

Леса России и хозяйство в них. 2023. № 2. С. 83–90.

Forests of Russia and economy in them. 2023. № 2. P. 83–90.

Научная статья

DOI: 10.51318/FRET.2023.74.28.010

УДК 630.6; 332.14; 334.7

## РАЗВИТИЕ МАЛОГО ЛЕСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА КЛАСТЕРНОЙ ОСНОВЕ

Андрей Вениаминович Мехренцев<sup>1</sup>, Эдуард Федорович Герц<sup>2</sup>,  
Алина Флоритовна Уразова<sup>3</sup>, Валерия Николаевна Беляева<sup>4</sup>,  
Оксана Дмитриевна Авдюкова<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Алина Флоритовна Уразова,  
urazovaaf@m.usfeu.ru

**Аннотация.** Одним из путей решения задачи уменьшения карбонового следа является формирование модели интенсивного лесопользования путем комплексного освоения лесных ресурсов, включая переход к технологиям с производством нормированного древесного топлива и создание эффективной транспортно-логистической модели. В данной работе рассмотрен проект организационно-технологической модели лесохимического кластера на примере создания кооперационных цепочек по производству высокотехнологической продукции предприятиями лесного сектора экономики в границах Свердловской и Челябинской областей. Использование дровяной древесины, отходов лесоперерабатывающих производств и лесосечных отходов для производства высокотехнологичной продукции существенно повышает экономическую эффективность и экологическую устойчивость лесного комплекса всего региона. Основу лесохимического кластера могут составить предприятия, применяющие в технологическом процессе переработки древесины взрывной автогидролиз. Полученные в результате раствор сахаров и твердая фракция, состоящая из целлюлозы и лигнина, перерабатываются на кормовые дрожжи и нормированное топливо в виде пеллет или прессованного древесного угля. Эти продукты находят широкое применение в сельском хозяйстве и черной металлургии. Древесный уголь в виде порошка добавляется в железную руду при производстве окатышей и может успешно применяться при производстве качественного ковкого чугуна на металлургических предприятиях средней и малой мощности. Применение древесного угля в металлургии повышает качество отечественного металла и снижает углеродный след.

**Ключевые слова:** древесное биотопливо, древесный уголь, лесохимический кластер, низкокачественная древесина, автогидролиз

Scientific article

## DEVELOPMENT OF SMALL TIMBER-CHEMICAL PRODUCTION ON A CLUSTER BASIS

Andrey V. Mehrentsev<sup>1</sup>, Edward F. Gertz<sup>2</sup>, Alina F. Urazova<sup>3</sup>,  
Valeria N. Beliaeva<sup>4</sup>, Oksana D. Avdyukova<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Alina Floritovna Urazova,  
urazovaaf@m.usfeu.ru

**Abstract.** One of the ways to solve the problem of reducing the carbon footprint is the formation of an intensive forest management model through integrated development of forest resources, including the transition to technologies with the production of rationed wood fuel and the creation of an efficient transport and logistics model. In this paper, we consider the project of organizational and technological model of forest chemical cluster on the example of creating cooperative chains for the production of high-tech products by forest sector enterprises within the borders of the Sverdlovsk and Chelyabinsk regions. The use of firewood, timber processing waste and forest residues for the production of high-tech products significantly increases the economic efficiency and environmental sustainability of the forestry complex of the entire region. The basis of the timber-chemical cluster can be formed by the enterprises that use explosive auto-hydrolysis in the technological process of wood processing. The resulting solution of sugars and the solid fraction consisting of cellulose and lignin are processed into fodder yeast and normalized fuel in the form of pellets or pressed charcoal. These products are widely used in agriculture and the iron and steel industry. Charcoal in powder form is added to iron ore in the production of pellets and can be successfully used in the production of quality malleable iron at metallurgical plants of medium and small capacity. The use of charcoal in metallurgy improves the quality of domestic metal and reduces the carbon footprint.

**Keywords:** wood biofuel, charcoal, wood chemical cluster, low-quality wood, autohydrolysis

### Введение

Современная российская экономика в значительной мере зависит от ископаемого топлива, что формирует большой неиспользованный потенциал для повышения энергоэффективности и перехода на технологические процессы с низким или нейтральным уровнем выбросов парниковых газов. В Стратегии развития лесного комплекса (2021) приоритетами научно-технологического развития обозначены формирование модели интенсивного лесопользования путем комплексного освоения лесных ресурсов, а также переход к биотопливным технологиям с производством современного нормированного древесного топлива и созданием эффективной транспортно-логистической модели. При этом леса России рассматриваются как ключевой фактор сокращения выбросов углекислого газа более чем на 80 % к 2050 г. Для выполнения

задач глобальной декарбонизации промышленности в отношении российских лесов важно решение двух основных задач:

- увеличение поглощения углерода управляемыми лесными экосистемами;
- увеличение производства и потребления древесного биотоплива, использование современных биопродуктов на основе технологий переработки древесного сырья, которые могли бы частично или полностью заместить использование углеродоемких материалов.

В данном исследовании считаем важным обратить внимание на развитие на предприятиях лесного сектора экономики производства биопродуктов, полученных в результате лесохимических технологий. При этом кластерный подход в организации технологических процессов и производств позволяет существенным образом

продвинуть решение проблемы создания высокотехнологичных лесохимических производств, продукция которых обладала бы признаками импортозамещающей и востребованной приоритетными отраслями на внутрисоссийском рынке. Тем более что в современных условиях особая роль в обеспечении финансовой поддержки высокотехнологических проектов импортозамещения отводится государственным институтам.

Исследования состояния и современных условий работы конкурентоспособных кластеров в лесном секторе экономики, машиностроении, химическом производстве, пищевой промышленности, туристическом бизнесе и других отраслях позволили прогнозировать ожидаемые социально-экономические эффекты в процессе развития импортозамещающих кластеров (Бутко, 2012; Инновационные кластеры..., 2022; Еникеева, 2017; Резанов, 2016; Биоэнергетическая база..., 2023).

Лесохимическое производство использует в качестве сырья технологическое сырье из низкокачественной древесины, в том числе лесосечных отходов, что существенно влияет на снижение лесопожарных угроз за счет сокращения объемов горючей биомассы на лесосеках после завершения лесосечных работ. Применение при заготовке технологического сырья для лесохимического производства адаптивных технологий лесозаготовок, обеспечивающих минимизацию лесосечных отходов на лесосеке, сохранение компонентов природной среды, содействующих омоложению древесной растительности, оставляемой на доращивание, снижает возникновение природных пожаров.

По оценке специалистов Росгидромета, повышение эффективности защиты лесов от пожаров может сократить выбросы парниковых газов на 65–115 млн т С в год; изменение технологий лесозаготовок, уменьшение повреждения почв и сокращение количества древесных отходов могут обеспечить снижение выбросов на 27–29 млн т С в год.

#### **Цель, задачи, методика и объекты исследования**

Целью проведения настоящего исследования является разработка проекта организационно-

технологической модели лесохимического кластера на примере создания кооперационных цепочек по производству высокотехнологической продукции предприятиями лесного сектора экономики в границах Свердловской и Челябинской областей.

Задачи проекта:

- снижение лесопожарных угроз в лесах за счет эффективного удаления и переработки горючей древесной массы (лесосечных отходов, больных, поврежденных, перестойных деревьев);
- улучшение качественного состояния лесов за счет снижения площади лесов, не пройденных рубками ухода;
- обеспечение возможности наращивания производства деловых круглых лесоматериалов для обеспечения лесопильных, фанерных, целлюлозно-бумажных производств за счет создание пула эффективных предприятий – утилизаторов неликвидной древесины на территории Свердловской и Челябинской областей;
- рост освоения расчетной лесосеки;
- производство высокотехнологичной продукции, обладающей признаками импортозамещающей для российского рынка;
- создание рабочих мест на предприятиях среднего и малого предпринимательства Урала;
- развитие удаленных муниципальных образований на лесных территориях.

Особенности формирования лесохимического кластера Урала:

- формирующееся ядро перерабатывающих предприятий, ориентированных преимущественно на лесохимическую переработку лиственной низкосортной древесины и лесосечных отходов;
- развитие межрегионального сотрудничества и кооперации;
- приоритет биоэнергетических (производство тепловой энергии и нормированного древесного топлива) и лесохимических (древесный уголь) производств с учетом необходимости переработки больших объемов низкосортного сырья для получения возможности увеличения заготовки деловой древесины;
- развитие малых подрядных лесозаготовительных производств, ориентированных на сырьевое

обеспечение местных лесопереработчиков и производство технологической щепы из отходов лесозаготовок;

– производство продукции, востребованной предприятиями металлургии и сельского хозяйства как приоритетно развивающимися;

– наличие собственной научно-производственной, исследовательской и инжиниринговой базы лесохимического кластера на базе Уральского лесотехнического университета;

– эффективное многоуровневое кадровое обеспечение кластера за счет университетского научно-образовательного лесотехнического комплекса.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Синергетический эффект проекта характеризуется созданием в агропромышленном комплексе регионов предпосылок для реализации технологии биочар в земледелии, применения биоактивных кормовых добавок местного производства в животноводстве. Это особенно важно для развития агропроизводства в условиях Нечерноземья.

Важный синергетический эффект окажет лесохимический кластер на производство качественных металлов, мощности которого традиционно размещаются в границах лесных земель Среднего и Южного Урала. Применение древесно-угольных окатышей, а также в качестве восстановителя древесно-угольного дутья или древесно-угольных брикетов позволит на новом технологическом уровне наращивать производство ковкого чугуна и качественных сталей, свободных от фосфорных и сернистых соединений. В качестве примера применения древесного угля в современном металлургическом производстве можно рассмотреть данные табл. 1 (Экономика: развитие металлургии, 2023).

Наращивание древесно-угольной массы повлияет и на производство сорбентов для очистки вод и воздуха от токсинов и загрязнителей, что особенно важно для Уральского региона. Одновременно может быть реализован метод сквозной секвестрации углерода для промышленных технологических цепочек.

Сырьевое обеспечение лесохимического кластера оценивается по величине размера допустимого ежегодного пользования в границах лесных земель регионов (табл. 2) (Лесной план Челябинской области..., 2023; Лесной план Свердловской области..., 2023).

Первые металлургические заводы на Урале появились в начале XVIII в. в лесных поселках вдоль Уральского хребта. Наличие углевыжигательных предприятий при богатой лесосырьевой базе позволило создать к 30-м годам XVIII в. шесть предприятий, ориентированных на железоплавильное производство: Шуралинский, Быньговский, Выйский, Нижнетагильский, Нижнелайский, Верхнетагильский заводы (Демидовские заводы, 2023). В XIX–XX вв. появились заводы в Верхнем Уфалее, Кыштыме, Карабаше, Златоусте, Сатке, Миассе, Катав-Ивановском, Аше. Таким образом была создана дуга уральских металлургических производств, которая соединила г. Серов (бывш. Надеждинск) и города Челябинской области до границы с Башкирией. Эта дуга проходит через лесные земли Свердловской и северо-запада Челябинской областей. Далеко не все предприятия дожили до сегодняшнего дня, не выдержав конкуренции. Но те, которые работают, могут, опираясь на производство высококачественного металла, успешно конкурировать и в современных условиях. Следовательно, можно говорить о потенциальном внутреннем рынке древесно-угольной продукции якорных предприятий лесохимического кластера Урала.

Основу лесохимического кластера должны составить предприятия, применяющие в технологическом процессе переработки древесины взрывной автогидролиз. Это кратковременная обработка измельченной древесной массы в виде древесной щепы или опилок перегретым водяным паром с последующим быстрым снижением давления до атмосферного.

Данный процесс происходит в интервале температур 180–250 °С с последующим резким сбросом давления – «выстрелом» обработанного материала в приемник. Вследствие этого процесс получил название взрывной автогидролиз, или парокрекинг (рисунок).

Таблица 1

Table 1

Показатели работы бразильских доменных печей на древесном угле  
Performance of Brazilian charcoal-fired blast furnaces

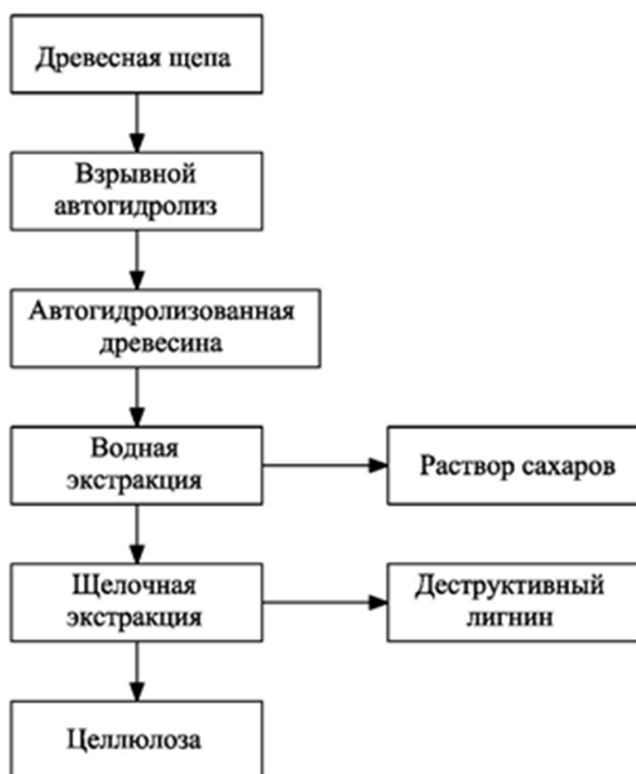
Показатель Indicator	MSA № 2, Белу-Оризонте Belo Horizonte	Gerdau № 1, Дивинополис Divinopolis	Sidersul № 1, Рибас ду Риу Парду Ribas do Rio Pardo
Полезный объем, м <sup>3</sup> Useful volume, m <sup>3</sup>	250	118	136
Вид выплавляемого чугуна Type of cast iron	Передельный Redesigned	Передельный Redesigned	Передельный, литейный Remelting, foundry
Год начала эксплуатации Year of operation	1986	1982	1990
Наилучшая среднemesячная производительность, т/(м <sup>3</sup> ·сут) Best average monthly performance, t/(m <sup>3</sup> ·day)	2,83	2,20	2,28
Древесный уголь: Charcoal:			
крупность, мм coarseness, mm	10–25	12–120	12–120
зольность, % ash content, %	2	3	4
Кусковая руда: Lump ore:			
крупность, мм coarseness, mm	6–32	9–25	9–25
содержание Fe, % Fe content, %	66,5	65,0	66,5
Температура дутья, °С Blow temperature, °С	800	750	700
Расход древесного угля, кг/т чугуна Charcoal consumption, kg/t pig iron	640	630	637

Таблица 2

Table 2

Сырьевое обеспечение проекта  
Raw materials for the project

Показатель Indicator	Свердловская область Sverdlovsk region	Челябинская область Chelyabinsk region
Общий запас древесины, млн м <sup>3</sup> Total stock of timber, mln m <sup>3</sup>	2096,6	441,5
Размер допустимого ежегодного пользования, млн м <sup>3</sup> Amount of allowable annual use, mln m <sup>3</sup>	24,8	2,01
Фактический средний объем ежегодной заготовки, млн м <sup>3</sup> Actual average volume of annual harvest, mln m <sup>3</sup>	6,90	1,17



Структурная схема автогидролиза  
Structural diagram of autohydrolysis

Преимуществами такого процесса по сравнению с традиционными технологиями гидролизных производств являются быстрота процесса (протекает в течение нескольких секунд или минут), отсутствие химических реагентов, что обеспечивает экологическую чистоту процесса (Переработка древесных отходов..., 2023).

Последующая водная экстракция продуктов автогидролиза позволяет отделить раствор сахаров и оставшуюся твердую фракцию, состоящую из целлюлозы и лигнина. Сахара перерабатываются на кормовые дрожжи (из одной тонны древесной массы производится около 60 кг кормовых белковых дрожжей), или экспортируется черный сироп как полуфабрикат для производства других высокотехнологичных продуктов.

Твердая фракция высушивается, и из нее производятся черные пеллеты или прессованный древесный уголь в установках непрерывного действия. Черные пеллеты характеризуются повышенной теплотворной способностью порядка 19 ГДж/т при 5 %-ной влажности, а также повы-

шенной насыпной плотностью порядка 750 кг/м<sup>3</sup>. Эти качества позволяют использовать их как высокоэффективное биотопливо. Как вариант дальнейшей переработки твердой фракции – проведение щелочной экстракции деструктивного лигнина и целлюлозы.

В результате из одной тонны твердой автогидролизованной древесной массы можно произвести 120–150 кг мелкофракционного древесного угля.

Древесный уголь в виде порошка добавляется в железную руду при производстве окатышей и может успешно применяться при производстве качественного ковкого чугуна на металлургических предприятиях средней и малой мощности. В классической технологии доменного производства может быть применено также пылеугольное дутье смесью древесного и каменного угля, что снизит долю сернистых соединений, ухудшающих качество металла. Возможна также полная или частичная замена каменного угля в доменном производстве прессованными древесно-угольными брикетами, плотность которых выше плотности естественного древесного угля. Применение древесного угля в металлургии повышает качество металла и снижает углеродный след отечественной металлургии.

Применение древесного угля в сельском хозяйстве можно рассматривать в качестве кормовой добавки в животноводстве, а также в растениеводстве в рамках технологии биочар. Наличие карбоновой добавки в почве стабилизирует водный баланс, а также препятствует вымыванию удобрений. Это особенно актуально в условиях низкопродуктивных почв и нестабильной погоды Нечерноземья.

### Выводы

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод о высокой эффективности реализации проекта создания лесохимического кластера, имеющего синергетический эффект в смежных отраслях промышленности и сельского хозяйства, а также снижающего лесопожарные угрозы за счет переработки биомассы лесосечных отходов, прежде оставляемых на лесосеках.

### Список источников

- Биоэнергетическая база сельских территорий в контексте стратегии развития лесного комплекса (на примере Свердловской области) / *А. В. Мехренцев, А. А. Добрачев, А. Ф. Уразова, Г. В. Кашиников* // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 1. С. 81–87.
- Бутко Г. П.* Конкуренция: теория, методология, практика : моногр. Екатеринбург : НОУ ВПО «УрФЮИ», 2012. 342 с.
- Демидовские заводы. URL: <https://fb.ru/article/247128/demidovskie-zavodyi-opisanie-istoriya-produktsiya-i-otzyivyi> (дата обращения: 24.02.23).
- Еникеева О. А.* Методы оценки инвестиционной привлекательности предприятия // Аллея науки. 2017. Т. 2. № 9. С. 295–304.
- Инновационные кластеры по рациональному использованию сырья на уровне региона / *Г. П. Бутко, А. В. Мехренцев, В. М. Шаранова, Н. В. Шаранова* // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 6 (390). С. 609–613.
- Лесной план Свердловской области. URL: <https://docs.cntd.ru/document/561550939> (дата обращения: 24.02.23).
- Лесной план Челябинской области. URL: <http://лес74.рф/htmlpages/Show/activities/LESNOEPLANIROVANIE/LESNOJPLAN> (дата обращения: 24.02.23).
- Переработка древесных отходов с использованием метода взрывного автогидролиза. URL: <http://gazogenerator.com/energeticheskoe-ispolzovanie-biomassy/pererabotka-drevesnyx-otxodov-s-ispolzovaniem-metoda-vzryvnogo-avtogidroliza/> (дата обращения: 24.02.23).
- Резанов К. В.* Методологический подход к обеспечению устойчивого развития кластерной модели лесного комплекса региона // Управление экономическими системами: электрон. науч. журнал. 2016. № 4 (86). С. 1–33.
- Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года : распоряжение Правительства Российской Федерации № 312-р от 11.02.2021 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573658653> (дата обращения: 24.02.2023).
- Экономика: развитие металлургии. URL: <https://metalspace.ru/production-science/economy/991-drevesnougolnaya-metallurgiya.html> (дата обращения: 24.02.23).

### References

- Bioenergetic base of rural areas in the context of the development strategy of forestry complex (on the example of Sverdlovsk region) / *A. V. Mekhrentsev, A. A. Dobrachev, A. F. Urazova, G. V. Kashnikov* // Forests of Russia and economy in them. 2023. № 1. P. 81–87. (In Russ.)
- Butko G. P.* Competition: theory, methodology, practice : monograph. Yekaterinburg : SPE «UrFYU», 2012. 342 p.
- Demidovsky Zavody. URL: <https://fb.ru/article/247128/demidovskie-zavodyi-opisanie-istoriya-produktsiya-i-otzyivyi> (date of the application: 24.02.23).
- Economics: development of metallurgy. URL: <https://metalspace.ru/production-science/economy/991-drevesnougolnaya-metallurgiya.html> (date of the application: 24.02.23).
- Enikeeva O. A.* Methods for assessing the investment attractiveness of the enterprise // Alley of Science. 2017. Т. 2. № 9. P. 295–304. (In Russ.)
- Forest plan of Chelyabinsk region. URL: <http://лес74.рф/htmlpages/Show/activities/LESNOEPLANIROVANIE/LESNOJPLAN> (date of the application: 24.02.23).
- Forest plan of the Sverdlovsk Region. URL: <https://docs.cntd.ru/document/561550939> (date of the application: 24.02.23).

- Innovation clusters on the rational use of raw materials at the regional level / *G. P. Butko, A. V. Mekhrentsev, V. M. Sharapova, N. V. Sharapova* // International Agricultural Journal. 2022. № 6 (390). P. 609–613. (In Russ.)
- Processing of wood waste using the method of explosive autohydrolysis. URL: <http://gazogenerator.com/energeticheskoe-ispolzovanie-biomassy/pererabotka-drevesnyx-otxodov-s-ispolzovaniem-metoda-vzryvnogo-avtogidroliza/> (date of the application: 24.02.23).
- Rezanov K. V.* Methodological approach to the sustainable development of the cluster model of the forest complex of the region // Management of economic systems : electronic scientific journal. 2016. № 4 (86). P. 1–33. (In Russ.)
- Strategy for the development of the forestry complex of the Russian Federation until 2030. Decree of the Government of the Russian Federation № 312-r of 11.02.2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573658653> (date of the application: 24.02.2023).

#### ***Информация об авторах***

- A. B. Мехренцев – кандидат технических наук, доцент,*  
[mehrentsevav@m.usfeu.ru](mailto:mehrentsevav@m.usfeu.ru), <http://orcid.org/0000-0002-2186-0152>;
- Э. Ф. Герц – доктор технических наук, профессор,*  
[gertsef@m.usfeu.ru](mailto:gertsef@m.usfeu.ru), <http://orcid.org/0000-0003-0434-7282>;
- A. Ф. Уразова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,*  
[urazovaaf@m.usfeu.ru](mailto:urazovaaf@m.usfeu.ru), <http://orcid.org/0000-0003-2771-2334>;
- В. Н. Беляева – студент,*  
[lera44720@gmail.com](mailto:lera44720@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0005-7217-6624>;
- О. Д. Авдюкова – аспирант,*  
[avdyukovaod@gmail.com](mailto:avdyukovaod@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-0742-3455>.

#### ***Information about the authors***

- A. V. Mekhrentsev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,*  
[mehrentsevav@m.usfeu.ru](mailto:mehrentsevav@m.usfeu.ru), <http://orcid.org/0000-0002-2186-0152>;
- E. F. Gertz – Doctor of Technical Sciences, Professor,*  
[gertsef@m.usfeu.ru](mailto:gertsef@m.usfeu.ru), <http://orcid.org/0000-0003-0434-7282>;
- A. F. Urazova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,*  
[urazovaaf@m.usfeu.ru](mailto:urazovaaf@m.usfeu.ru), <http://orcid.org/0000-0003-2771-2334>;
- V. N. Belyaeva – student,*  
[lera44720@gmail.com](mailto:lera44720@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0005-7217-6624>;
- O. D. Avdyukova – Postgraduated student,*  
[avdyukovaod@gmail.com](mailto:avdyukovaod@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-0742-3455>.

*Статья поступила в редакцию 16.03.2023; принята к публикации 16.04.2023.*

*The article was submitted 16.03.2023; accepted for publication 16.04.2023.*

---

---