стволе ВВС в холодное время года, теплообмен с горными породами

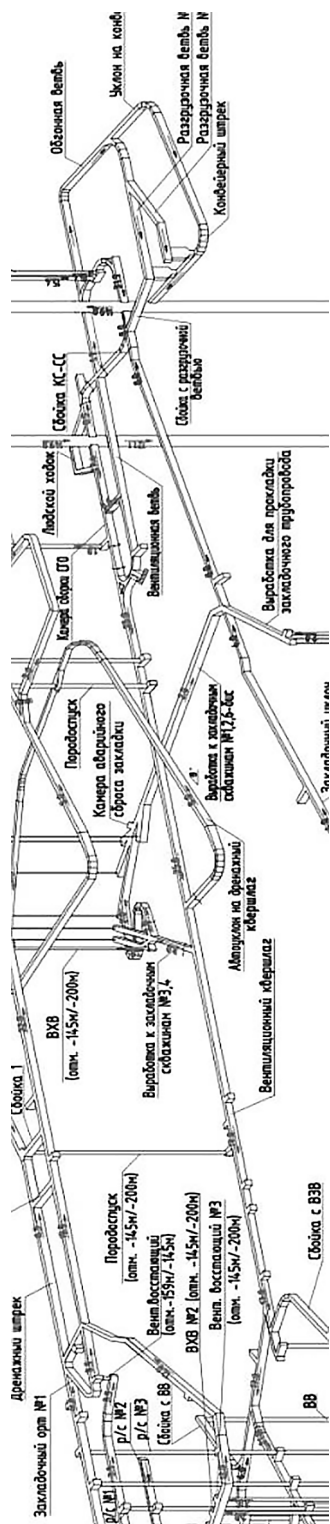


Рис. 1. Схема проветривания горизонта -200 м рудника «Интернациональный»

Fig. 1. The ventilation system of the mine « Internationalnyy » at the level -200 m

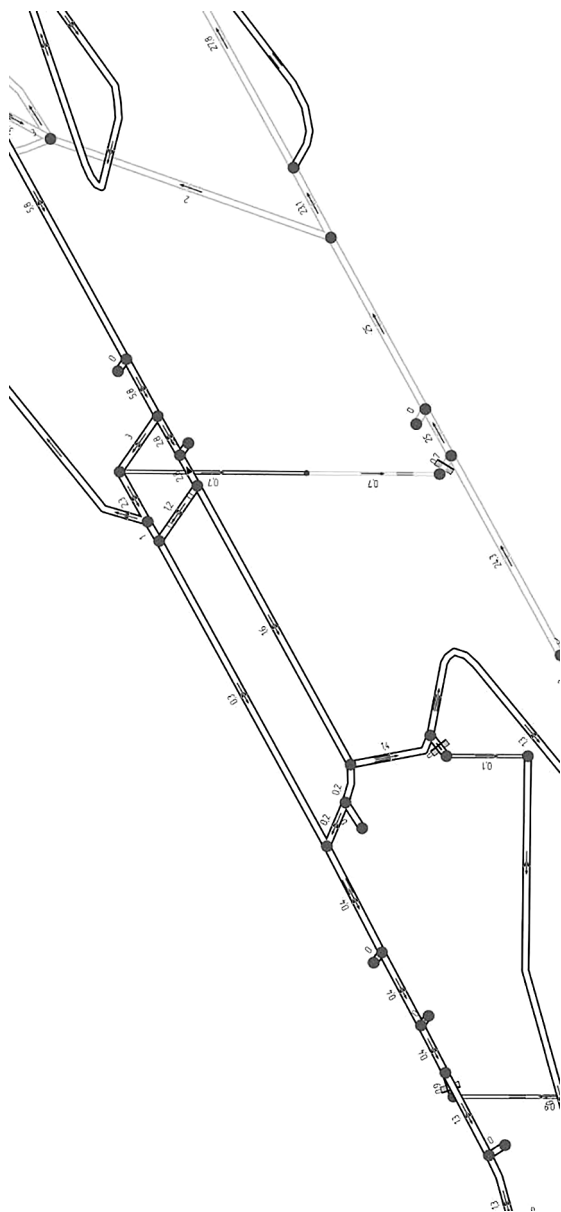


Рис. 2. Схема распределения воздуха на горизонте -200 м рудника «Интернациональный»

Fig. 2. The scheme of air distribution of the mine « Internationalnyy » at the level -200 m

и наличие холодного атмосферного воздуха в карьере приводит к возникновению значительной естественной тяги. Действие естественной тяги противоположно действию ГВУ и может приводить к нарушению проветривания на отдельных участках вентиляционной сети.

Для изучения особенностей действия естественной тяги были проведены воздушно-депресссионная и термовлажностная съемки на руднике «Удачный». По полученным результатам воздушно-депресссионной съемки была разработана расчетная вентиляционная сеть. На основании результатов термовлажностной съемки были определены плотности воздушной среды на различных участках горных выработок рудника. Используя гидростатические методы, была вычислена величина естественной тяги в выработках рудника. Расчетная схема приведена на рис. 3.

В табл. 1 приведены результаты расчета естественной тяги между отдельными участками вентиляционной сети.

По результатам исследований можно сделать вывод, что удаленность выработок, пройденных с борта карьера от ствола ВВС, а также значительная величина депрессии между весовыми столбами воздуха в них приводят к опрокидыванию воздушной струи в наклонном съезде № 4. Также эти факторы приводят к поступлению загрязненного воздуха из атмосферы карьера в горные выработки рудника.

Естественная тяга в холодный период времени года приводит к нарушению проветривания рудника. Гидростатический метод расчета дает увеличение естественной тяги на 25,9 даПа при понижении температуры до -57°C (минимальная температура воздуха согласно СНиП 23–01–99 для данного региона). Численное моделирова-

ние показывает, что увеличение естественной тяги приведет к увеличению расхода воздуха на $6300 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Для того, чтобы исключить нарушения проветривания и снижения негативного влияния естественной тяги, предлагается применить следующие технические мероприятия:

- уменьшить внутренние утечки воздуха между стволами СС и ВВС;
- установить средства отрицательного регулирования в штольнях № 1 и 2.

Технические мероприятия дадут возможность увеличить влияние ГВУ на фланговых выработках, которые имеют выход на борт карьера и аэродинамическую связь через зоны обрушения [6] и, таким образом, нормализовать их проветривание.

Для учета влияния естественной тяги на аэрологическую безопасность можно использовать трехмерное компьютерное моделирование, которое широко используется для определения скопления метана в горных выработках, зонах его миграции [7–10].

Заключение

В результате проведенного исследования и анализа литературных источников было выявлено, что возникновение тепловой депрессии обусловлено разностью плотностей (удельного веса) столбов воздуха в вертикальных и наклонных выработках рудников (между стволами и в блоках и панелях, обрабатывающих наклонные пласты). В результате чего теплый воздух стремится подняться вверх, а холодный опуститься вниз. В холодный период времени года естественная тяга приводит к нарушению проветривания рудника [11]. Анализ результатов исследования показал, что в основном естественная тяга в алмаздобывающих рудниках, расположенных в районах Крайнего Севера, носит отрицательный

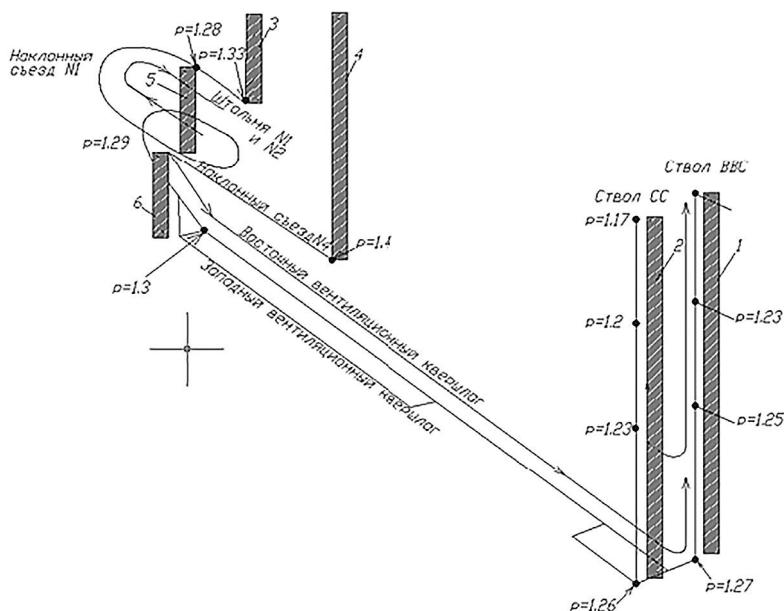


Рис. 3. Схема для расчета естественной тяги
 Fig. 3. The network for calculating natural ventilation

Таблица 1
 Величина естественной тяги на руднике «Удачный»

Участок	Значение естественной тяги
Ствол ВВС — ствол СС	16,6 даПа
Ствол ВВС — штольня №1	54,6 даПа
Штольня №1, наклонный съезд №4	12,6 даПа

характер. Так как холодное время охватывает большое количество времени в течение календарного года на Крайнем Севере, то проблема естественной тяги является актуальной. Отрицательная естественная тяга, действующая против направления движения воздушной струи, создаваемой вентилятором, увеличивает сопротивление сети, вследствие чего уменьшается производительность вентилятора.

Проанализированные данные ВДС показали наличие естественной тяги,

величина депрессии находится в диапазоне от 126 Па до 596 Па, что составляет, соответственно 8,4 и 39,7 % от общей депрессии развиваемой ГВУ рудника.

Для учёта естественной тяги существующие программные комплексы мало применимы [12–14]. Обзор научных работ показывает, что для расчётов естественной тяги (во всех её проявлениях) наиболее оптимальным будет применение трёхмерного компьютерного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев А.В. Метод расчета общерудничной естественной тяги // Воздушная завеса и общерудничная естественная тяга: Отдельн. ст. Горного информационно-аналитического бюллетеня. М., 2011. № 5. С. 12–17.

2. Гендлер С.Г. Управление тепловым режимом железнодорожных тоннелей, расположенных в суровых климатических условиях / С.Г. Гендлер, С.В. Синявина // Горный информационно-аналитический бюллетень. — М.: Горная книга, 2015. — Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке. — Специальный выпуск № 7. — С. 32–38.

3. Болбат И.Е., Лебедев В.И., Трофимов В.А. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах — М.: Недра, 1992. — С. 204.

4. Кобылкин С.С., Кобылкин А.С. Трехмерное моделирование при проведении инженерных расчетов по тактике горноспасательных работ. Горный журнал. 2018. — № 5. — С. 82–85.

5. Голинько В.И., Лебедев Я.Я., Муха О.А. Вентиляция шахт и рудников. — Д.: Национальный горный университет, 2012. — 266 с.

6. Казаков Б.П., Левин Л.Ю., Зайцев А.В. Влияние естественной тяги на воздухо-распределение в рудниках с комбинированным способом вскрытия, имеющих аэродинамические связи с атмосферой отработанного карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 5. — С. 283–285.

7. Каледина Н.О., Кобылкин С.С. О выборе способа проветривания тупиковых горных выработок газообильных угольных шахт. Горный журнал. — 2014. — № 12. — С. 99–103.

8. Alymenko N.I., Kamenskikh A.A., Nikolaev A.V., Petrov A.I. Numerical modeling of heat and mass transfer during hot and cool air mixing in air supply shaft in underground mine // Eurasian Mining. 2016. No. 2. pp. 45–47.

9. Dudar O.I., Dudar E.S. Analysis of mine ventilation network by 1d fem: simulation of fans and natural draught. Institute of Physics Publishing, 2019, pp. 1–7

10. Kachurin N.M., Vorobev S.A., Levin A.D., Botov F.M. Theoretical substantiation and practical results of underground workings ventilation simulation. Eurasian Mining — 2015. №2. pp. 12–15.

11. Puchkov L.A., Kaledina N.O., Kobytkin S.S. Systemic approach to reducing methane explosion hazard in coal mines. Eurasian Mining, 2015 (2), pp. 3–6

12. Stinnette J.D., De Souza E. Establishing total airflow requirements for underground metal/nonmetal mines with tier iv diesel equipment. 23rd World Mining Congress. Montreal, 2013. — 14 p.

13. Strang J., Mackenzie-Wood P., Roxborough F.F. A manual on mines rescue and gas detection. Australia. Ontario, 2014. pp. 652

14. Wierzbiki M. The Relationship between rock fracturing and methane inflow into the drainage holes on the basis of coal mine measurements. Arch Min. Sci., 2013. Vol. 58, № 1. pp. 21–36. **MIAB**

REFERENCES

1. Nikolaev A.B. Method of calculating the total natural draft. Air curtain and General natural draft. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2011. no. 5. pp. 12–17. [In Russ]

2. Gendler S.G., Sinyavina S.V. Managing the thermal regime of railway tunnels located in harsh climatic conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* Special'nyj vypusk no. 7. pp. 32–38. [In Russ]

3. Bolbat I.E., Lebedev V.I., Trofimov V.A. *Avarijnye ventilyacionnye rezhimy v ugol'nyh shahtah* [Emergency ventilation modes in coal mines]. Moscow: Nedra, 1992. p. 204. [In Russ]

4. Kobytkin S.S., Kobytkin A.S. Three-Dimensional modeling during engineering calculations on the tactics of mountain rescue operations. *Gornyj zhurnal.* no. 5. 2018. pp. 82–85. [In Russ]

5. Golin'ko V.I., Lebedev Ya.Ya., Muha O.A. *Ventilyaciya shaht i rudnikov* [Ventilation of mines and mines]. Dnepropetrovsk, 2012. p. 266. [In Russ]
6. Kazakov B.P., Levin L.Yu., Zajcev A.V. Influence of natural traction on air distribution in mines with a combined opening method that have aerodynamic connections with the atmosphere of a spent quarry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2012. no. 5. pp. 283–285. [In Russ]
7. Kaledina N.O., Kobylkin S.S. On the choice of a method for airing dead-end mining workings of gas-filled coal mines. *Gornyj zhurnal.* no. 12. 2014. pp. 99–103. [In Russ]
8. Alymenko N.I., Kamenskikh A.A., Nikolaev A.V., Petrov A.I. Numerical modeling of heat and mass transfer during hot and cool air mixing in air supply shaft in underground mine. *Eurasian Mining.* 2016. no. 2. pp. 45–47.
9. Dudar O.I., Dudar E.S. Analysis of mine ventilation network by 1d fem: simulation of fans and natural draught. Institute of Physics Publishing, 2019, pp. 1–7.
10. Kachurin N.M., Vorobev S.A., Levin A.D., Botov F.M. Theoretical substantiation and practical results of underground workings ventilation simulation. *Eurasian Mining* 2015. no. 2. pp. 12–15.
11. Puchkov L.A., Kaledina N.O., Kobylkin S.S. Systemic approach to reducing methane explosion hazard in coal mines. *Eurasian Mining*, 2015 (2), pp. 3–6.
12. Stinnette J.D., De Souza E. Establishing total airflow requirements for underground metal/nonmetal mines with tier iv diesel equipment. 23rd World Mining Congress. Montreal, 2013. 14 p.
13. Strang J., Mackenzie-Wood P., Roxborough F.F. A manual on mines rescue and gas detection. Australia. Ontario, 2014. pp. 652.
14. Wierzbiki M. The Relationship between rock fracturing and methane inflow into the drainage holes on the basis of coal mine measurements. *Arch Min. Sci.*, 2013. Vol. 58, no. 1. pp. 21–36.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Хубиева Виктория Махмутовна — аспирант кафедры БЭГП, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Ленинский пр., 4, Москва, 119049, старший преподаватель кафедры ЭиАПП МПТИ (ф) СВФУ, lilacrose@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Khubieva V.M., postgraduate of National university of science and technology «MISIS», senior lecturer of Mirny Polytechnic Institute (branch) of North-Eastern Federal University, lilacrose@mail.ru, Russia.

Получена редакцией 11.03.2020; получена после рецензии 16.04.2020; принята к печати 20.05.2020.
Received by the editors 11.03.2020; received after the review 16.04.2020; accepted for printing 20.05.2020.

