

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА БЛОЧНОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ СТРЕЛЬЦОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

В. А. Овсейчук¹, А. М. Зозуля¹

¹ Забайкальский государственный университет, Чита, Россия

Аннотация: По мере отработки запасов урановых месторождений Стрельцовского рудного поля традиционными физико-техническими технологиями истощались запасы богатых руд, что привело к падению эффективности ведения горных работ. В то же время запасы рядовых и бедных руд остаются весьма значительными. Применение традиционных горных технологий добычи для отработки таких руд убыточно. Физико-химические же технологии позволяют значительно снизить затраты на производство концентрата природного урана из убогих руд, что выводит добычу на рентабельный уровень. Попытки широкого применения технологии подземного блочного выщелачивания не увенчались успехом по ряду причин. Анализ этих причин показал, что повысить эффективность применения данной технологии возможно, усовершенствовав взрывную рудоподготовку на основе полученных новых данных по физико-механическим свойствам горных пород и руд и разработав методику предотвращения и ликвидации кольматации замагазинированной горнорудной массы. Для оперативного устранения кольматации и повышения степени аэрации замагазинированной руды предлагается использовать устройство для подачи в камеру водо-воздушной струи под высоким давлением, что приведет к встряхиванию рудного массива и разрушению образовавшихся связей между кусками руды. Предложены технические решения, внедрение которых позволяет повысить извлечение урана в раствор до 85 %.

Ключевые слова: беднобалансовые руды, подземное выщелачивание, рудоподготовка, скважины орошения, дренажные скважины, кольматация, аэрация камеры, фильтрация растворов, буровзрывные работы, взрывчатые вещества.

Для цитирования: Овсейчук В. А., Зозуля А. М. Совершенствование процесса блочного подземного выщелачивания в условиях Стрельцовского рудного поля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 3-1. – С. 26–33. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_31_0_26.

Improvement of in-situ leaching: a case-study of the streltsovo ore field

V. A. Ovseychuk¹, A. M. Zozulia¹,

¹ Transbaikal State University, Chita, Russia

Abstract: Uranium mining in the Streltsovo ore field using conventional physicochemical technologies resulted in depletion of high-grade ore, which scaled down efficiency of production. In the meanwhile, the crude and low-grade ore reserves are yet considerable. A conventional technological approach to such ore extraction is unprofitable. The physicochemical technologies make it possible to reduce expenses connected with natural uranium concentration from low-grade ore, which elevates production to a profitable level. However, the attempts to use the in-situ leaching technology on a large scale were crowned with no success. The analysis of the causes shows that the efficiency of the technology can be enhanced by way of improving ore pre-treatment by blasting based on new data on physical and mechanical properties of ore and rocks, as well as by using a dedicated prevention and elimination procedure of mudding in ore and rock shrinkage. For the prompt elimination of mudding and for the aeration stimulation of ore heap subjected to shrinkage, it is proposed to use a facility meant for feeding high-pressure air-and-water jet in a stope in order to shake the ore pile and to break bonding between ore particles. Introduction of the proposed engineering solutions can increase uranium recovery in pregnant solution up to 85%.

Key words: proven low-grade ore reserves, in-situ leaching, ore pre-treatment, drainage boreholes, mudding, stope aeration, solution seepage, drilling-and-blasting, explosives.

For citation: Ovseychuk V. A., Zozulia A. M. Improvement of in-situ leaching: a case-study of the streltsovo ore field. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(3-1):26–33. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_31_0_26.

Введение

Активные запасы Стрельцовской группы месторождений, обрабатываемые ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение», стремительно сокращаются. Рудные тела подземных рудников №№ 1 и 8 будут доработаны в ближайшие годы [1]. На дальнейший прирост запасов, по сведениям геологоразведочных работ, рассчитывать не приходится. В тоже время традиционно применяемая дорогостоящая система разработки нисходящими слоями с твердеющей закладкой имеет себестоимость добычи рядовых руд выше отпускной цены закись-окиси урана. Поэтому для Объединения актуальным является внедрение технологий, позволяющих добывать уран без существенного снижения производительности. Такой технологией может быть блочное подземное выщелачивание (БПВ).

Анализ процесса подземного блочного выщелачивания. Специалистами ПАО «ППГХО» был проанализирован текущий уровень обеспеченности предприятия минеральными ресурсами при различных вариантах рыночных цен на уран (рис. 1). Из графика видно, что доля запасов, пригодных для обработки способом блочного подземного выщелачивания, значительно превышает другие даже при снижении цен.

Однако опыт промышленного освоения способа блочного подземного выщелачивания в условиях ППГХО показал, что его главным недостатком является низкий коэффициент извлечения полезного компонента, составляющий приблизительно 50–60 %. Поэтому применение технологии блочного подземного выщелачивания возможно лишь в качестве дополнительной для доработки забалансовых и беднобалансовых руд. Тем не менее

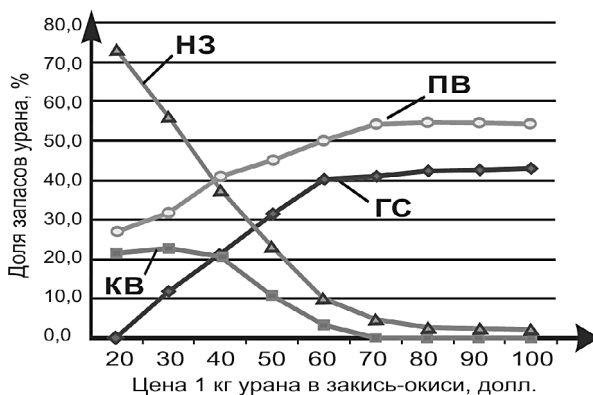


Рис. 1. Распределение запасов Стрельцовской группы месторождений от рыночной цены на 1 кг закись-оксида урана: НЗ — неактивные запасы; ПВ — подземное выщелачивание; ГС — горный способ; КВ — кучное выщелачивание
 Fig. 1. Distribution of reserves of the Streltsovskiy group of deposits from the market price for 1 kg of uranium nitrous oxide: NZ — inactive reserves; PV — underground leaching; GS — mining method; KV — heap leaching

даже при относительно низком коэффициенте извлечения промышленное внедрение блочного подземного выщелачивания способно увеличить долю извлекаемых запасов на 5–30 % при снижении себестоимости добычи в 1,2–1,5 раза.

Главным критерием возможности отработки запасов той или иной системой разработки является коэффициент экономической эффективности — отношение всех затрат на стадиях подготовки и отработки блока к ценности извлекаемого компонента [1]. Расчеты показывают, что при коэффициенте извлечения, равном 0,6, способ блочного подземного выщелачивания находится на уровне рентабельности (рис. 2).

Опыты по внедрению способа блочного подземного выщелачивания в Объединении начали проводиться с 1986 г., охватив участки месторождений «Юбилейное», «Лучистое», «Новогоднее», «Весеннее» и «Стрельцовское», но не получили широкого развития. В ходе испытаний были выявлены причины, повлиявшие на пони-

жение коэффициента извлечения урана из камер-магазинов, что сдерживает их промышленное внедрение. Применительно к рудоподготовке можно выделить следующие негативные факторы.

Во-первых, объем компенсационного пространства камеры №2 блока 4Д-701 оказался недостаточным (20 % объема камеры), что вызвало переуплотнение рудной массы [2].

Во-вторых, переуплотнение рудной массы негативно повлияло на фильтрацию продуктивных растворов вглубь массива; по той же причине в прибортовых зонах образовались проточные каналы, куда устремлялась значительная часть растворов.

В-третьих, гранулометрический состав камеры № 2 включал до 42 % фракции –50 мм, что могло стать причиной кольматации. Следует отметить, что параметры буровзрывных работ камеры №1/3 были аналогичны, кроме объема компенсационного пространства.

В-четвертых, одной из главных проблем блочного подземного выщелачивания является низкая степень аэрации,

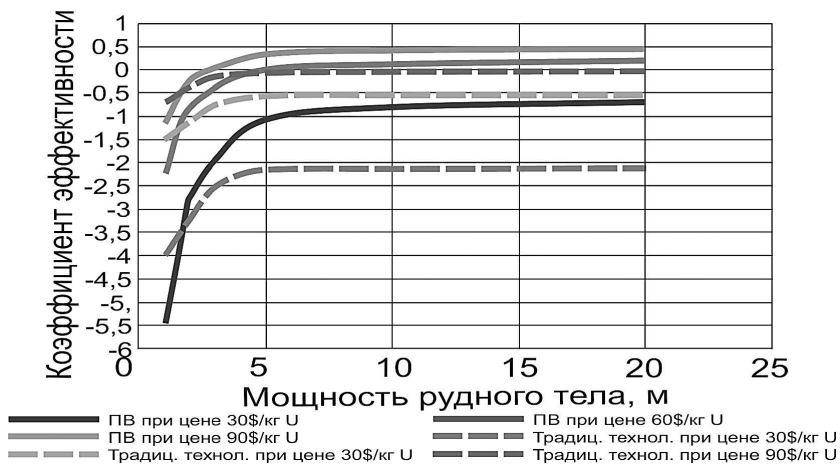


Рис. 2. Зависимость коэффициента экономической эффективности от мощности рудного тела
 Fig. 2. Dependence of the economic efficiency coefficient on the ore body capacity

что приводит к снижению интенсивности растворения урана. Таким образом, решение по повышению эффективности БПВ лежит в плоскости совершенствования буровзрывных работ и аэрации замагазинированной руды.

Пути совершенствования рудоподготовки под подземное блочное выщелачивание. Таким образом, одним из направлений совершенствования рудоподготовки блока под подземное выщелачивание можно считать повышение эффективности буровзрывных работ для выхода оптимального гранулометрического состава замагазинированной руды, а также оперативное устранение кольматации и повышение степени аэрации.

При выполнении проекта буровзрывных работ следует уделять особое внимание выходу оптимального класса крупности рудной массы. Мировой и отечественный опыт выщелачивания полезных компонентов из скальных руд показал, что наиболее эффективное просачивание рабочего раствора в отдельный кусок, когда происходит его полная проработка, возможна при диаметре 60–150 мм. Для этого следует принять во внимание расстоя-

ние между концами скважин и линию наименьшего сопротивления, рациональные для конкретного типа горных пород [3, 4].

Скважинный заряд в зависимости от своей конфигурации (диаметр, плотность и тип взрывчатого вещества) имеет индивидуальную работоспособность. Различные типы горных пород, в свою очередь, определяют степень бризантности данного заряда. Качественные показатели выхода класса крупности зависят от количественных характеристик физико-механических свойств горных пород. Поэтому при составлении схемы расположения зарядов для определения требуемых кондиций кусков необходимо учитывать расстояние, обеспечивающее заданную степень дробления – зону регулируемого дробления [5–7]. Этот параметр учитывает геологические и физико-механические особенности массива, глубину ведения работ, а также заданный диаметр кондиционного куска. Его следует использовать как коэффициент пропорциональности для расчета линии наименьшего сопротивления и расстояния между рядами скважин

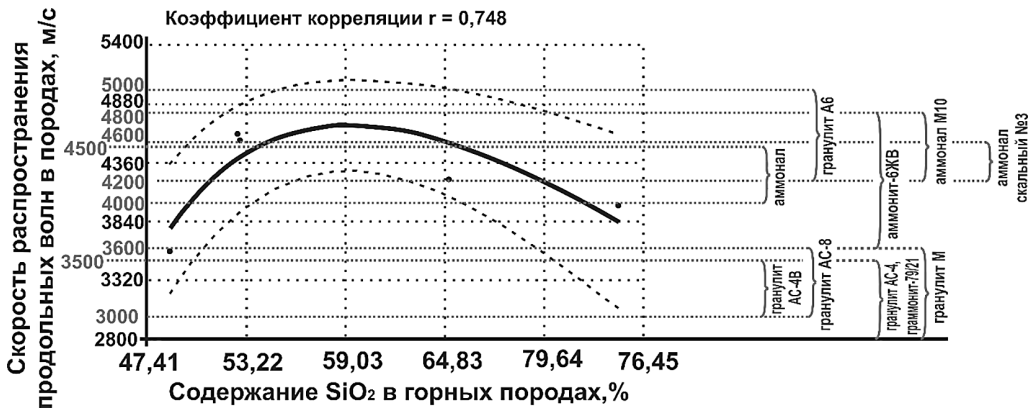


Рис. 3. Определение типа взрывчатого вещества для разных типов пород
 Fig. 3. Determining the type of explosive for different types of rocks

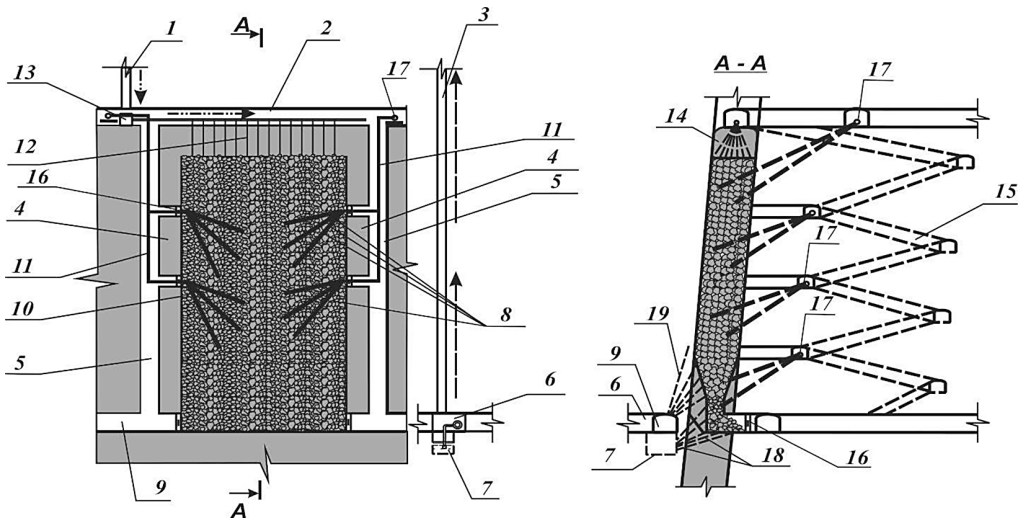


Рис. 4. Схема работы комплекса ГПЛЗ-2: 1 – закачная скважина; 2 – оросительный штрек; 3 – откачная скважина; 4 – МКЦ; 5 – материально-ходовой восстающий; 6 – насосная; 7 – растворосборник; 8 – воздухоподающие трубы; 9 – дренажный штрек; 10 – камера-магазин; 11 – воздухоподающая труба; 12 – скважины орошения; 13 – гаситель напора; 14 – потолочина; 15 – участковый съезд; 16 – изолирующая перемычка; 17 – камера ГПЛЗ; 18 – дренажные скважины; 19 – контрольные скважины
 Fig. 4. Scheme of complex GPLZ-2: 1 – injection well; 2 – irrigation drift; 3 – pumping well; 4 – MCC; 5 – material-running rising; 6 – pumping; 7 – solution collector; 8 – air supply pipes; 9 – drainage drift; 10 – store chamber; 11 – air supply pipe; 12 – irrigation wells; 13 – pressure dampener; 14 – ceiling; 15 – precinct exit; 16 – insulating jumper; 17 – GPLZ chamber; 18 – drainage wells; 19 – control wells

с выходом на оптимальные параметры буровзрывных работ.

Оптимальное дробление зависит, в том числе, от правильно подобранного типа взрывчатого вещества. Методика

его определения включает в себя расчет скорости распространения продольных волн в разных по типу горных породах, соответствующим скоростям детонации конкретного взрывчатого вещества

[8, 9]. На рис. 3 приведены рекомендуемые зоны распределения эффективной работы взрывчатых веществ для горных пород, состав которых определяется содержанием кварца (SiO_2), причем каждому значению процентного содержания кварца соответствует определенный тип пород: 48,73 % – конгломерат, 52,72 % – базальт, 52,85 % – андезит, 65,17 % – трахидацит, 75,13 % – фельзит [10].

Для борьбы с кольматацией отдельных участков камеры-магазина нами предлагается использование гидропневмоликвидатора зависаний ГПЛЗ-2 (разработанного ИПКОН АН СССР и Читинским филиалом ВНИПИ-горцветмет), который применяют для исключения зависаний при выпуске руды из блока. В нашем случае принцип его работы будет заключаться в подаче под высоким давлением водовоздушной смеси через полимерные высокопрочные трубы в места, наиболее подверженные кольматации (рис. 4).

Для этого из подэтажных выработок и восстающих следует произвести бурение скважин в разрыхленную руду с их одновременной обсадкой трубами [11, 12]. Высокую эффективность подобного способа бурения показала система одновременной обсадки скважин ООС-

145. При возникновении проблем в фильтрации или понижении дебета просачивания продуктивных растворов в дренажный горизонт следует произвести некоторое число профилактических выстрелов. Помимо сотрясательного воздействия на массив, комплекс ГПЛЗ будет дополнительно стимулировать на кислородное окисление массива, что благоприятно сказывается на процессе выщелачивания. Таким образом, решается сразу две задачи: борьба с кольматацией и дополнительная аэрация камеры.

Вывод

Предлагаемые технические решения могут оказать положительное влияние на равномерность распределения гранулометрического состава и предотвратить кольматационные процессы при длительном стоянии блока, что повышает коэффициент фильтрации. Дополнительный приток кислорода системой ГПЛЗ стимулирует растворение ураносодержащих минералов рабочими растворами. Таким образом, комплекс мероприятий по совершенствованию рудоподготовки камеры блочного подземного выщелачивания в перспективе создает условия для повышения степени извлечения полезного компонента до уровня 85 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Овсейчук В. А.* . Комплексная технология отработки скальных урановых руд с элементами подземной рудоподготовки. Монография. В. А. Овсейчук, В. В. Медведев, А. В. Бейдин, В. Е. Подопригора, Г. Г. Пирогов. / Чита. -ЗабГУ. – 2018. – 360 с.
2. *Медведев В. В.* Повышение эффективности подземного выщелачивания урановых руд регулированием параметров буровзрывных работ в процессе рудоподготовки блока // Чита: Вестник ЗабГУ. -2016. – Т -22. С. 4–13.
3. *Лизункин М. В.* Технологические схемы подготовки руды для блочного подземного выщелачивания при отработке месторождений Стрельцовского рудного поля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 3. – С. 31–35.
4. *A. Potysz, P. N. L. Lens, J. van de Vossen et al.*, "Comparison of Cu, Zn and Fe bioleaching from Cu-metallurgical slags in the presence of *Pseudomonas fluorescens* and *Acidithiobacillus thiooxidans*," *Applied Geochemistry*, vol. 68, pp. 39–52, 2016.

5. Лизункин М. В. Технологические схемы подготовки руды для блочного подземного выщелачивания при отработке месторождений Стрельцовского рудного поля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. № 3. — С. 297–305.
6. Справочник по геотехнологии урана / М. Н. Тедеев, Д. И. Скороваров, В. Г. Иванов и [др.]. М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1997. С. 319–336.
7. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries // Metallurgical and Mining Industry. — 2015. — № 7. P. 383–386.
8. Современные инновационные технологии добычи и переработки полезных ископаемых. Сборник докладов II научно-технической конференции. — М.: Горная книга. — 2015. — 328 с.
9. Логачев, А. В. Инновационные направления разработки рудных месторождений / В. И. Голик, А. В. Логачев // Цветная металлургия. — 2016. — № 1. — С.24–27.
10. Yang Y., Liu W., Bhargava S. K., Zeng W., and Chen M. “A XANES and XRD study of chalcopyrite bioleaching with pyrite,” Minerals Engineering, vol. 89, pp. 157–162, 2016.
11. Rodrigues M. L., Lopes K. C., Leôncio H. C., Silva L. A., and Leão V. A., “Bioleaching of fluoride-bearing secondary copper sulphides: column experiments with Acidithiobacillus ferrooxidans,” Chemical Engineering Journal, vol. 284, pp. 1279–1286, 2016.
12. Zou G., Papirio S., Lai X. et al. “Column leaching of low-grade sulfide ore from Zijinshan copper mine,” International Journal of Mineral Processing, vol. 139, article 2730, pp. 11–16, 2015. **MIAB**

REFERENCES

1. Ovsejchuk V. A. . *Kompleksnaya tekhnologiya otrabotki skal'nyh uranovyh rud s elementami podzemnoj rudopodgotovki* [Complex technology of mining of rock uranium ores with elements of underground ore preparation]. Monografiya. V. A. Ovsejchuk, V. V. Medvedev, A. V. Bejdin, V. E. Podoprigora, G. G. Pirogov. Chita. ZabGU. 2018. 360 p. [In Russ]
2. Medvedev V. V. Improving the efficiency of underground leaching of uranium ore control drilling and blasting parameters in the course of pretreatment of the Chita. Chita: Vestnik ZabGU. 2016. T. 22. pp. 4–13. [In Russ]
3. Lizunkin M. V. Technological schemes of ore preparation for block underground leaching during mining of Streltsovo ore field. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016. no. 3. pp. 31–35. [In Russ]
4. A. Potysz, P. N. L. Lens, J. van de Vossenberg et al., “Comparison of Cu, Zn and Fe bioleaching from Cu-metallurgical slags in the presence of Pseudomonas fluorescens and Acidithiobacillus thiooxidans,” Applied Geochemistry, vol. 68, pp. 39–52, 2016.
5. Lizunkin M. V. Technological schemes of ore preparation for block underground leaching when working out deposits of the Streltsovo ore field. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016. no. 3. pp. 297–305. [In Russ]
6. Tedeev M. N., Skorovarov D. I., Ivanov V. G. i dr. *Spravochnik po geotekhnologii urana* [Reference book on uranium Geotechnology]. Moscow: ENERGOATOMIZDAT, 1997. pp. 319–336. [In Russ]
7. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries. Metallurgical and Mining Industry. 2015. no. 7. P. 383–386.
8. *Sovremennye innovacionnye tekhnologii dobychi i pererabotki poleznyh iskopaemyh* [Modern innovative technologies for mining and processing of minerals]. Sbornik dokladov II nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Moscow: Gornaya kniga, 2015. 328 p. [In Russ]
9. Golik V. I., Logachev, A. V. Innovative directions of development of ore deposits. *Cvetnaya metallurgiya.* 2016. no. 1. pp. 24–27. [In Russ]

10. Y. Yang, W. Liu, S. K. Bhargava, W. Zeng, and M. Chen, "A XANES and XRD study of chalcopyrite bioleaching with pyrite," *Minerals Engineering*, vol. 89, pp. 157–162, 2016. [In Russ]

11. M. L. Rodrigues, K. C. Lopes, H. C. Leôncio, L. A. Silva, and V. A. Leão, "Bioleaching of fluoride-bearing secondary copper sulphides: column experiments with *Acidithiobacillus ferrooxidans*," *Chemical Engineering Journal*, vol. 284, pp. 1279–1286, 2016.

12. Zou G., Papirio S., Lai X. et al., "Column leaching of low-grade sulfide ore from Zijinshan copper mine," *International Journal of Mineral Processing*, vol. 139, article 2730, pp. 11–16, 2015.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Овсеичук Василий Афанасьевич*¹ — докт. техн. наук, профессор кафедры «Подземной разработки месторождений полезных ископаемых», mks3115637@yandex.ru;

*Зозуля Артем Михайлович*¹ — аспирант кафедры «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых», mr.hunter.82@mail.ru;

¹ Забайкальский государственный университет, Чита, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ovseychuk V. A., Dr. Sci. (Eng.), professor of Underground Mining department;

Zozulia A. M., graduate student Underground Mining department;

Transbaikal State University, Chita, Russia.

Получена редакцией 23.10.2020; получена после рецензии 29.12.2020; принята к печати 10.02.2021.

Received by the editors 23.10.2020; received after the review 29.12.2020; accepted for printing 10.02.2021.

