



Уральский государственный  
аграрный университет

# АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN  
OF THE URALS**

**2023  
№06 (235)**

ISSN (print) 1997-4868  
e ISSN 2307-0005

**Сведения о редакционной коллегии**

**И. М. Донник** (главный редактор), академик РАН, вице-президент РАН (Москва, Россия)  
**О. Г. Лоретц** (заместитель главного редактора), ректор Уральского ГАУ (Екатеринбург, Россия)  
**П. Сотони** (заместитель главного редактора), доктор ветеринарных наук, профессор, академик Венгерской академии наук, академик Польской медицинской академии, ректор, Университет ветеринарной медицины Будапешта (Будапешт, Венгрия)

**Члены редакционной коллегии**

**Н. В. Абрамов**, Государственный аграрный университет Северного Зауралья (Тюмень, Россия)  
**Р. З. Аббас**, Сельскохозяйственный университет (Фейсалабад, Пакистан)  
**В. Д. Богданов**, член-корреспондент РАН, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург, Россия)  
**В. Н. Большаков**, академик РАН, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)  
**О. А. Быкова**, Уральский ГАУ (Екатеринбург, Россия)  
**Э. Д. Джавадов**, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт птицеводства (Ломоносов, Россия)  
**Л. И. Дроздова**, Уральский ГАУ (Екатеринбург, Россия)  
**Н. Н. Зезин**, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Екатеринбург, Россия)  
**С. Б. Исмуратов**, Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова (Костанай, Казахстан)  
**В. В. Калашников**, академик РАН, Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства (Рязань, Россия)  
**А. Г. Кошаев**, Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия)  
**В. С. Мымрин**, ОАО «Уралплемцентр» (Екатеринбург, Россия)  
**А. Г. Нежданов**, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии Россельхозакадемии (Воронеж, Россия)  
**М. С. Норов**, Таджикский аграрный университет имени Шириншох Шотемур (Душанбе, Таджикистан)  
**В. С. Паштецкий**, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (Симферополь, Россия)  
**Ю. В. Плугатарь**, член-корреспондент РАН, член Совета при Президенте Российской Федерации по науке и образованию, начальник Отдела РАН по взаимодействию с научными организациями Крыма и города федерального значения Севастополя, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН (Ялта, Россия)  
**О. А. Рущицкая**, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)  
**А. А. Стекольников**, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)  
**В. Г. Тюрин**, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии (Москва, Россия)  
**И. Г. Ушачев**, академик РАН, Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства (Москва, Россия)  
**С. В. Шабунин**, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии Россельхозакадемии (Воронеж, Россия)  
**И. А. Шкуратова**, Уральский научно-исследовательский ветеринарный институт (Екатеринбург, Россия)

**Editorial board**

**Irina M. Donnik** (Editor-in-Chief), Academician of the Russian Academy of Sciences, Vice President of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)  
**Olga G. Lorets** (Deputy Chief Editor), rector of the Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)  
**Péter Sótonyi** (Deputy chief editor), doctor of veterinary sciences, professor, academician of Hungarian Academy of Sciences, academician of Polish Medical Academy, rector, University of Veterinary Medicine of Budapest (Budapest, Hungary)

**Editorial Team**

**Nikolay V. Abramov**, Northern Trans-Ural State Agricultural University (Tyumen, Russia)  
**Rao Zahid Abbas**, University of Agriculture (Faisalabad, Pakistan)  
**Vladimir D. Bogdanov**, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russia)  
**Vladimir N. Bolshakov**, Academician of the Russian Academy of Sciences; Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (Ekaterinburg, Russia)  
**Olga A. Bykova**, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)  
**Eduard D. Dzhavadov**, All-Russian Research and Technological Poultry Institute (Lomonosov, Russia)  
**Lyudmila I. Drozdova**, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)  
**Nikita N. Zezin**, Ural Research Institute of Agricultural (Ekaterinburg, Russia)  
**Sabit B. Ismuratov**, Kostanay Engineering and Economics University named after M. Dulatov (Kostanay, Kazakhstan)  
**Valeriy V. Kalashnikov**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, the All-Russian Research Institute for Horsebreeding (Ryazan, Russia)  
**Andrey G. Koshchayev**, Kuban State Agrarian University (Krasnodar, Russia)  
**Vladimir S. Mymrin**, “Uralplemstentr” (Ekaterinburg, Russia)  
**Anatoliy G. Nezhdanov**, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy of the Russian Academy of Agricultural Sciences (Voronezh, Russia)  
**Mastibek S. Norov**, Tajik Agrarian University named after Shirinsho Shotemur (Dushanbe, Tajikistan)  
**Vladimir S. Pashtetstskiy**, Research Institute of Agriculture of Crimea (Simferopol, Russia)  
**Yuriy V. Plugar**, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, member of the Presidential Council for Science and Education, Head of the Department of the Russian Academy of Sciences for Cooperation with Scientific Organizations of Crimea and Sevastopol, The Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of Russian Academy of Sciences (Yalta, Russia)  
**Olga A. Ruschitskaya**, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)  
**Anatoliy A. Stekolnikov**, Saint Petersburg State Academy of Veterinary Medicine (Saint Petersburg, Russia)  
**Vladimir G. Tyurin**, All-Russian Research Institute for Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology (Moscow, Russia)  
**Ivan G. Ushachev**, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Agricultural Economics (Moscow, Russia)  
**Sergey V. Shabunin**, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology And Therapy of the Russian Academy of Agricultural Sciences (Voronezh, Russia)  
**Irina A. Shkuratova**, Ural Research Veterinary Institute (Ekaterinburg, Russia)

**Нас индексируют / Indexed**

ВЫСШАЯ  
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)  
При Министерстве образования и науки  
Российской Федерации



Food and Agriculture Organization  
of the United Nations



ULRICHSWEB™  
GLOBAL SERIALS DIRECTORY



Содержание	Contents
<b>Агротехнологии</b>	
<p><i>Т. А. Виноградова, Т. А. Кудряшова, Н. Н. Козьякова</i> Анализ сортов льна-долгунца по выходу и качеству волокна при переработке льнотресты</p>	<p><i>T. A. Vinogradova, T. A. Kudryashova, N. N. Kozyakova</i> Analysis of fiber flax varieties in terms of fiber yield and quality in the processing of flax straw</p>
<p><i>Л. Р. Гулуева</i> Технология улучшения деградированных горных лугов и пастбищ Центрального Кавказа</p>	<p><i>L. R. Gulueva</i> Technology for improving degraded mountain meadows and pastures in the Central Caucasus</p>
<p><i>С. Н. Крючков, А. С. Соломенцева, А. К. Романенко</i> Внутривидовые скрещивания выделенных биотипов родов вяз и тополь для получения гетерозисных селекционных форм</p>	<p><i>S. N. Kruychkov, A. S. Solomentseva, A. K. Romanenko</i> Intraspecific crosses of selected biotypes of the <i>Ulmus</i> and <i>Populus</i> genera to obtain heterotic breeding forms</p>
<p><i>С. И. Смуров, О. В. Григоров, С. Н. Ермолаев</i> Влияние изменений климата на урожайность культур и запасы почвенной влаги</p>	<p><i>S. I. Smurov, O. V. Grigоров, S. N. Ermolaev</i> The influence of climate change on crop yields and soil moisture reserves</p>
<b>Биология и биотехнологии</b>	
<p><i>О. А. Быкова, О. В. Костюнина, А. В. Степанов, О. А. Шевкунов</i> Идентификация SNP, ассоциированных с воспроизводительной способностью крупного рогатого скота</p>	<p><i>O. A. Bykova, O. V. Kostyunina, A. V. Stepanov, O. A. Shevkunov</i> Identification of SNPs associated with the reproductive ability of cattle</p>
<p><i>М. В. Бытов, О. В. Соколова, Н. А. Безбородова, А. С. Красноперов, А. Г. Исаева</i> Методы генотипирования крупного рогатого скота для post-GWAS аннотирования SNPs</p>	<p><i>M. V. Bytov, O. V. Sokolova, N. A. Bezborodova, A. S. Krasnoperov, A. G. Isaeva</i> Cattle genotyping methods for post-GWAS annotation of SNPs</p>
<p><i>О. В. Зинина, Е. А. Вишнякова, О. П. Неверова</i> Исследование свойств биоразлагаемых альгинатных пленок с активным компонентом</p>	<p><i>O. V. Zinina, E. A. Vishnyakova, O. P. Neverova</i> Study of the properties of biodegradable alginate films with an active component</p>
<p><i>А. А. Реут, И. Н. Аллаярова, А. Р. Биглова</i> Влияние стимулятора роста на биолого- морфологические параметры многолетних травянистых растений</p>	<p><i>A. A. Reut, I. N. Allayarova, A. R. Biglova</i> Influence of a growth stimulator on the biological and morphological parameters of perennial herbaceous plants</p>
<b>Экономика</b>	
<p><i>Л. Б. Винничек, Н. Л. Смелик</i> Дифференциация этапов трансформации в сельском хозяйстве</p>	<p><i>L. B. Vinnichek, N. L. Smelik</i> Differentiation of the transformation stages in agriculture</p>
<p><i>Д. Ю. Самыгин, А. А. Иванов, Е. В. Губанова</i> Стратегические прогнозы частичного равновесия физической и экономической доступности продукции</p>	<p><i>D. Yu. Samygin, A. A. Ivanov, E. V. Gubanova</i> Strategic forecasts of partial equilibrium of the products physical and economic accessibility</p>

## Анализ сортов льна-долгунца по выходу и качеству волокна при переработке льнотресты

Т. А. Виноградова<sup>1</sup>✉, Т. А. Кудряшова<sup>1</sup>, Н. Н. Козьякова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральний научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

✉ E-mail: info.trk@fncl.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования по определению технологического качества льнотресты в 553 партиях 35 сортов льна-долгунца при первичной переработке в производственных условиях. **Цель исследования** – анализ сортов льна-долгунца по выходу и качеству волокна при переработке льнотресты различного качества для разработки предложений по выбору оптимального варианта использования ее по назначению в интересах потребителя. **Методы.** Объектом исследования являлась льнотреста и продукты ее переработки – длинное и короткое волокно. Признаки технологического качества льнотресты определялись по действующим стандартам. **Результаты.** При сравнении нормированных и фактических значений признаков технологического качества льнотресты установлено, что в среднем по всем представленным сортам плановые показатели выполняются по выходу короткого волокна на 110,0–163,2 %, по выходу всего волокна – на 102,1–118,3 % в зависимости от качества льнотресты. Самое значительное невыполнение норм наблюдается по выходу длинного волокна (на 70,0–93,6 %). Из льнотресты таких сортов, как Тверской, Василек, Лидер, А 93, Грант, Агата, Вералин, возможно получение длинного и короткого волокна, удовлетворяющего требованиям норм по всем параметрам. Отмечено, что лучшим соотношением комплексных показателей – процентнономеров длинного и короткого волокна, обуславливающих эффективность работы льноперерабатывающих предприятий, – характеризуются сорта льна-долгунца Грант (60,9 : 39,1). Лидер (66,3 : 33,7), Тверской (65,9 : 34,1), Сурский (73,8 : 26,2), Цезарь (66,0 : 34,0), Дипломат (59,6 : 40,4), Василек (66,9 : 33,1). **Научная новизна.** Мониторинг сортов льна-долгунца по выходу и качеству волокна из льнотресты при первичной переработке позволяет обосновать выбор варианта наиболее рационального использования стеблевого материала того или иного сорта по одной из существующих технологий, направленных на получение длинного и короткого волокна или на выработку однотипного или короткого волокна.

**Ключевые слова:** сорт, номер, качество, льнотреста, волокно длинное, волокно короткое, норма, процентномера, переработка.

**Для цитирования:** Виноградова Т. А., Кудряшова Т. А., Козьякова Н. Н. Анализ сортов льна-долгунца по выходу и качеству волокна при переработке льнотресты // Аграрный вестник Урала. 2023. № 06 (235). С. 2–12. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-2-12.

**Дата поступления статьи:** 09.02.2023, **дата рецензирования:** 24.02.2023, **дата принятия:** 01.03.2023.

### Постановка проблемы (Introduction)

Лен-долгунец – это в первую очередь прядильная культура, волокнистая продукция которой при соответствующей обработке используется как в текстильной промышленности, так и в других высокотехнологичных отраслях экономики [1, с. 4]. При первичной переработке льнотресты по традиционной технологии на льноперерабатывающих предприятиях готовой продукцией является длинное (трепаное) и короткое волокно. Эффективность работы предприятий определяется процентным соотношением между ними, которое зависит от вида и качества перерабатываемого сырья, степени совершенства технологического процесса, со-

стояния оборудования и организации производства [2, с. 72; 3, с. 32; 4, с. 6]. Технологическая ценность льнотресты обуславливается количеством и качеством волокнистых материалов, которые получают из нее при переработке на технологическом оборудовании [5, с. 63; 6, с. 36; 7, с. 69]. Для оценки технологической ценности льносырья используются 5 следующих признаков: выход длинного волокна, %; номер длинного волокна; выход короткого волокна, %; номер короткого волокна; выход всего волокна, %. Кроме того, применяют комплексные показатели, учитывающие одновременно и количество, и качество продукта. В данном случае это процентномера длинного, короткого и всего волокна [8, с. 6].

Существуют нормы по выходу и качеству волокна из льнотресты различных номеров<sup>1</sup>, выполнение которых при оптимальных режимах обработки зависит прежде всего от номера льнотресты, а также и от возделываемого сорта льна-долгунца. В Государственном реестре селекционных достижений в настоящее время находится более 50 сортов льна-долгунца. Все они имеют свои отличительные особенности при существующем направлении в отечественной селекции на выведение сортов льна-долгунца, обладающих ценными хозяйственными признаками, среди которых выделяется ориентация на высокое содержание волокна хорошего качества [9, с. 15; 10, с. 52; 11, с. 18; 12 с. 392; 13 с. 75].

В связи с этим из льнотресты различных сортов одного и того же номера может быть получено неодинаковое количество волокна разного качества, что повлечет за собой отклонение от зафиксированных в нормах по выходу и качеству волокна значений [14, с. 116; 15, с. 46]. От выполнения норм по конкретным позициям зависит целесообразность переработки льнотресты различного качества определенных сортов по оптимальному варианту получения конечного продукта: 1 – длинное и короткое волокно, 2 – однотипное или короткое волокно. Так как при переработке льнотресты стремятся к получению прежде всего максимального выхода длинного волокна высокого качества как наиболее ценного продукта, критерием при определении эффективности технологического процесса может быть соотношение комплексных показателей по всей оценочной шкале качества льнотресты: процентно-номеров длинного и короткого волокна среди сортов льна-долгунца, находящихся в производстве.

Цель исследований – анализ сортов льна-долгунца по выходу и качеству волокна при переработке льнотресты различного качества для разработки предложений по выбору варианта рационального ее использования по назначению в интересах потребителя.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились в обособленном подразделении научно-исследовательского института льна Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального научного центра лубяных культур (ОП НИИЛ ФГБНУ ФНЦ ЛК, ранее ВНИИЛ) в 2000–2022 гг.

Объектом исследования являлась льнотреста различного качества сортов льна-долгунца, находящихся в производстве, и полученное из нее при проведении контрольных разработок в ходе типового технологического процесса на льноперерабатывающих предприятиях волокно (длинное и короткое). Подготовка льнотресты к переработке с прессованием ее в рулоны и проведение контрольных

<sup>1</sup> Нормы выхода и качества волокна из льняной стланцевой тресты: Приказ, утвержден ФТБУ «Агентство «Лен» от 28.11.2011. Москва, 2011.

ных разработок осуществлялись в льносеющих хозяйствах и льнозаводах Смоленской, Тверской, Вологодской, Костромской, Псковской областей. В сезон уборочных работ перед прессованием льнотресты в рулоны определялась ее готовность к подъему по показателю отделяемости волокна от древесины, а также качество льнотресты по ГОСТ 24383-89 «Треста льняная. Требования при заготовках». Организация проведения контрольных разработок и алгоритм операций по технологическим переходам производства, перечень отдельных оценочных показателей регламентированы в специальной методической программе, которая была утверждена в ФГБУ «Агентство «Лен»<sup>2</sup>. Применялось следующее лабораторное и производственное оборудование: лабораторный мяльно-трепальный станок СМТ-200М, сушилка для льнотресты СКП-10-ЛУ, сушилка для короткого волокна – СКП-10-КУ, мяльно-трепальный агрегат МТА-1Л, куделе-приготовительный агрегат и др. Партия льнотресты каждого сорта составляла не менее 2 тонн. Подбор оптимальных режимов обработки льнотресты проводился в соответствии с Правилами технической эксплуатации льнозаводов (ПТЭЛ). Оценивались такие показатели, как влажность льнотресты до и после сушки, засоренность льнотресты, влажность, выход, номер длинного и короткого волокна, выход всего волокна. Номер длинного волокна находили по ГОСТ 10330-76 «Лен трепанный. ТУ» и по изменению № 4 этого стандарта, короткого – по ГОСТ 2975-73 «Волокно льняное короткое. ТУ». Кроме того, рассчитывались комплексные показатели – процентномера длинного, короткого и всего волокна. Экспериментальные данные обрабатывались с помощью методов математической статистики с определением средней арифметической, размаха варьирования данных [16, с. 16–20; 17, с. 250–252].

#### Результаты (Results)

Основные признаки технологической ценности льнотресты различного качества: выход и качество длинного и короткого волокна, общий выход волокна и их количественное представление – показатели, определенные при проведении в производственных условиях льноперерабатывающих предприятий контрольных разработок 553 партий льнотресты 35 сортов льна-долгунца отечественной и иностранной селекции. Для оценки эффективности переработки льнотресты сортов, возделываемых на территории Российской Федерации, был проведен сравнительный анализ средних фактических показателей по всем изучаемым сортам с плановыми, представленными в нормах по выходу и качеству волокна из льняной и стланцевой тресты.

<sup>2</sup> Распоряжение Министерства сельского хозяйства Российской Федерации № 23-р от 10 марта 2016 г. «Порядок определения нормативов перевода тресты льна и конопли в волокно» (приложение к распоряжению в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 10 марта 2016 г. № 450). Москва, 2016, 7 с.

сты. Сравнению также подвергались комплексные расчетные показатели – процентомера длинного, короткого и всего волокна, являющиеся основными критериями, характеризующими эффективность работы предприятий. Полученные данные приведены в таблицах 1, 2, 3.

Из данных таблиц следует, что средние показатели по выходу короткого и всего волокна перевыполняются при переработке льнотресты всех номеров. Перевыполнение составляет 10,0–63,2 % (выход короткого волокна), 2,1–18,3 % (выход всего волокна). Обратная картина наблюдается по выходу длинного волокна. Недовыполнение норм колеблется от 6,4 % (номер льнотресты 1,25) до 30,0 % (номер льнотресты 0,50). Выполнение норм по качеству длинного волокна отмечено для льнотресты низких номеров 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 (100,2–100,9 %). Не выполнены нормы по тому же показателю для высококачественной льнотресты, оцененной номерами 1,50 и выше (93,4–99,2 %). Получить короткое волокно, удовлетворяющее требованиям норм по качеству, не удалось как из низкокачественной, так и высококачественной льнотресты. Различия между фактическими и нормированными показателями составляют 2,6–14,1 %. Отклонение фактических комплексных показателей – процентомеров длинного, короткого и всего волокна – от нормированных зафиксировано на уровне 69,6–94,0; 95,2–146,0; 83,1–102,0 % соответственно.

Отсюда следует, что, несмотря на достигнутые успехи селекционеров в выведении новых сортов

льна-долгунца, характеризующихся высоким содержанием волокна с лучшими качественными признаками, при переработке льнотресты на производственном оборудовании в среднем по всем сортам даже при установлении оптимальных режимов плановые показатели, особенно по выходу и качеству длинного волокна, не выполняются. Однако если проанализировать результаты переработки отдельно по каждому сорту и номеру льнотресты, то можно выявить сорта, из льнотресты которых может быть выработано волокно, отвечающее требованиям потребителя как по конкретным, так и по всем признакам технологической ценности льносырья. В исследованиях участвовали 35 следующих сортов льна-долгунца: Агата, А 93, А 29, Александрит, Алексим, Альфа, Атлант, Василек, Визит, Вералин, Грант, Дашковский, Дипломат, Импульс, Зарянка, Ленок, Лидер, Лира, Могилевский 2, Надежда, Пралеска, Смолич, София, Сурский, Сюзанна, Тверской, Томский 16, Томский 17, Томский 18, Тост, Универсал, Факел, Цезарь, Электра, Эскалина. В таблице 4 приведены сорта в разрезе номеров льнотресты, которые могут быть признаны лучшими по всему спектру признаков.

Из таблицы 4 следует, что требованиям норм по комплексу признаков для номеров льнотресты 0,50; 0,75; 1,25; 1,50; 1,75 отвечают всего 7 сортов льна-долгунца: Грант, Тверской, А 93, Вералин, Василек, Агата, Лидер, а для льнотресты, оцененной номерами 1,00; 2,00; 2,50, таких сортов не зафиксировано.

Таблица 1  
Средние фактические и нормированные выход и номер длинного волокна из льнотресты различного качества

Номер льнотресты	Выход, %			Номер, N			Процентомер, %N		
	Норма	Факт	%	Норма	Факт	%	Норма	Факт	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,50	5,0	3,5	70,0	9,80	9,82	100,2	49,0	34,1	69,6
0,75	6,4	5,9	92,2	10,10	10,19	100,9	64,6	60,4	93,5
1,00	8,0	7,0	87,5	10,40	10,48	100,8	83,2	73,6	88,5
1,25	9,4	8,8	93,6	10,70	10,73	100,3	100,6	94,6	94,0
1,50	11,0	10,1	91,8	11,00	10,91	99,2	121,0	110,3	91,2
1,75	12,5	11,1	88,8	11,30	11,00	97,3	141,2	122,2	86,5
2,00	14,0	12,2	87,1	11,60	11,29	97,3	162,4	137,1	84,4
2,50	17,0	12,8	75,3	12,20	11,39	93,4	207,4	146,7	70,7

Table 1  
Average actual and normalized yield and number of long fiber from flax of various quality

Number of the flax press	Exit, %			Number, N			Percentage number, %N		
	Norm	Fact	%	Norm	Fact	%	Norm	Fact	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.50	5.0	3.5	70.0	9.80	9.82	100.2	49.0	34.1	69.6
0.75	6.4	5.9	92.2	10.10	10.19	100.9	64.6	60.4	93.5
1.00	8.0	7.0	87.5	10.40	10.48	100.8	83.2	73.6	88.5
1.25	9.4	8.8	93.6	10.70	10.73	100.3	100.6	94.6	94.0
1.50	11.0	10.1	91.8	11.00	10.91	99.2	121.0	110.3	91.2
1.75	12.5	11.1	88.8	11.30	11.00	97.3	141.2	122.2	86.5
2.00	14.0	12.2	87.1	11.60	11.29	97.3	162.4	137.1	84.4
2.50	17.0	12.8	75.3	12.20	11.39	93.4	207.4	146.7	70.7

Таблица 2  
Средние фактические и нормированные выход и номер короткого волокна из льнотресты различного качества

Номер льнотресты	Выход, %			Номер, N			Процентномер, %N		
	Норма	Факт	%	Норма	Факт	%	Норма	Факт	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,50	18,9	20,8	110,0	2,90	2,49	85,9	54,8	52,2	95,2
0,75	18,0	20,1	111,7	3,10	2,81	90,6	55,8	56,2	100,7
1,00	17,1	22,7	130,7	3,30	2,93	88,8	56,4	66,0	117,0
1,25	16,1	20,7	128,6	3,40	3,16	92,9	54,7	65,4	119,6
1,50	15,2	20,0	131,6	3,50	3,41	97,4	53,2	67,4	126,7
1,75	14,2	19,9	140,1	3,70	3,46	93,5	52,5	68,0	129,5
2,00	13,3	19,1	143,6	3,80	3,66	96,3	50,5	69,9	138,4
2,50	11,4	18,6	163,2	4,00	3,53	88,2	45,6	66,6	146,0

Table 2  
Average actual and normalized yield and number of short fiber from flax of various quality

Number of the flax press	Exit, %			Number, N			Percentage number, %N		
	Norm	Fact	%	Norm	Fact	%	Norm	Fact	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.50	18.9	20.8	110.0	2.90	2.49	85.9	54.8	52.2	95.2
0.75	18.0	20.1	111.7	3.10	2.81	90.6	55.8	56.2	100.7
1.00	17.1	22.7	130.7	3.30	2.93	88.8	56.4	66.0	117.0
1.25	16.1	20.7	128.6	3.40	3.16	92.9	54.7	65.4	119.6
1.50	15.2	20.0	131.6	3.50	3.41	97.4	53.2	67.4	126.7
1.75	14.2	19.9	140.1	3.70	3.46	93.5	52.5	68.0	129.5
2.00	13.3	19.1	143.6	3.80	3.66	96.3	50.5	69.9	138.4
2.50	11.4	18.6	163.2	4.00	3.53	88.2	45.6	66.6	146.0

Таблица 3  
Средние фактические и нормированные выход и процентномера всего волокна (льнотреста различного качества)

Номер льнотресты	Выход, %			Процентномер, %N		
	Норма	Факт	%	Норма	Факт	%
1	2	3	4	5	6	7
0,50	23,9	24,4	102,1	103,8	86,3	83,1
0,75	24,4	26,1	107,0	120,4	116,7	96,9
1,00	25,1	29,7	118,3	139,6	139,6	100,0
1,25	25,5	29,5	115,7	155,3	139,1	89,6
1,50	26,2	30,0	114,5	174,2	177,6	102,0
1,75	26,7	31,0	116,1	193,7	190,2	98,2
2,00	27,3	31,3	114,6	212,9	207,0	97,2
2,50	28,4	31,5	110,9	253,0	213,3	84,3

Table 3  
Average actual and normalized yield and percentage of total fiber (flax fiber of various quality)

Number of the flax press	Exit, %			Percentage number, %N		
	Norm	Fact	%	Norm	Fact	%
1	2	3	4	5	6	7
0.50	23.9	24.4	102.1	103.8	86.3	83.1
0.75	24.4	26.1	107.0	120.4	116.7	96.9
1.00	25.1	29.7	118.3	139.6	139.6	100.0
1.25	25.5	29.5	115.7	155.3	139.1	89.6
1.50	26.2	30.0	114.5	174.2	177.6	102.0
1.75	26.7	31.0	116.1	193.7	190.2	98.2
2.00	27.3	31.3	114.6	212.9	207.0	97.2
2.50	28.4	31.5	110.9	253.0	213.3	84.3

Таблица 4

Характеристика лучших сортов льна-долгунца по комплексу признаков технологического качества льнотресты

Агротехнологии

Номер льнотресты	Сорт	Выполнение норм 100 % и более							
		Длинное волокно			Короткое волокно			Всего волокна	
		Выход, %	Номер, N	Процентономер, %N	Выход, %	Номер, N	Процентономер, %N	Выход, %	Процентономер, %N
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,50	Грант	9,2	10,00	98,0	19,1	3,23	63,0	28,9	161,0
0,75	Тверской	7,7	10,50	80,8	19,3	4,00	77,2	27,0	158,0
	А 93	7,9	10,46	82,6	21,3	3,33	70,9	28,2	153,5
	Вералин	6,7	10,75	72,0	22,4	3,50	78,4	29,1	150,4
1,00	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1,25	Тверской	12,2	12,0	146,4	20,4	4,00	81,6	32,6	228,0
	Василек	12,7	11,00	139,7	18,4	3,75	69,0	31,1	208,7
	Агата	12,1	11,96	120,8	21,6	3,56	76,9	31,7	197,7
1,50	Тверской	12,2	12,00	146,4	21,3	4,00	85,2	33,5	231,6
1,75	Лидер	13,4	12,00	160,8	19,0	4,00	76,0	32,4	236,8
2,00	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,50	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Table 4

Characteristics of the best varieties of flax by the complex of signs of technological quality of flax

Number of flax	Variety	Compliance with norms 100 % and more							
		Longer fiber			Short fiber			Total fiber	
		Yield, %	Number, N	Percentage number, %N	Yield, %	Number, N	Percentage number, %N	Yield, %	Percentage number, %N
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.50	Grant	9.2	10.00	98.0	19.1	3.23	63.0	28.9	161.0
0.75	Tverskoy	7.7	10.50	80.8	19.3	4.00	77.2	27.0	158.0
	A 93	7.9	10.46	82.6	21.3	3.33	70.9	28.2	153.5
	Veralin	6.7	10.75	72.0	22.4	3.50	78.4	29.1	150.4
1.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1.25	Tverskoy	12.2	12.0	146.4	20.4	4.00	81.6	32.6	228.0
	Vasilek	12.7	11.00	139.7	18.4	3.75	69.0	31.1	208.7
	Agata	12.1	11.96	120.8	21.6	3.56	76.9	31.7	197.7
1.50	Tverskoy	12.2	12.00	146.4	21.3	4.00	85.2	33.5	231.6
1.75	Lider	13.4	12.00	160.8	19.0	4.00	76.0	32.4	236.8
2.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2.50	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Таким образом, при переработке льнотресты этих сортов в зависимости от ее качества по традиционной технологии с получением длинного и короткого волокна могут быть достигнуты самые высокие технико-экономические показатели работы льноперерабатывающих предприятий.

Так как при переработке льнотресты различных номеров наиболее ценным продуктом является выработанное из нее длинное волокно запланированного качества, было проанализировано соответствие выхода и номера длинного волокна из льнотресты изучаемых сортов нормированным требованиям. Данные по трем лучшим сортам представлены в таблице 5.

Следует отметить, что размах варьирования значений выхода длинного волокна даже у лучших сортов в зависимости от качества льнотресты составляет 0,3–2,1 %, по номеру длинного волокна достигает 1,00 N. При этом состав сортов, по которым выполнение норм по выходу длинного волокна не всегда совпадает с составом сортов, для которых выполняются нормы по его номеру. Так, для номера льнотресты 0,75 совпадение наблюдается для сорта Зарянка; номера 1,00 – для сорта Алексим; 1,25 – сорта Тверской, а для номеров льнотресты 0,50; 1,50; 1,75; 2,00; 2,50 совпадений нет.



Характеристика лучших сортов льна-долгунца по выходу и качеству длинного волокна, полученного из льнотресты различных номеров

Номер льнотресты	Выполнение норм 100 % и более			
	Сорт	Выход, %	Сорт	Номер, N
0,50	Грант	9,8	Пралеска	11,00
	–	–	Дашковский	10,71
	–	–	Электра	10,45
0,75	Ленок	11,3	Томский 16	11,16
	Зарянка	10,4	Зарянка	11,00
	Лидер	9,2	Василек	11,00
1,00	Дипломат	10,3	Тверской	11,77
	Грант	10,3	Алексим	11,18
	Алексим	10,0	Цезарь	11,00
1,25	Василек	12,7	Тверской	12,00
	Томский 17	12,3	Агата	11,96
	Тверской	12,2	Импульс	11,34
1,50	Грант	14,6	Тверской	12,00
	Сурский	14,3	Дашковский	11,88
	Лира	13,2	Лидер	11,86
1,75	Лира	16,00	Лидер	12,00
	Сурский	14,80	Тверской	12,00
	Грант	14,00	Зарянка	12,00
2,00	Сурский	16,6	Лидер	12,30
	Лира	15,5	Зарянка	12,00
	Электра	15,3	Тверской	12,00
2,50	–	–	Альфа	13,2
	–	–	Зарянка	12,2
	–	–	Эскалина	12,2

Table 5  
Characteristics of the best varieties of flax by yield and quality of long fiber obtained from flax of various numbers

Number of flax	Compliance with norms 100% and more			
	Variety	Yield, %	Variety	Number, N
0.50	Grant	9.8	Praleska	11.00
	–	–	Dashkovskiy	10.71
	–	–	Elektra	10.45
0.75	Lenok	11.3	Tomskiy 16	11.16
	Zaryanka	10.4	Zaryanka	11.00
	Lider	9.2	Vasilek	11.00
1.00	Diplomat	10.3	Tverskoy	11.77
	Grant	10.3	Aleksim	11.18
	Aleksim	10.0	Tsezar'	11.00
1.25	Vasilek	12.7	Tverskoy	12.00
	Tomskiy 17	12.3	Agata	11.96
	Tverskoy	12.2	Impul's	11.34
1.50	Grant	14.6	Tverskoy	12.00
	Surskiy	14.3	Dashkovskiy	11.88
	Lira	13.2	Lider	11.86
1.75	Lira	16.0	Lider	12.00
	Surskiy	14.8	Tverskoy	12.00
	Grant	14.0	Zaryanka	12.00
2.00	Surskiy	16.6	Lider	12.30
	Lira	15.5	Zaryanka	12.00
	Elektra	15.3	Tverskoy	12.00
2.50	–	–	Al'fa	13.2
	–	–	Zaryanka	12.2
	–	–	Eskalina	12.2



Рис. 1. Соотношение процентнономеров длинного и короткого волокна для лучших сортов льна-долгунца (%)  
 Fig. 1. Ratio of long and short fiber percentage numbers for the best varieties of flax (%)

Известно, что чем выше фактический выход и номер длинного волокна, тем лучше используется льносырье льноперерабатывающим предприятием и тем рентабельнее оно работает. При анализе результатов контрольных разработок льнотресты изучаемых сортов были выявлены также лучшие сорта по соотношению комплексных показателей – процентнономеров длинного и короткого волокна в разрезе номеров льнотресты (рис. 1).

Как видно из рис. 1, доля, обусловленная длинным волокном у сортов А 93, Грант, Лидер, Дипломат, Тверской, Василек, Сурский, Цезарь, Лира, Альфа, вдоль всей оценочной шкалы качества льнотресты колеблется от 38,4 до 73,8 %. Таким образом, выгоднее всего использовать для выработки длинного волокна хорошего качества льнотресту определенных номеров этих сортов.

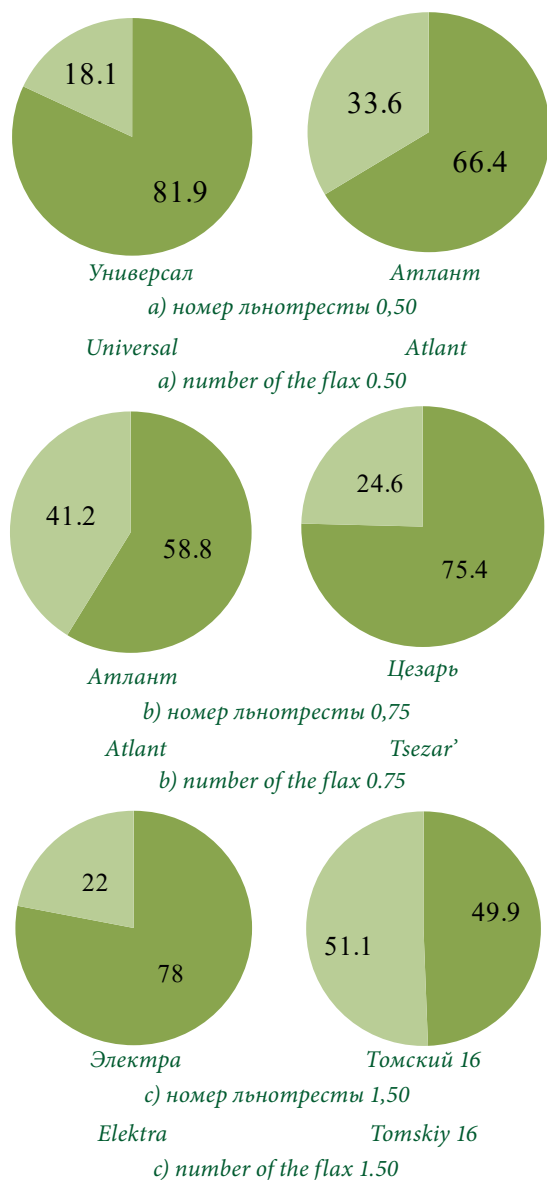


Рис. 2. Соотношение процентнономеров длинного и короткого волокна для худших сортов льна-долгунца (%)  
Fig. 2. Ratio of long and short fiber percentage numbers for the worst varieties of flax (%)

Из рис. 2, где представлены сорта с худшим соотношением тех же комплексных показателей, следует, что целесообразно льнотресту сортов Универсал, Атлант, Цезарь, оцененных номерами 0,50–0,75, сорта Электра (номер льнотресты 1,50) перерабатывать на однотипное или короткое волокно.

По результатам анализа итогов переработки льнотресты различного качества также можно рекомендовать переработку на однотипное или короткое волокно следующие сорта льна-долгунца: из льнотресты № 0,50 – Дипломат, Томский 18; 0,75 – Сурский, Факел, Электра, Томский 18; 1,00 – Электра, Цезарь, Сурский, Факел, Атлант; 1,25 – Факел, Атлант, Пралеска, Электра, Томский 16; 1,50 – Пралеска, Томский 16, София; 1,75 – Электра, Надежда, Дипломат, Томский 16; 2,00 – Пралеска, Томский 16, Дипломат, Дашковский, 2,50 – Томский 18, Универсал, Тост, Пралеска, Дипломат, Могилевский 2.

Таким образом, полученные результаты будут способствовать выбору сельхозпроизводителем перспективных сортов при производстве в зависимости от направления использования волокнистой продукции. Для льноперерабатывающих предприятий увеличатся возможности для совершенствования технологического процесса путем дифференциации режимов обработки в соответствии с качеством льнотресты того или иного сорта льна-долгунца.

### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. Установлено, что плановые показатели, регламентированные в нормах по выходу и качеству волокна при переработке льнотресты различных номеров всех сортов льна-долгунца, находящихся в производстве, выполняются по выходу длинного волокна на 70,0–93,6 %; по его номеру – на 93,4–100,9 %; по процентнономерам длинного волокна – на 69,6–94,0 %; по выходу короткого волокна – на 110,0–163,2 %; по его номеру – на 85,9–97,4 %; по процентнономерам короткого волокна – на 95,2–146,0 %; по выходу всего волокна – на 102,1–118,3 %; по процентнономерам всего волокна – на 83,1–102,0 %.

2. По результатам исследований выявлены сорта льна-долгунца, которые по всем признакам технологического качества льнотресты удовлетворяют нормированным показателям. К ним относятся следующие сорта: Тверской, Василек, Лидер, А 93, Грант, Агата, Вералин.

3. Лучшее соотношение комплексных показателей: процентнономеров длинного и короткого волокна, определяющих рентабельность работы льноперерабатывающих предприятий, отмечено при переработке конкретных номеров льнотресты по всей оценочной шкале ее качества сортов льна-долгунца А 93, Грант, Лидер, Дипломат, Тверской, Василек, Сурский, Альфа, Лира, Цезарь.

**Благодарности (Acknowledgements)**

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования ФГБНУ ФНЦ ЛК по теме № FGSS-2019-0017.

**Библиографический список**

1. Рожмина Т. А., Павлова Л. Н., Понажев В. П., Захарова Л. М. Льяная отрасль на пути к возрождению // Защита и карантин растений. 2018. № 1. С. 3–8.
2. Басова Н. В., Новиков Э. В., Безбабченко А. В. Производство и переработка лубяных культур в России как элемент импортозамещения // АПК: экономика, управление. 2022. № 8. С. 71–78. DOI: 10.33305/228-71.
3. Новиков Э. В., Басова Н. В., Безбабченко А. В. Лубяные культуры в России и за рубежом: состояние, проблемы и перспективы их переработки // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 1 (1). С. 30–40. DOI: 10/54016/SVITOK.2021.1.1.005.
4. Кирюшин В. И. Научно-инновационное обеспечение приоритетов сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 3. С. 5–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10301.
5. Кудряшова Т. А., Виноградова Т. А., Козьякова Н. Н. Сравнительный анализ результатов переработки льнотресты сортов льна-долгунца отечественной и иностранной селекции по основным хозяйственно-ценным признакам // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 2 (392). С. 61–67. DOI: 10.47367/0021-3497-2021-2-61-67.
6. Виноградова Т. А., Кудряшова Т. А., Козьякова Н. Н. Характеристика сортов льна-долгунца различной селекции по комплексу признаков технологической ценности льносырья // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 34. № 5. С. 32–39. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10505.
7. Басова Н. В., Новиков Э. В., Безбабченко А. В. Анализ экономической эффективности первичной и глубокой переработки лубяных культур // АПК: Экономика, управление. 2021. № 7. С. 66–74. DOI: 10.333005/217-66.
8. Виноградова Т. А., Кудряшова Т. А., Козьякова Н. Н. Зависимость качества трепаного волокна от сорта льна-долгунца и номера льнотресты // Аграрный вестник Урала. 2022. № 7. С. 2–15. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-222-07-2-15.
9. Ущуповский И. В., Васильев А. С., Щеголихина Т. А., Федоренко В. Ф., Мишуров Н. П., Голубев И. Г. Анализ состояния и перспективные направления развития селекции и семеноводства технических культур: монография. Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2019. 72 с.
10. Рожмина Т. А., Жученко А. А., Рожмина Н. Ю., Киселева Т. С., Герасимова Е. Г. Новые источники селекционных значимых признаков льна, адаптивные к условиям Центрального Нечерноземья // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 8. С. 50–55. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10808.
11. Павлова Л. Н., Рожмина Т. А., Герасимова Е. Г., Румянцева В. Н., Кудрявцева Л. П., Киселева Т. С. Хозяйственная ценность новых сортов льна-долгунца. // Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, прибыли и перспективы: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Тверь, 2018. С. 18–20.
12. Makhotlova M. Sh., Karmokova J. G., Guppoeva J. S., Khashukaeva A. A., Begidov A. R., Mizov I. M. Modern problems and priorities of the agrarian Policy of Russia // International agricultural journal. 2023. Vol. 7. No. 1. Pp. 389–400. DOI: 10.55186/25876740-2023-7-1-29.
13. Melnikov A. B., Sidorenko V. V., Mikhaylushkin P. V. Priorities of agrarian policy of Russia // State regulation and regional development АПК. 2019. No. 5. Pp. 74–77. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-15090.
14. Пашин У. Л., Пашина Л. В., Мичкина Г. А., Попова Т. А., Орлов А. В. Совершенствование системы оценки качества волокна на этапах внедрения новых сортов льна-долгунца // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 6. (384). С. 115–120.
15. Королева Е. Н., Новиков Э. В., Хаитов Н. Х., Безбабченко А. В. Прогнозирование выхода и номера трепаного льна по результатам лабораторной переработки льнотресты // Наука в центральной России. 2019. № 4 (40). С. 44–49.
16. Ниворожкина Л. Н., Аржаповский С. В., Рудяга А. А. Статистические методы анализа данных: учебник. Москва: Риф, 2018. 320 с.
17. Ивченко Т. И., Медведев Ю. И. Математическая статистика: учебник. Москва: Либроком, 2020. 352 с.

**Об авторах:**

Татьяна Александровна Виноградова<sup>1</sup>, старший научный сотрудник лаборатории агротехнологий, ORCID 0000-0002-8272-0524, AuthorID 781567; +7 910 534-03-37

Тамара Александровна Кудряшова<sup>1</sup>, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агротехнологий, ORCID 0000-0003-2090-734x, AuthorID 603426; +7 920 708-50-85

Наталья Николаевна Козьякова<sup>1</sup>, научный сотрудник лаборатории агротехнологий,  
ORCID 0000-0001-9220-5908, AuthorID 773867

<sup>1</sup>Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

## Analysis of fiber flax varieties in terms of fiber yield and quality in the processing of flax straw

T. A. Vinogradova<sup>✉</sup>, T. A. Kudryashova<sup>1</sup>, N. N. Kozyakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: info.trk@fncl.ru

**Abstract.** The article presents the results of a study to determine the technological quality of flax in 553 batches of 35 varieties of flax during primary processing in production conditions. **The purpose** of the study is to analyze the varieties of flax by yield and fiber quality when processing flax of various quality to develop proposals for choosing the optimal use for its intended purpose in the interests of the consumer. **Methods.** The object of the study was flax and its processed products – long and short fiber. The signs of the technological quality of the flax were determined according to the current standards. **Results.** When comparing the normalized and actual values of the signs of technological quality of flax, it was found that, on average, for all the varieties presented, the planned indicators are met by the output of short fiber (by 110.0–163.2 %) and the output of the entire fiber (by 102.1–118.3 %), depending on the quality of flax. The most significant non-compliance with the norms is observed in the yield of long fiber by 70.0–93.6%. From flax of such varieties as Tverskoy, Vasilek, Lider, A 93, Grant, Agata, Veralin, it is possible to obtain long and short fibers that meet the requirements of norms in all parameters. It is noted that the best ratio of complex indicators – percentage numbers of long and short fibers, which determine the efficiency of flax processing enterprises, are characterized by the varieties of flax-long-grain Grant (60.9 : 39.1). Lider (66.3 : 33.7), Tverskoy (65.9 : 34.1), Surskiy (73.8 : 26.2), Tsezar' (66.0 : 34.0), Diplomat (59.6 : 40.4), Vasilek (66.9 : 33.1). **Scientific novelty.** Monitoring of flax varieties by the yield and quality of fiber from flax during primary processing makes it possible to justify the choice of the most rational use of the stem material of a particular variety according to one of the existing technologies aimed at obtaining long and short fibers or at producing the same type. **Keywords:** variety, umber, quality, flax fiber, long fiber, short fiber, norm, percentage number, processing.

**For citation:** Vinogradova T. A., Kudryashova T. A., Kozyakova N. N. Analiz sortov l'na-dolguntsa po vykhodu i kachestvu volokna pri pererabotke l'notresty [Analysis of fiber flax varieties in terms of fiber yield and quality in the processing of flax straw] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 06 (235). Pp. 2–12. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-2-12. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 09.02.2023, **date of review:** 24.02.2023, **date of acceptance:** 01.03.2023.

### References

1. Rozhmina T. A., Pavlova L. N., Ponazhev V. P., Zakharova L. M. L'nyanaya otrasl' na puti k vozrozhdeniyu [The linen industry is on the way to revival] // Plant protection and quarantine. 2018. No. 1. Pp. 3–8. (In Russian.)
2. Basova N. V., Novikov E. V., Bezbabchenko A. V. Proizvodstvo i pererabotka lubyanykh kul'tur v Rossii kak element importozameshcheniya [Production and processing of bast crops in Russia as an element of import substitution] // Agroindustrial complex: Economics, management. 2022. No. 8. Pp. 71–78. DOI: 10.33305/228-71. (In Russian.)
3. Novikov E. V., Basova N. V., Bezbabchenko A. V. Lubyanye kul'tury v Rossii i za rubezhom: sostoyanie, problemy i htrspektivy ikh pererabotki [Bast crops in Russian and abroad: the state, problems and prospects of their processing] // Technical crops: Scientific agricultural journal. 2021. No. 1 (1). Pp. 30–40. DOI: 10/54016/SVITOK.2021.1.1.005. (In Russian.)
4. Kiryushin V. I. Nauchno-innovatsionnoe obespechenie prioritetov sel'skogo khozyaystva [Scientific and innovative support of agricultural priorities] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2019. Vol. 33. No. 3. Pp. 5–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10301. (In Russian.)
5. Kudryashova T. A., Vinogradova T. A., Koz'yakova N. N. Sravnitel'nyy analiz rezul'tatov pererabotki l'notresty sortov l'na-dolguntsa otechestvennoy i inostrannoy selektsii po osnovnym khozyaistvenno-tsennym priznakam [Comparative analysis of the results of the processing of flax seeds of flax varieties of domestic and foreign selection according to the main economically valuable characteristics] // Proceedings of Higher Educational Institutions. Series

- “Textile Industry Technology”. 2021. No. 2 (392). Pp. 61–67. DOI: 10.47367/0021-3497-2021-2-61-67. (In Russian.)
6. Vinogradova T. A., Kudryashova T. A., Koz'yakova N. N. Kharakteristika sortov l'na-dolguntsa razlichnoy selektsii po kompleksu priznakov tekhnologicheskoy tsennosti l'nosyr'ya [Characteristics of flax varieties of various selection according to the complex of signs of the technological value of flax raw materials] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2021. Vol. 34. No. 5. Pp. 32–39. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10505. (In Russian.)
7. Basova N. V., Novikov E. V., Bezbabchenko A. V. Analiz ekonomicheskoy effektivnosti pervichnoy i glubokoy pererabotki lubyanykh kul'tur [Analysis of the economic efficiency of primary and deep processing of bast crops] // Agroindustrial complex: Economics, management. 2021. No 7. Pp. 66–74. DOI: 10.333005/217-66. (In Russian.)
8. Vinogradova T. A., Kudryashova T. A., Koz'yakova N. N. Zavisimost' kachestva trepanogo volokna ot sorta l'na-dolguntsa i nomera l'notresty [The dependence of the quality of the frayed fiber on the variety of flax and the number of flax] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 7. Pp. 2–15. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-222-07-2-15. (In Russian.)
9. Ushchapovskiy I. V., Vasil'ev A. S., Shchegolikhina T. A., Fedorenko V. F., Mishurov N. P., Golubev I. G. Analiz sostoyaniya i perspektivnye napravleniya razvitiya selektsii i semenovodstva tekhnicheskikh kul'tur: monografiya [Analysis of the state and promising directions of development of breeding and seed production of industrial crops: a monograph]. Moscow: Rossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut informatsii i tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniy po inzhenerno-tekhnicheskomu obespecheniyu agropromyshlennogo kompleksa, 2019. 72 p. (In Russian.)
10. Rozhmina T. A., Zhuchenko A. A., Rozhmina N. Yu., Kiseleva T. S., Gerasimova E. G. Novyye istochniki selektsionnykh znachimyykh priznakov l'na, adaptivnyye k usloviyam Tsentral'nogo Nechernozem'ya [New sources of breeding significant traits of flax, adaptive to the conditions of the Central Non-Black Earth Region] // Achievements of Science and Technology in AIC. 2020. Vol. 34. No. 8. Pp. 12–14. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10808. (In Russian.)
11. Pavlova L. N., Rozhmina T. A., Gerasimova E. G., Rummyantseva V. N., Kudryavtseva L. P., Kiseleva T. S. Khozyaystvennaya tsennost' novyykh sortov l'na-dolguntsa [Economic value of new varieties of fiber flax] // Nauchnoe obespechenie proizvodstva pryadil'nykh kul'tur: sostoyanie, pribyli i perspektivy: sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tver, 2018. Pp. 18–20. (In Russian.)
12. Makhotlova M. Sh., Karmokova J. G., Guppoeva J. S., Khashukaeva A. A., Begidov A. R., Mizov I. M. Modern problems and priorities of the agrarian Policy of Russia // International agricultural journal. 2023. Vol. 7. No. 1. Pp. 389–400. DOI: 10.55186/25876740-2023-7-1-29.
13. Melnikov A. B., Sidorenko V. V., Mikhaylushkin P. V. Priorities of agrarian policy of Russia // State regulation and regional development APK. 2019. No. 5. Pp. 74–77. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-15090.
14. Pashin E. L., Pashina L. V., Michkina G. A., Popova T. A., Orlov A. V. Sovershenstvovanie sistemy otsenki kachestva volokna na etapakh vnedreniya novyykh sortov l'na-dolguntsa [Improvement of the fiber quality assessment system at the stages of introduction of new varieties of flax] // Proceedings of Higher Educational Institutions. Series “Textile Industry Technology”. 2019. No. 6 (384). Pp. 115–120. (In Russian.)
15. Koroleva E. N., Novikov E. V., Khaitov N. K., Bezbabchenko A. V. Prognozirovaniye vykhoda i nomera trepanogo l'na po rezul'tatam laboratornoy pererabotki l'notresty [Forecasting the yield and number of flaxseeds based on the results of laboratory processing of flaxseeds] // Nauka v tsentralnoy Rossii. 2019. No. 4 (40). Pp. 44–49. (In Russian.)
16. Nivorozhkina L. N., Arzhapovskiy S. V., Rudyaga A. A. Statisticheskie metody analiza dannykh: uchebnik [Statistical methods of data analysis: a textbook]. Moscow: Rif, 2018. 320 p. (In Russian.)
17. Ivchenko T. I., Medvedev Yu. I. Matematicheskaya statistika: uchebnik [Mathematical statistics: a textbook]. Moscow: Librokom, 2020. 352 p. (In Russian.)

### Authors' information:

Tatyana A. Vinogradova<sup>1</sup>, senior researcher of the laboratory of agricultural technology, ORCID 0000-0002-8272-0524, AuthorID 781567; +7 910 534-03-37

Tamara A. Kudryashova<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, leading researcher of the laboratory of agricultural technology, ORCID 0000-0003-2090-734x, AuthorID 603426; +7 920 708-50-85

Natalya N. Koz'yakova<sup>1</sup>, researcher of the laboratory of agricultural technology, ORCID 0000-0001-9220-5908, AuthorID 773867

<sup>1</sup> Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

## Технология улучшения деградированных горных лугов и пастбищ Центрального Кавказа

Л. Р. Гулуева<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Михайловское, Россия

✉E-mail: luda\_gulueva@mail.ru

**Аннотация.** Автор представил результаты научных разработок и новое устройство для улучшения и восстановления горных пастбищных участков методом подсева семян трав на истощенный и изреженный травостой. Выявили отсутствие малогабаритных маневренных агрегатов, способных подсевать семена трав на изреженный травостой в горах. **Целью исследования** было разработать и изготовить лабораторный образец блок-модуля на базе мини-трактора Feng Shou 180 для поверхностного подсева семян трав. **Объект исследования** – агротехнические приемы и агрегат для внесения семян трав, обеспечивающие ускоренное восстановление горных лугопастбищных участков, повышение урожайности многолетних трав и устойчивость почв к водной и ветровой эрозии. **В задачи исследований** входило обоснование технологии, оценка влияния подсева семян трав на изменение качественного и количественного состава травостоя, возможности улучшения питания растений и водно-воздушного режима, обогащение кормового травостоя за счет подсева ценных видов трав. **Методология и методы исследования.** Испытания проводились в горной зоне Республики Северная Осетия – Алания на участках, находящихся на высоте 1540 м над уровнем моря. Подсев трав проводился на изреженном участке северного склона крутизной 16° в местности Сугсадтанраг. Проведена техническая экспертиза агрегата согласно агротехническим требованиям и техническому заданию. Поверхностное внесение семян трав осуществлялось согласно нормам внесения. **Результаты.** Установили, что лабораторный образец агрегата соответствует агротехническим требованиям и техническому заданию, урожай травостоя увеличился на различных участках на 90–170 %, изменился ботанический состав травостоя, что повлияло на качество корма, обеспечило повышение питательной ценности луговых трав с 0,7 до 2,8–3,5 тыс. корм. ед./га, при содержании 120–145 г переваримого протеина на 1 корм. ед. сухой массы корма. Сделан вывод о целесообразности применения разработанного блок-модуля на горных лугах и пастбищах с уклоном до 16°. **Научная новизна.** Впервые разработана технология и изготовлена малогабаритная сеялка на базе мини-трактора для восстановления горных пастбищных участков.

**Ключевые слова:** агрегат, горы, склоны, мини-трактор, травосмеси, луга, пастбища.

**Для цитирования:** Гулуева Л. Р. Технология улучшения деградированных горных лугов и пастбищ Центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2023. №. 06 (235). С. 13–22. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-13-22.

**Дата поступления статьи:** 26.01.2023, **дата рецензирования:** 27.02.2023, **дата принятия:** 01.03.2023.

### Постановка проблемы (Introduction)

Экологическое состояние горных экосистем Центрального Кавказа в настоящее время не соответствует потенциальным возможностям этой территории, богатой естественными биологическими ресурсами, способными обеспечить развитие сельскохозяйственного производства зоны [1, с. 266].

Горные кормовые угодья, несмотря на специфические особенности (крутые склоны, сильная каменистость, малая мощность гумусового горизонта, кислотность почвенного раствора и др.), а также климатические условия (резкая смена температуры воздуха, изменяющаяся как в течение года, так и су-

ток; водно-воздушного режима), являются надежным источником производства ценных питательных кормов для круглогодичного содержания животных в горах [2, с. 270]. Площадь сенокосов и пастбищ горной зоны РСО-Алания составляет 121,8 тыс. га. Вместе с тем отсутствие регулярного ухода и бессистемное использование природных кормовых угодий, обуславливающих их низкую урожайность (45 ц/га сухой массы) и вызывающих деградацию травостоев, не только сдерживают развитие животноводства, но и разрушают всю экосистему, нанося непоправимый ущерб экологическому состоянию горных ландшафтов.

Так, уголья, близлежащие к поселениям горцев, легкодоступные для бродячего скота, перегружаются, подвергаясь физической деградации, выбиванию дернины, распылению почвы. На отдельных участках смыв почвы достигает 500–900 м<sup>3</sup>/га при доступных нормах 2–3 м<sup>3</sup>/га в год. Почвы истощаются элементами питания, ежегодно теряя до 80 тыс. т азота, 18–20 тыс. т фосфора и около 70 тыс. т калия. Эти процессы, наблюдающиеся в нижних частях склонов, особенно на южных и юго-восточных экспозициях лугостепных и субальпийских поясов, негативно сказываются на качестве кормов. В результате перегрузки скотом копытами животных выбивается дернина, в отсутствие которой почва выплескивается из образовавшихся тропинок с дождевой каплей. При чрезмерной нагрузке пастбища тропинки смыкаются, начинается поверхностный сток, который часто завершается разрушением почвы до плотной горной породы, после чего эти участки надолго исключаются из сельскохозяйственного использования [3, с. 52].

Единственный природный фактор, который может противостоять разрушительному воздействию данного прогрессирующего деградационного процесса, это растительность – важная часть горной экосистемы, которая принимает на себя все стрессовые природно-климатические и антропогенные воздействия.

Однако без человека, способного поддержать усилия растений в борьбе за выживание, этот процесс может длиться долгие годы, постепенно разрушая горную экосистему, формируя глобальную катастрофу [4, с. 1396].

Для предотвращения подобной проблемы необходимо обеспечить проведение мероприятий,

способствующих формированию высокопродуктивного травостоя и позволяющих целенаправленно решать задачи по стабилизации экологической структуры горных агроэкосистем.

Одним из эффективных мероприятий является подсев семян многолетних трав на сильно выбитых пастбищах, а это, как уже было сказано, легкодоступные участки, где летом и зимой концентрируется основное поголовье скота. Здесь ни щелевание, ни внесение удобрений, кроме подсева, не дают удовлетворительных результатов по восстановлению нормального травостоя, предотвращающего поверхностный сток и смыв почвы. В горных условиях подсев трав сопряжен со специфическими условиями ландшафта, такими как мелкоконтурность, склоновость рельефа, что затрудняет применение специализированной серийной техники. При этом необходимо учитывать, что в большинстве случаев подсев трав в дернину природных лугов без предварительной ее обработки оказывается малоэффективным, так как незаделанные семена подсеянных трав не дают всходов или же всходы гибнут, не выдерживая конкуренции с естественными травами в борьбе за питательную среду. Поэтому необходимо постоянно проводить поверхностное улучшение лугов и пастбищ.

Благоприятные условия для приживания семян достигаются путем рыхления дернины, адресным подсевом семян на оголенные участки и последующим их прикатыванием. В связи с этим разработка и изготовление необходимых серийных образцов малогабаритных маневренных машин, способных поверхностно вносить различные виды семян трав на горные луга и пастбища, является актуальной задачей [5, с. 171; 6, с. 1].



Рис. 1. Классификация условий требующих подсева трав на лугах и пастбищах в горной и предгорной зонах Северного Кавказа



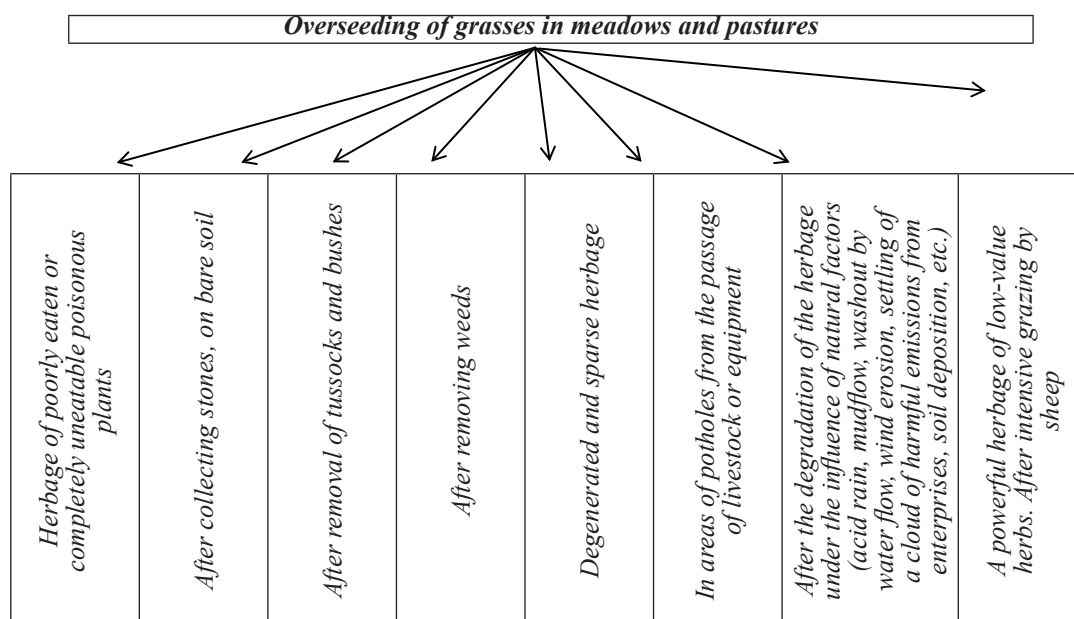


Fig. 1. Classification of conditions requiring overseeding of grasses in meadows and pastures in the mountainous and foothill zones of the North Caucasus

По результатам проведенных исследований нами составлена классификация условий, которые возникают на горных лугах и пастбищах и требуют подсева трав (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что причины, требующие необходимость подсева трав, могут быть как техногенного, так и природного происхождения.

Известно, что организация бобово-злаковых пастбищ на склоновых землях позволяет оптимизировать луговое и полевое кормопроизводство, решить проблему кормового белка, оздоровить стадо, снизить себестоимость молока, остановить деградацию эрозийно опасных земель и улучшить среду обитания населения горной зоны.

Одной из важнейших операций по улучшению горных лугов и пастбищ является подсев семян трав на разреженный фитоценоз и оголенные участки.

Способы окультуривания почв основаны на подборе смеси бобовых и злаковых многолетних трав и их посеве поперек склона. Практика ведения лугопастбищного хозяйства как в горах, так и на равнине показывает, что смешанные посевы многолетних трав (травосмеси) продуктивнее чистых посевов тех же сортов трав. Известно, что для посева трав на равнине используют зернотравяные сеялки СЗ-3,6А; СЗТ-3,6А; СЗПП-4 и другие, имеющие крупные габариты.

Однако сеялок для подсева травосмесей на склоновые (до 16°) луга и пастбища горной зоны и имеющие малые габариты (шириной захвата до 3 м) до настоящего времени нет, и подсев на склонах производится, как правило, вручную. Поэтому создание опытного образца сеялки для адресного подсева травосмесей представляет несомненный интерес для практиков и ученых отрасли, а разрабатываемая тема является актуальной.

При создании конструкции опытного образца подобного агрегата необходимо учитывать, что сеялка должна обеспечить подсев злаковых трав с бобовыми, кроме того, состав подбираемых травосмесей должен соответствовать почвенно-климатическим условиям.

Для решения данной проблемы авторами разработана конструкция и изготовлен лабораторный образец блок-модуля на базе мини-трактора «Feng Shou 180» для поверхностного подсева семян трав на участках горной и предгорной зон, обеспечивающий снижение деградационных процессов склоновых участков, ускоренное повышение урожайности многолетних трав, устойчивость почв к водной и ветровой эрозии, экологическую устойчивость и эффективность пастбищного хозяйства.

Материалом исследования являлись патентная и научная литература, объектом исследования – технология и лабораторный образец агрегата для внесения семян трав, конструкция которого приспособлена для работ на деградированных почвах с уклоном участков до 16° [7, с. 3; 8, с. 9; 9, с. 527].

Для выполнения поставленной цели разработаны технологическая схема работы лабораторного образца блок-модуля, техническое задание, технические условия на изготовление, агротехнические требования к опытному образцу блок-модуля для поверхностного внесения семян трав [10, с. 201; 11, с. 252], эскизный проект на лабораторный образец блок-модуля. Скомплектованы узлы и детали машины, изготовлен лабораторный образец машины. Проведены наладочные и регулировочные работы, стендовые и полевые испытания блок-модуля (рис. 2). В ходе технической экспертизы руководствовались требованиями ОСТ 70.5.1-82 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины по-

севные. Программа и методы испытаний», ГОСТ Р 54783-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники», ГОСТ 31345-2017 «Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний».

При создании опытного образца сеялки использованы разработки группы механизации СКНИ-ИГПСХ ВНИЦ РАН: патенты на полезную модель РФ «Приспособление для посева семян на склонах» № 144420; «Устройство для подсева семян на склонах» № 153083.

Для увеличения маневренности и уменьшения габаритов сеялка навешивается на мини-трактор Feng Shou 180 (рис. 2). На раме сеялки установлены два ящика для семян, в связи с тем, что норма высева у различных видов трав разная и требует, соответственно, персональной настройки с помощью сменных звездочек (2) и (3). Агрегат должен обеспечивать работу на участках при влажности почвы 60–80 % и твердости до 3,5 МПа. Основные конструктивные технико-эксплуатационные показатели: ширина захвата одного маятникового высевочного аппарата – 40 см, ширина захвата агрегата – 1,8–2,4 м; метод подсева семян – разбросной; количество высевочных аппаратов – 2; производительность – 1,152 га/г; скорость движения агрегата – 6 км/ч; норма высева семян – 3–40 кг/га; крутизна склона – до 16°.

Для привода звездочек оборудована цепная передача от опорно-приводного колеса 6. При постановке агрегата на стоянку он опирается на опорные колеса 6 и 12 в количестве двух каждого типа.

Подсев семян трав выполняется следующим образом (рис. 3): под каждую высевочную катушку высевочного аппарата 1 установлены разбросные конусы (3), в которых смонтированы пробки-заслонки 4, открывающие и закрывающие семяпровод через исполнительный механизм 5, на который сигнал поступает от усилителя сигнала 6. Сигнал формируется в фотоэлементе 7, который его генерирует при отражении света от твердой и гладкой поверхности почвы, оголенной от травостоя. При наличии травостоя на почве фотосигнал (свет) в нем рассеивается и обратного отражения света в фотоэлемент не происходит, сигнал не генерируется и не поступает для открытия заслонки перед катушкой высевочного аппарата.

Для предотвращения ссыпания семян трав в правую или левую часть ящика при работе семенного аппарата на поперечных склонах семенной бункер оборудован перегородками между каждым высевочным аппаратом катушечного типа. Разброс семян производится маятниковым высевочным аппаратом (рис. 4).

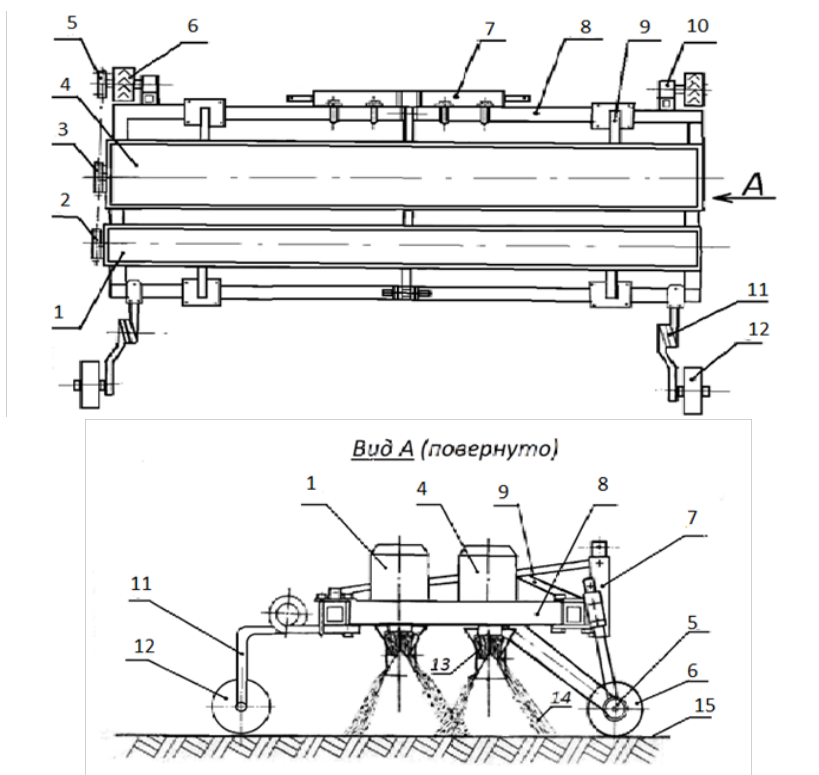


Рис. 2. Конструктивная схема опытного образца сеялки для подсева травосмесей на склоновые участки: 1 – ящик для семян злаковых трав; 2 – привод высевочного аппарата семян злаковых трав; 3 – привод высевочного аппарата семян бобовых трав; 4 – ящик для семян бобовых трав; 5 – ведущая звездочка; 6 – опорно-приводное колесо; 7 – сценка треугольная; 8 – рама сеялки; 9 – кронштейн крепления; 10 – телескопическая стойка крепления колес к раме сеялки; 11 – опорная стойка; 12 – опорное колесо; 13 – разбрасыватель семян трав конусного типа; 14 – факел разбросанных семян трав; 15 – поверхность почвы

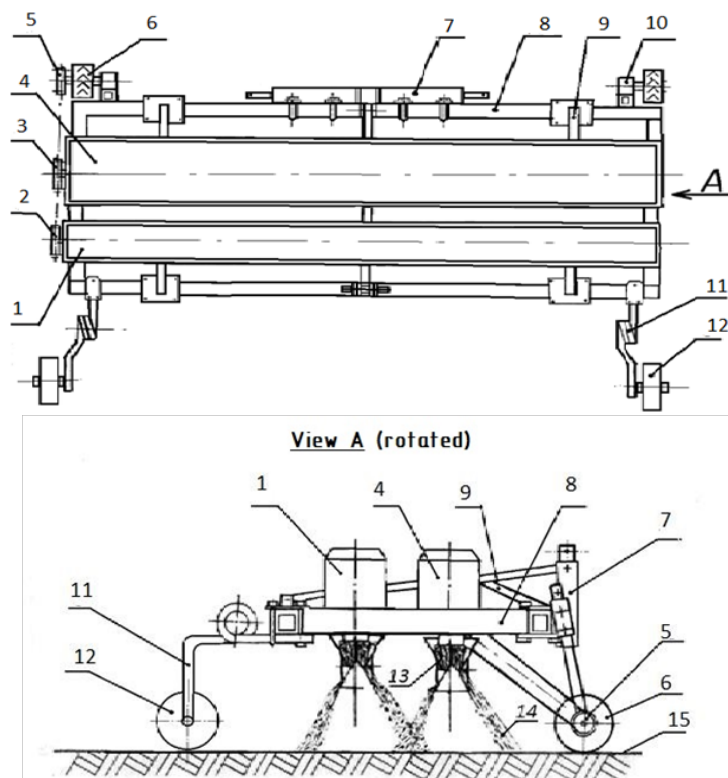


Fig. 2. Design diagram of a prototype seeder for sowing grass mixtures on slope areas:

1 – a box for seeds of cereal grasses; 2 – drive of the sowing machine for seeds of cereal grasses; 3 – drive of the sowing machine for seeds of leguminous grasses; 4 – a box for seeds of legumes; 5 – leading sprocket; 6 – support-drive wheel; 7 – triangular hitch; 8 – seeder frame; 9 – mounting bracket; 10 – telescopic stand for fastening the wheels to the frame of the seeder; 11 – support post; 12 – support wheel; 13 – grass seed spreader cone type; 14 – a torch of scattered grass seeds; 15 – soil surface

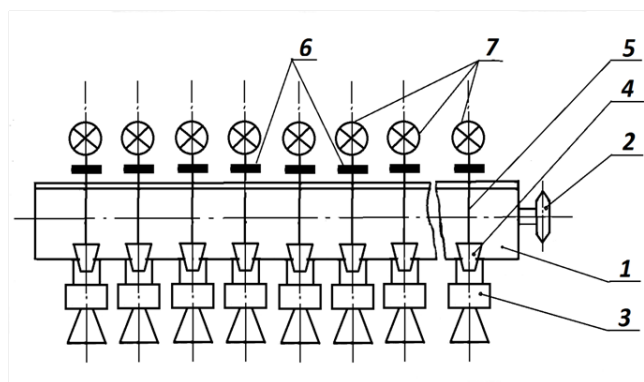


Рис. 3. Схема подсева семян трав к горной сеялке травосмесей:

1 – травяной высевательный аппарат;  
2 – звездочка привода катушек высевательного аппарата;  
3 – высеивная трубка с разбросным конусом; 4 – пробка-заслонка выключения секции высевательного аппарата;  
5 – передаточный механизм от усилителя сигнала к заслонке; 6 – усилитель сигнала от фотоэлементов;  
7 – фотоэлемент, считывающий состояние травяного покрова лугопастбищного участка

Fig. 3. Scheme of sowing grass seeds to a mountain seeder of grass mixtures:

1 – grass seeding machine; 2 – sprocket drive coils of the sowing machine; 3 – sowing tube with a scattering cone;  
4 – plug-flap for turning off the section of the sowing machine; 5 – transmission mechanism from the signal amplifier to the damper; 6 – signal amplifier from photocells;  
7 – a photocell that reads the state of the grass cover of the grassland area

Из рис. 4 видно, что от катушечного высевательного аппарата 1 спонтанный поток семян трав 11 поступает в приемную цилиндрическую трубку 2, а из нее на вершину разбросного конуса 4 с ребрами 5. От вершины конуса семена равномерно распределяются по периметру и по межреберным каналам направляются к основанию конуса под действием гравитационных сил. В районе середины конуса семена под действием воздушного потока 3 распыляются равномерным факелом семян 6 на почву 12.

Маятниковая подвеска 9 конусного разбросного устройства (рис. 4, с) придает разбросному устройству вертикальное положение как на равнине (рис. 4, а), так и на склонах (рис. 4, б). Это обеспечивает равномерное разбрасывание семян, как на равнине, так и на склонах вправо, влево, вперед и назад. Воздух подается по периметру конуса 4 через штуцер 8, а семена 10 в бункере 13 разделены перегородками, направляющими семена на катушечный высевательный аппарат при любых кренах агрегата (вправо, влево, вперед и назад).

Равномерно разбросанные семена по почве в последующем прикатываются в нее двухкаскадными прикатывающими катками.

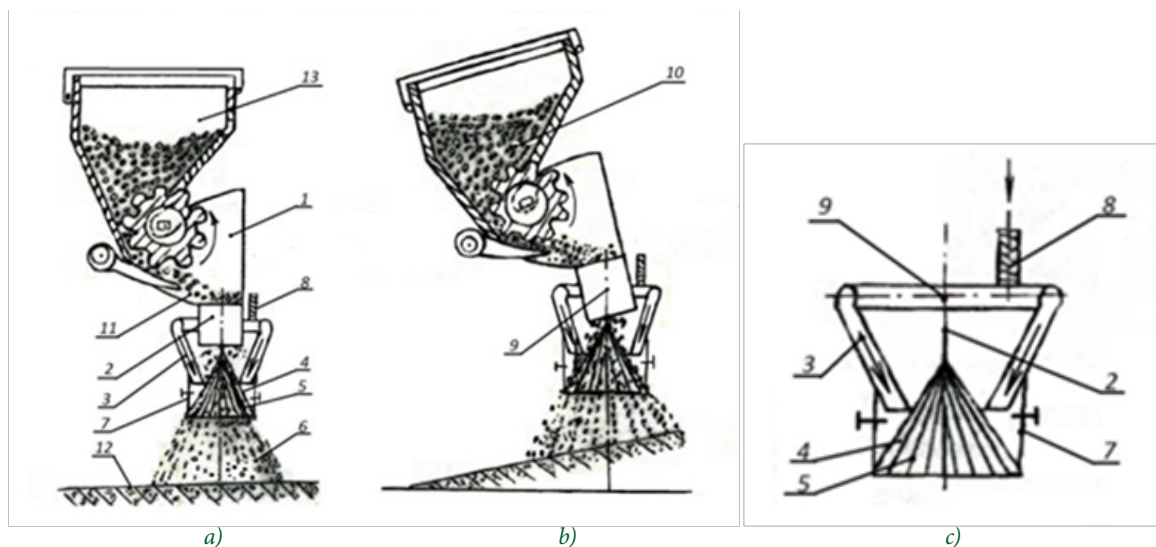


Рис. 4. Маятниковый высевочный аппарат:

a) положение высевочного аппарата на равнине; б) положение высевочного аппарата на склоне; в) конусное разбросное устройство.

- 1 – травяной катушечный высевочный аппарат; 2 – приемная цилиндрическая трубка;  
 3 – направление воздушного потока на разбросной конус; 4 – разбросной конус; 5 – ребра разбросного конуса;  
 6 – факел разбросанных семян; 7 – тяги регулировки вертикального положения разбросного конуса;  
 8 – штуцер для шланга подачи сжатого воздуха; 9 – маятниковая точка подвески конусной разбросной трубки;  
 10 – семена трав; 11 – спонтанный поток семян; 12 – почва; 13 – бункер семян

Fig. 4. Pendulum sowing device:

- a) the position of the sowing unit on the plain; b) the position of the seeding unit on the slope; c) cone spreader.  
 1 – grass reel sowing machine; 2 – receiving cylindrical tube; 3 – the direction of the air flow to the scattering cone;  
 4 – scattering cone; 5 – ribs of a scattering cone; 6 – a torch of scattered seeds; 7 – rods for adjusting the vertical position of the scattering cone; 8 – fitting for compressed air supply hose; 9 – pendulum suspension point of a conical scattering tube;  
 10 – grass seeds; 11 – spontaneous seed flow; 12 – soil; 13 – seed hopper

### Методология и методы исследования (Methods)

Авторами по представленной технологии разработана конструктивная схема и изготовлен лабораторный образец сеялки для подсева травосмесей на горные (склоновые) деградированные луга и пастбища с уклоном до 16°, агрегатированный на китайском мини-тракторе «Feng Shou 180» (возможен вариант агрегатирования на тракторах подобного класса [12, с. 239; 13, с.8].

Испытания лабораторного образца блок-модуля для подсева семян трав проводился на изреженном участке северного склона крутизной 13–16° в местности Сугсадтанрага опорного пункта (с. Даргавс) СКНИИГПСХ. Процесс работы агрегат начинается с движения поперек склона сверху вниз челночным способом [14, с. 714]. Травосмесь состояла из двух видов трав: клевера красного и тимфеевки луговой. Подсев проводился весной, при наступлении положительных температур, без предварительного рыхления дернины. Всходы на этом участке появились дружно на 7–10-й день после посева.

Обогащение травостоя опытного участка ценными в кормовом отношении и более урожайными видами растений, значительно повысили продуктивность и видовой состав угодья (таблица 1).

Результаты наблюдений показывают, что уже на второй год после подсева семян урожай травостоя

увеличился на 90–170 %. Причем по мере повышения высева не только увеличивался сбор кормовой массы, но и изменялся ботанический состав травостоя, повлиявшее на качество корма [15, с. 658].

Так, если в исходном, естественном разнотравно-злаковом травостое соотношение растительных группировок было в пользу разнотравья (72,1 %), то уже при минимальных нормах подсева это соотношение изменилось в пользу злаков (33 %) и бобовых (35 %), а по мере увеличения норм подсева травостой постепенно преобразовывался в бобово-злаково-разнотравный [16, с. 10].

Следовательно, преобладание разнотравья, где доминировали манжетка, тимьян, герань луговая, подорожник скальный, душица обыкновенная и другие, после подсева уступили свое место клеверу красному и тимфеевке луговой, обеспечившим повышение питательной ценности луговых трав с 0,7 до 2,8–3,5 тыс. кормовых единиц /га, при содержании 120–145 г переваримого протеина на 1 корм. ед. сухой массы корма (отчет СКНИИГПСХ 2019–2022 гг.). Техническая экспертиза опытного образца для подсева травосмесей, включающая: техническое описание, инструкцию по эксплуатации согласно техническому заданию (ТЗ) и агротехническим требованиям (АТТ), а также технической характеристике, описаниям функций, выполняемых агрегатом, проводилась согласно ОСТ 10.2.1–2000.

Влияние подсева на урожай и ботанический состав травостоя разнотравно-злакового луга (на второй год после подсева)

Травосмеси	Урожай т/га		Урожай сена, % к контролю	Ботанические группы, %				Разнотравье
	зеленой массы	сена		Злаки		Бобовые		
				всего	в. т. ч. тимopheевка	всего	в. т. ч. клевер	
Без подсева	3,8	1,2	100	19,4	–	8,5	–	72,1
5 кг клевера красного + 3 кг тимopheевки луговой	7,2	2,3	189	33,1	15,2	35,2	28,3	31,7
10 кг клевера красного + 6 кг тимopheевки луговой	9,2	2,8	246	30,6	16,4	41,0	37,2	28,4
15 кг клевера красного + 8 кг тимopheевки луговой	10,5	3,0	269	24,9	19,4	51,5	45,9	23,

Table 1  
Influence of oversewing on the yield and botanical composition of the herbage of a forb-grass meadow (in the second year after oversewing)

Grass mixtures	Yield t/ha		Hay yield, % of control	Botanical groups, %				Different grass
	green mass	hay		Cereals		Legumes		
				total	including timothy	total	including clover	
Without overseeding	3.8	1.2	100	19.4	–	8.5	–	72.1
5 kg red clover + 3 kg meadow timothy	7.2	2.3	189	33.1	15.2	35.2	28.3	31.7
10 kg red clover + 6 kg meadow timothy	9.2	2.8	246	30.6	16.4	41.0	37.2	28.4
15 kg red clover + 8 kg meadow timothy	10.5	3.0	269	24.9	19.4	51.5	45.9	23.

Также проведена оценка монтажепригодности агрегата и функциональных показателей агрегата.

Функциональные показатели опытного образца агрегата для подсева трав на горных лугах и пастбищах определены согласно ОСТ-10.5.1–2000 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Методы оценки функциональных показателей. Минсельхозпрод России».

Производительность агрегата определялась за час работы:

$$W_{\text{час}} = 0,1B_p \cdot V_p \cdot k$$

где  $B_p$  – ширина захвата, м;

$V_p$  – рабочая скорость, км/ч;

$k$  – коэффициент, учитывающий процент использования чистого рабочего времени, – 0,8;

$$W_{\text{час}} = 0,1 \cdot 2,4 \cdot 6 \cdot 0,8 = 1,152 \text{ га/ч.}$$

Производительность агрегата в сезон  $W_{\text{сез}}$  определяется по формуле:

$$W_{\text{сез}} = W_{\text{час}} \cdot k_{\text{см}} \cdot t_{\text{см}} \cdot D_p$$

где  $W_{\text{час}}$  – часовая производительность;

$k_{\text{см}}$  – коэффициент сменности = 1,1;

$D_p$  – в среднем 50 рабочих дней агрегата за сезон (весной, осенью);

$t_{\text{см}}$  – продолжительность смены – 7 ч;

$$W_{\text{сез}} = 1,152 \cdot 1,1 \cdot 7 \cdot 50 = 443,5 \text{ га.}$$

Качество работы опытного образца сеялки определялось после прохода на выделенных делянках

длиной 10 м и шириной 2,4 м в 10-кратной повторности.

Для определения показателя распределения семян по площади участка семена высевали на липкую ленту с последующим измерением интервалов между высеянными семенами. Высев семян на ленту проводили при установившемся режиме всех движущихся частей (высевающих аппаратов, ленты и др.).

### Результаты (Results)

Применение разработанного малогабаритного маневренного лабораторного образца блок-модуля для подсева семян трав на деградированные горные луга и пастбища с уклоном до 16° позволило уже на второй год после подсева семян увеличить урожай травостоя на 90–170 %, постепенно преобразовывая травостой в бобово-злаково-разнотравный, что обеспечило повышение питательной ценности луговых трав с 0,7 до 2,8–3,5 тыс. корм. ед/га при содержании 120–145 г переваримого протеина на 1 корм. ед. сухой массы корма.

Результат технического решения – это снижение затрат на посевной материал в сравнении с ручным посевом, повышение равномерности распределения семян по площади, улучшение травостоя на поврежденных участках, а в результате улучшения – повышение урожайности качества корма. Кроме

того, предлагаемая технология и агрегат позволят повысить производительность труда и рентабельность производства.

Дальнейшие испытания и обработка данных результатов работы лабораторного образца агрегата по влиянию на снижение деградационных процессов склоновых участков, повышение урожайности и качество травостоя запланированы на 2023–2024 гг.

Известно, что максимальное сохранение генофонда горной зоны и поддержание его экологического равновесия – это основные условия экологизации луговодства и кормопроизводства в данных ландшафтных экосистемах. В подобном случае экологическая безопасность горного луговодства должна включать в себя приемы управления ростом кормового травостоя, сохранения плодородия почв горных лугов и пастбищ и обеспечение эрозионной устойчивости. Одним из методов осуществления этих приемов является использование специальной малогабаритной многофункциональной тех-

ники, приспособленной для экологизации работ на горных лугах и пастбищах. Применение подобной техники позволит решить проблему отрицательного воздействия водной и ветровой эрозии на горных участках.

#### **Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)**

Изготовленный агрегат и способ подсева семян трав на склоновые луга и пастбища способствуют образованию более густого травостоя, который препятствует водной и ветровой эрозии почв, обеспечивает снижение деградационных процессов склоновых участков, ускоренное повышение урожайности многолетних трав, экологическую устойчивость и эффективность пастбищного хозяйства. При этом нагрузка на почву при движении агрегата минимизирована до безопасного уровня.

#### **Благодарности (Acknowledgements)**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда. Проект № 23-26-10001.

#### **Библиографический список**

1. Зотов А. А., Агафонова Л. И. Энергоэкономическая оценка естественных пастбищных экосистем России // Нетрадиционное экорастениеводство, селекция, генетика и биоземледелие. Охрана био-ноосферы и космология. Философия естествознания и экообразование в триединстве экономики, экологии и здоровья: труды XXVIII международного научного симпозиума. Алушта, 2019. С. 62–73.
2. Zhang Z., Yu K., Siddique K. H. M., Nan Z. Phenology and sowing time affect water use in four warm-season annual grasses under a semi-arid environment // Agricultural and forest meteorology. 2019. Vol. 269–270. Pp. 257–269. DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.02.027.
3. Кутузова А. А. Научное обеспечение лугового кормопроизводства России // Адаптивное кормопроизводство. 2022. № 3. С. 14–24. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2022-3-14-24.
4. Мамиев Д. М. Перспективы развития биологического земледелия в РСО – Алания // Научная жизнь. 2019. Т. 14. № 9 (97). С. 1396–1402. DOI: 10.35679/1991-9476-2019-14-9-1396-1402
5. Джигилов С. М., Гулуева Л. Р., Коробейник И. А. Агрегат для сгребания камней с одновременным автоматическим подсевом трав на горные луга и пастбища Северного Кавказа // Известия Горского государственного аграрного университета. 2018. Т. 55. № 1. С. 106–112.
6. Солдатова И. Э., Солдатов Э. Д., Гулуева Л. Р. Ресурсосберегающие технологии заготовки сена в горной зоне Центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2021. № 8 (211). С. 18–27. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-211-08-18-27.
7. Кутузова А. А., Тебердиев Д. М., Родионова А. В., Жезмер Н. В., Проворная Е. Е., Запывалов С. А. Экономическая эффективность усовершенствованных технологий создания и использования сеяных сенокосов // Кормопроизводство. 2020. № 3. С. 3–8.
8. Kutuzova A. A., Provornaya E. E., Sedova E. G., Tsybenko N. S. Agro-energy efficiency of using new zoned varieties to create cultivated pastures in the forest zone of the european part of Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. All-Russian Conference with International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants. 2021. Article number 012031. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012031.
9. Савченко И. В. Ресурсосберегающее экологически чистое растениеводство для получения продукции высокого качества // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 5. С. 527–531. DOI: 10.31857/S0869-5873895527-531.
10. Солдатова И. Э., Джигилов С. М., Солдатов Э. Д., Гулуева Л. Р. Средства механизации и технологические приемы восстановления деградированных горных агроландшафтов // Аграрный вестник Урала. 2021. № 3 (206). С. 38–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-206-03-38-45.
11. Завалин А. А., Соколов О. А., Шмырева Н. Я. Экология азотфиксации. Саратов: Амрит, 2019. 252 с.
12. Kutuzova A. A., Kosolapov V. M., Teberdiev D. M. Economic efficiency of creation and use of long-term hayfields on dry lands of the non-chernozem zone // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2nd All-Russian Conference with International Participation “Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants”. 2021. Article number 012060. DOI: 10.1088/1755-1315/901/1/012060.

13. Кудзаев А. Б., Уртаев Т. А., Цгоев А. Э., Коробейник И. А. Адаптивный энергосберегающий культиватор // Сельский механизатор. 2019. № 2. С. 8–9.

14. Kudzaev A., Kalagova R., Tsgoev A., Korobeynik I., Urtaev T. Clarification on the soil cutter parameters used for cultivation // Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture. International Scientific and Practical Conference. Saratov, 2022. Article number 193. DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012193.

15. Kudzaev A. B., Tsgoev A. E., Tsgoev D. V., Korobeinik I. A., Kalagova R. V. Development of an adjustable safety lock with glass and plastic rods used for a reversible plow // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Article number 012025. DOI: 10.1088/1755-1315/488/1/012025.

16. Джибилов С. М., Солдатов Э. Д., Гулуева Л. Р., Солдатова И. Э. Способ решения проблемы деградации горных пастбищ Центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2020. № 6 (197). С. 10–16. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-197-6-10-16.

#### Об авторе:

Людмила Романовна Гулуева<sup>1</sup>, ведущий конструктор лаборатории механизации сельскохозяйственного производства, ORCID 0000-0002-1089-3688, AuthorID 591784; +7 919 420-91-39, [luda\\_gulueva@mail.ru](mailto:luda_gulueva@mail.ru)  
<sup>1</sup>Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Михайловское, Россия

## Technology for improving degraded mountain meadows and pastures in the Central Caucasus

L. R. Gulueva<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup>North Caucasian Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – a branch of the Federal Scientific Center “Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Mikhaylovskoe, Russia

✉E-mail: [luda\\_gulueva@mail.ru](mailto:luda_gulueva@mail.ru)

**Abstract.** The author presented the results of scientific developments and a new device for improving and restoring mountain pasture areas by sowing grass seeds on depleted and thinned grass. The absence of small-sized maneuverable units capable of sowing grass seeds on sparse grass in the mountains was revealed. **The purpose** of the study is to develop and manufacture a laboratory sample of a block module based on a mini-tractor “Fenshow-180”, for surface sowing of grass seeds. **The object** of the study is agrotechnical techniques and an aggregate for the introduction of grass seeds, providing accelerated restoration of mountain pasture areas, increasing the yield of perennial grasses and soil resistance to water and wind erosion. **The objectives** of the research included the substantiation of the technology, the assessment of the effect of sowing grass seeds on the change in the qualitative and quantitative composition of the herbage, the possibility of improving plant nutrition and water-air regime, enriching the fodder herbage by sowing valuable types of herbs. **Methodology and methods.** The tests were carried out in the mountainous zone of the Republic of North Ossetia – Alania, in areas located at an altitude of 1540 meters above sea level. The planting of herbs was carried out on a rarefied section of the northern slope with a steepness of 160 in the area Sugsadtanrag. A technical examination of the unit was carried out according to the agrotechnical requirements and the terms of reference. The surface application of grass seeds was carried out according to the application standards. **Results.** It was found that the laboratory sample of the unit meets the agrotechnical requirements and technical specifications, the herbage yield increased in various areas from 90–170 %, the botanical composition of the herbage changed, which affected the quality of feed, provided an increase in the nutritional value of meadow grasses from 0.7 to 2.8–3.5 thousand fodder units/ha, with a content of 120–145 g digestible protein per 1 feed unit of dry mass of feed. The conclusion is made about the expediency of using the developed block module in mountain meadows and pastures with a slope of up to 16°. **Scientific novelty.** For the first time, a technology has been developed and a small-sized seeder based on a mini-tractor for the restoration of mountain pastures has been manufactured.

**Keywords:** aggregate, mountains, slopes, mini-tractor, grass mixtures, meadows, pastures.

**For citation:** Gulueva L. R. Tekhnologiya uluchsheniya degradirovannykh gornyx lugov i pastbishch Tsentral'nogo Kavkaza [Technology for improving degraded mountain meadows and pastures in the Central Caucasus] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 06 (235). Pp. 13–22. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-13-22. (In Russian.)

## References

1. Zotov A. A., Agafonova L. I. Energoekonomicheskaya otsenka estestvennykh pastbishchnykh ekosistem Rossii [Energy-economic assessment of natural pasture ecosystems in Russia] // *Netraditsionnoe ekorastenievodstvo, selektsiya, genetika i biozemledelie. Okhrana bio-noosfery i kosmologiya. Filosofiya estestvoznaniya i ekoobrazovanie v triedinstve ekonomiki, ekologii i zdorov'ya: trudy XXVIII mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma*. Alushta, 2019. Pp. 62–73. (In Russian.)
2. Zhang Z., Yu K., Siddique K. H. M., Nan Z. Phenology and sowing time affect water use in four warm-season annual grasses under a semi-arid environment // *Agricultural and forest meteorology*. 2019. Vol. 269–270. Pp. 257–269. DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.02.027.
3. Kutuzova A. A. Nauchnoe obespechenie lugovogo kormoproizvodstva Rossii [Scientific support of meadow forage production in Russia] // *Adaptive Fodder Production*. 2022. No. 3. Pp. 14–24. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2022-3-14-24. (In Russian.)
4. Mamiev D. M. Perspektivy razvitiya biologicheskogo zemledeliya v RSO – Alaniya [Prospects for the development of biological farming in the Republic of North Ossetia – Alania] // *Nauchnaya zhizn'*. 2019. Vol. 14. No. 9 (97). Pp. 1396–1402. DOI: 10.35679/1991-9476-2019-14-9-1396-1402. (In Russian.)
5. Dzhibilov S. M., Gulueva L. R., Korobeynik I. A. Agregat dlya sgrebaniya kamney s odnovremennym avtomaticheskim podsevom trav na gornye luga i pastbishcha Severnogo Kavkaza [A unit for raking stones with simultaneous automatic sowing of grasses on mountain meadows and pastures of the North Caucasus] // *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2018. Vol. 55. No. 1. Pp. 106–112. (In Russian.)
6. Soldatova I. E., Soldatov E. D., Gulueva L. R. Resursosberegayushchie tekhnologii zagotovki sena v gornoy zone Tsentral'nogo Kavkaza [Resource-saving technologies for hay harvesting in the mountainous zone of the Central Caucasus] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021. No. 8 (211). Pp. 18–27. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-211-08-18-27. (In Russian.)
7. Kutuzova A. A., Teberdiev D. M., Rodionova A. V., Zhezmer N. V., Provornaya E. E., Zapivalov S. A. Ekonomicheskaya effektivnost' usovershenstvovannykh tekhnologiy sozdaniya i ispol'zovaniya seyanykh senokosov [Economic efficiency of improved technologies for the creation and use of seeded hayfields] // *Kormoproizvodstvo*. 2020. No. 3. Pp. 3–8. (In Russian.)
8. Kutuzova A. A., Provornaya E. E., Sedova E. G., Tsybenko N. S. Agro-energy efficiency of using new zoned varieties to create cultivated pastures in the forest zone of the european part of Russia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. All-Russian Conference with International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants*. 2021. Article number 012031. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012031.
9. Savchenko I. V. Resursosberegayushchee ekologicheskoe chistoe rastenievodstvo dlya polucheniya produktsii vysokogo kachestva [Resource-saving organic crop production for high quality products] // *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*. 2019. Vol. 89. No. 5. Pp. 527–531. DOI: 10.31857/S0869-5873895527-531. (In Russian.)
10. Soldatova I. E., Dzhibilov S. M., Soldatov E. D., Gulueva L. R. Sredstva mekhanizatsii i tekhnologicheskie priemy vosstanovleniya degradirovannykh gornykh agrolandshaftov [Means of mechanization and technological methods for the restoration of degraded mountain agricultural landscapes] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021. No. 3 (206). Pp. 38–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-206-03-38-45. (In Russian.)
11. Zavalin A. A., Sokolov O. A., Shmyreva N. Ya. Ekologiya azotfiktsatsii [Ecology of nitrogen fixation]. Saratov: Amrit, 2019. 252 p. (In Russian.)
12. Kutuzova A. A., Kosolapov V. M., Teberdiev D. M. Economic efficiency of creation and use of long-term hayfields on dry lands of the non-chernozem zone // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2nd All-Russian Conference with International Participation “Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants”*. 2021. Article number 012060. DOI: 10.1088/1755-1315/901/1/012060.
13. Kudzaev A. B., Urtaev T. A., Tsgoev A. E., Korobeynik I. A. Adaptivnyy energosberegayushchiy kul'tivator [Adaptive energy-saving cultivator] // *Selskiy Mechanizator*. 2019. No. 2. Pp. 8–9. (In Russian.)
14. Kudzaev A., Kalagova R., Tsgoev A., Korobeynik I., Urtaev T. Clarification on the soil cutter parameters used for cultivation // *Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture. International Scientific and Practical Conference*. Saratov, 2022. Article number 193. DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012193.
15. Kudzaev A. B., Tsgoev A. E., Tsgoev D. V., Korobeynik I. A., Kalagova R. V. Development of an adjustable safety lock with glass and plastic rods used for a reversible plow // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Article number 012025. DOI: 10.1088/1755-1315/488/1/012025.

**Author's information:**

Lyudmila R. Gulueva<sup>1</sup>, leading designer of the laboratory of agricultural mechanization, ORCID 0000-0002-1089-3688, AuthorID 591784; +7 919 420-91-39, [luda\\_gulueva@mail.ru](mailto:luda_gulueva@mail.ru)

<sup>1</sup> North Caucasian Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – a branch of the Federal Scientific Center “Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Mikhaylovskoe, Russia



## Внутривидовые скрещивания выделенных биотипов родов вяз и тополь для получения гетерозисных селекционных форм

С. Н. Крючков<sup>1</sup>, А. С. Соломенцева<sup>1✉</sup>, А. К. Романенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Россия

✉E-mail: alexis2425@mail.ru

**Аннотация.** Цель исследования – гибридизация и выведение пород древесных видов, устойчивых к неблагоприятным факторам внешней среды в условиях опустынивания. **Методика исследований** включала изучение роста, состояния и долговечности форм и гибридов, выявление биологических свойств (засухо-, соле- и морозоустойчивости), диаметр стволов и декоративность, подбор родительских пар для скрещивания; отработку техники скрещивания на срезанных ветвях. Порядок работы состоял из заготовки сережек растений, сбора пыльцы и очистки ее от примесей, заготовки ветвей и пыльцы, определения жизнеспособности пыльцы, нанесения ее на созревшее рыльце растения. Цветки у ильмовых обоополье, вследствие чего при скрещиваниях их кастрировали. **Результаты.** Подобраны родительские пары и проведена гибридизация среди следующих пород: вяз листоватый (берест) (*Ulmus carpinifolia*), вяз обыкновенный (*Ulmus laevis*), вяз приземистый (мелколистный) (*Ulmus pumila*), тополь белый (серебристый) (*Populus alba*), тополь Болле камышинский (*Populus alba* × *Populus alba* v. *pyramidalis*), тополь дельтовидный (канадский) (*Populus deltoides*), тополь Болле пирамидальный (ФГУП «Волгоградское») (*Populus bolleana*), тополь берлинский (ФГУП «Волгоградское») (*Populus berolinensis* Dipp.), тополь белый Первенец Узбекистана (*Populus nivea* × *tremula*), Тополь черный пирамидальный (*Populus nigra pyramidalis*). Получены гибридные семена между различными видами вязов и между различными видами тополей. Вариант скрещивания тополя белого Первенец Узбекистана с тополем Болле пирамидальным (ФГУП «Волгоградское») показал наилучшие результаты. **Научная новизна** заключается в подборе селекционного материала, устойчивого к различным стресс-факторам, в выделении исходных и перспективных сортообразцов древесных культур для дальнейшего использования в селекции, интродукции, конкурсных и производственных испытаниях.

**Ключевые слова:** селекция, гетерозис, тополь, вяз, скрещивание, гибридизация.

**Для цитирования:** Крючков С. Н., Соломенцева А. С., Романенко А. К. Внутривидовые скрещивания выделенных биотипов родов вяз и тополь для получения гетерозисных селекционных форм // Аграрный вестник Урала. 2023. № 06 (235). С. 23–34. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-23-34.

**Дата поступления статьи:** 26.01.2023, **дата рецензирования:** 28.02.2023, **дата принятия:** 01.03.2023.

### Постановка проблемы (Introduction)

В Волгоградской области ассортимент древесных пород очень ограничен [7; 14]. У большинства из них в первые годы жизни наблюдается хороший прирост, однако по достижении растениями 15–20-летнего возраста рост в высоту прекращается, начинается отмирание вершины и боковых побегов, ввиду чего насаждения из них малопродуктивны и недолговечны [8; 9]. Особого внимания в засушливой зоне заслуживают подбор пород для скрещивания, а также вопрос создания вегетативных гибридов с целью отбора лучших географических форм и выведения ценных гибридов [1; 2; 3; 5; 6].

Работа по гибридизации древесных культур в Волгоградской области была начата в еще 1939 году в Камышинском опорном пункте под руководством профессора, доктора сельскохозяйственных наук А. В. Альбенского [4] и в настоящее время имеет огромное значение в защитном лесоразведении на светло-каштановых почвах засушливой зоны.

На Нижневолжской станции древесных пород до настоящего времени сохранился коллекционный участок гибридов ильмовых на площади 1,2 га. В третьем поколении гибридные формы имеют некоторое преимущество по росту перед

родительскими видами. Гибридизация тополей производится для получения гетерозисных форм, которые можно использовать в лесном хозяйстве и для защитного лесоразведения [13; 16; 17]. Полученные в ходе опыта гибриды могут найти применение в различных районах, а лучшие из них – внедрены в производство, сохранены и распространены в культуре [10; 11; 12; 15].

Целью работы является выведение пород, устойчивых к условиям внешней среды в условиях опустынивания.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Наследственность растения представляет собой потребности органического вещества клеток в определенных условиях существования, полученные новым организмом от его производителей через воспроизводящие клетки их тела. Возможны случаи, когда гибрид не успевает быстро приспособиться к изменившимся условиям и полноценно их использовать, что приводит к ухудшению его роста и развития и понижению жизнестойкости. Подобные факты очень часто наблюдаются при перемещении растений одного и того же вида в различные экологические условия произрастания. Такие же факты возможны и в одной и той же местности при резких изменениях условий обитания – пониженные температуры, меньшая интенсивность света и большая влажность почвы обычно вызывает прекращение роста верхушечных побегов у видов тополя, особенно, в период, когда закладываются верхушечные почки. В основную задачу опыта входил подбор родительских пар; обоснование и прогнозирование хозяйственно-ценных признаков у гибридных потомств. Гибридизация включала следующие этапы:

1. Разработка модели будущего гибридного сортообразца.
2. Изучение (анализ) генетического потенциала исходного материала.
3. Подбор родительских пар (обоснование к формированию гибридных генотипов).
4. Заготовка, хранение пыльцы.
5. Подготовка женских цветков к опылению (изоляция, кастрирование).
6. Опыление (техника скрещивания).
7. Наблюдение и уход за материнскими растениями и формированием гибридных семян.
8. Сбор семян, выращивание гибридного потомства.
9. Изучение, отбор лучших (соответствующих заданной модели) гибридных форм для сортоиспытания и сортовыведения.

Подбор родительских пар включал два семейства: ильмовые и ивовые.

**Ильмовые (*Ulmaceae*).** В регионе произрастают следующие виды вяза:

**Вяз листоватый (берест) (*Ulmus carpinifolia*).** Занимает пониженные местоположения в байрачных и пойменных лесных экосистемах. Аборигенный вид, хорошо адаптированный в экстремальных условиях полупустынного Поволжья. Исключительно зимостоек, относительно засухоустойчив, долговечен (на зональных каштановых почвах возраст составляет 40–60 лет). Легко размножается семенами, порослевым возобновлением, требователен к почвенному плодородию. Недостатки: плохо переносит засоление почвогрунтов, подвержен возбудителям голландской болезни (графиоз), особенно во влажных местопроизрастаниях, образует обильные корневые отпрыски.

**Вяз обыкновенный (*Ulmus laevis*).** Естественное растение в пойменных и байрачных дубравах, более требователен к почвам, очень декоративен; засухоустойчив. Долговечность составляет 30–50 лет на зональной почве.

**Вяз приземистый (мелколиственный) (*Ulmus pumila*)** – интродуцент (ареал – Средняя Азия, Монголия, Дальний восток), исключительно засухо- и солеустойчив, отличается интенсивным ростом и ажурной кроной, достаточно устойчив к возбудителям голландской болезни. Недостаточно зимостоек, подмерзает в суровые зимы, интенсивно поражается вязовым листоедом и другими листогрызущими вредителями.

Цель получения новых гибридов ильмовых – сформировать гибридные потомства: долговечные, засухо-, соле-, морозоустойчивые, стойкие к вредителям (листоедам) и болезням (особенно к графиозу), высокорослые, с ажурной кроной, декоративные, с хорошей репродуктивной способностью.

Такой генотип (или близкий по набору ценных признаков) можно получить при отборе (отбраковке) разных вариантов скрещиваний всех трех видов вяза (таблицы 1, 2).

**Ивовые (*Salicaceae*).** Виды и формы, взятые для гибридизации:

**Тополь белый (серебристый) (*Populus alba*)** (г. Волгоград) – дерево высотой 35–40 м, диаметр ствола достигает 2 м. Быстрорастущий вид, используемый в декоративных, озеленительных, берегоукрепительных насаждениях. Главное достоинство данного вида – засухо-, морозоустойчивость, дымо- и газоустойчивость, а также малый процент поражения сердцевинной гнилью.

**Тополь Болле Камышинский (*Populus alba* × *alba v. pyramidalis*).** Гибрид, полученный А. В. Альбенским путем скрещивания тополя белого с тополем Болле. Основные достоинства – зимостойкость, быстрый рост, декоративность. Подходит для выращивания в озеленительных и полезащитных насаждениях.

Таблица 1

## Схема скрещиваний разных видов ильмовых

Отцовские виды	Вяз приземистый ( <i>Ulmus pumila</i> )	Вяз обыкновенный ( <i>Ulmus laevis</i> )	Вяз листоватый (берест) ( <i>Ulmus carpinifolia</i> )	Вяз приземистый, форма пирамидальная ( <i>Ulmus pumila</i> × <i>pyramidalis</i> )
Материнские виды				
Вяз приземистый ( <i>Ulmus pumila</i> )		+	+	
Вяз обыкновенный ( <i>Ulmus laevis</i> )	+			
Вяз листоватый (берест) ( <i>Ulmus carpinifolia</i> )	+			
Вяз приземистый, форма пирамидальная ( <i>Ulmus pumila</i> × <i>pyramidalis</i> )	+	+	+	

Table 1

## The scheme of crosses of different types of elm

Paternal views	<i>Ulmus pumila</i>	<i>Ulmus laevis</i>	<i>Ulmus carpinifolia</i>	<i>Ulmus pumila</i> × <i>pyramidalis</i>
Материнские виды				
<i>Ulmus pumila</i>		+	+	
<i>Ulmus laevis</i>	+			
<i>Ulmus carpinifolia</i>	+			
<i>Ulmus pumila</i> × <i>pyramidalis</i>	+	+	+	

Таблица 2

## Схема скрещиваний разных видов ильмовых, направление селекции при гибридизации ильмовых для лесомелиорации и озеленения

Исходные виды	Место выделения	Хозяйственно ценные признаки
Вяз листоватый (берест) ( <i>Ulmus carpinifolia</i> )	ЗЛН (Богдинский заповедник, клоновая ЛСП Кировского лесничества)	Засухо-, зимостойкий, долговечен в условиях полупустынь
Вяз приземистый (мелколистный) ( <i>Ulmus pumila</i> )	ЗЛН Астраханской, Волгоградской обл., ЛСП Кировского лесничества	Устойчив к графйозу, листогрызущим вредителям, ажурность кроны, интенсивный рост, солеустойчивость
Вяз обыкновенный ( <i>Ulmus laevis</i> )	ЗЛН Астраханской, Волгоградской обл., ЛСП Кировского лесничества	Засухоустойчивость, декоративность

Table 2

## The scheme of crosses of different species of elm trees, the direction of breeding during hybridization of elm trees for forest reclamation and landscaping

Initial views	Place of allocation	Economically valuable signs
<i>Ulmus carpinifolia</i>	Protective forest stands (Bogdinsky Nature Reserve, forest seed plantations of Kirov forestry)	Drought-, winter-hardy, durable in semi-desert conditions
<i>Ulmus pumila</i>	Protective forest stands of Astrakhan, Volgograd region, forest seed plantations of Kirov forestry	Resistant to graphiosis, leaf-eating pests, crown tracery, intensive growth, salt resistance
<i>Ulmus laevis</i>	Protective forest stands of Astrakhan, Volgograd region, forest seed plantations of Kirov forestry	Drought resistance, decorative

**Тополь дельтовидный (канадский) (*Populus deltoides*).** Дерево высотой 40–45 м с диаметром ствола 2 м, среднезасухоустойчивое, морозостойкое, теплолюбивое, устойчивое к вредителям и болезням.

**Тополь Болле пирамидальный (ФГУП «Волгоградское») (*Populus bolleana*)** – быстрорастущее декоративное дерево высотой 30–35 м с диаметром кроны 80–100 см (форма кроны – пирамидальная). В насаждениях преобладают мужские особи, отлично возобновляемые корневыми отпрысками

и порослью. Засухоустойчивый, теплолюбивый, ветроустойчивый вид, отлично переносящий засоление почв, ввиду чего имеет преимущество перед другими видами тополей.

**Тополь берлинский** (ФГУП «Волгоградское») (*P. berolinensis* Dipp.). Получен в Берлинском ботаническом саду от свободного опыления тополей лавролистного и пирамидального. Достигает высоты 35 м. Имеет хорошо выраженный малосбежистый ствол и широкопирамидальную или вытянуто-яйцевидную густую крону. Размножается преимущественно стеблевыми черенками. Зимостоек, при достаточном увлажнении растет быстро. Этот гибрид может быть рекомендован для полезащитных лесных полос на орошаемых землях и посадок по балкам.

**Тополь белый Первенец Узбекистана** (*P. nivea* × *tremula*). Тополь гибридного происхождения, получен в 1949 г. В. М. Ровским и Г. П. Озолиным от скрещивания тополя снежно-белого с осиною гигантской. Отличается быстротой роста – маточное дерево в возрасте 12 лет при обильном поливе имело в высоту 23 м и диаметр 27 см. Ствол прямой, слегка ребристый; кора снизу трещиноватая, выше – гладкая, синевато-серого цвета летом и беловатая зимой. Крона широкопирамидальная, образуемая некрупными ветвями. В насаждении

ствол хорошо очищается от сучьев. Представлен только женскими экземплярами. Хорошо размножается стеблевыми черенками. Нетребователен к почве, при достаточной влагообеспеченности переносит засоление; устойчив к цитоспориозу и поражению тополевой щитовкой.

**Тополь черный пирамидальный** (*Populus nigra pyramidalis*) – самый быстрорастущий вид тополей. Дерево высотой 30–35 м, с диаметром ствола 2,5 м. Нетребователен к типу почв, солеустойчив, отлично выдерживает затопление, ввиду чего может использоваться в противоэрозийных насаждениях. Может быть рекомендован к посадке в озеленительные и полезащитные насаждения (таблица 3).

### Результаты (Results)

Для характеристики наследования продуктивности гибридный материал распределялся в связи с систематической отдаленностью видов, отобранных для скрещивания. Скрещивание видов рода *Ulmus* проводилось в апреле. Ранее при скрещиваниях было обнаружено, что после кастрации рыльца были готовы к опылению, но пыльники не раскрывались, поэтому опылялись изолированные цветки на молодых деревьях без кастрации (таблица 4).

Таблица 3  
Схема скрещиваний тополей

Отцовские виды Материнские виды	Тополь белый (Волгоград) ( <i>Populus alba</i> )	Тополь Болле пирамидальный (ФГУП «Волгоградское») ( <i>Populus Bolleana f. pyramidalis</i> )
Тополь Болле Камышинский ( <i>Populus alba</i> × <i>alba v. pyramidalis</i> )	+	+
Тополь дельтовидный ( <i>Populus deltoids</i> )	+	+
Тополь берлинский (ФГУП «Волгоградское») ( <i>Populus berlinensis</i> )	+	+
Тополь пирамидальный (Камышин)	+	
Тополь черный пирамидальный ( <i>Populus nigra f. pyramidalis</i> )	+	+
Тополь белый «Первенец Узбекистана» ( <i>Populus nivea</i> × <i>tremula</i> )		+

Table 3  
Scheme of poplar crosses

Paternal views Maternal views	<i>Populus alba</i> (Volgograd)	<i>Populus Bolleana f. pyramidalis</i> (Volgograd)
<i>Populus alba</i> × <i>alba v. pyramidalis</i>	+	+
<i>Populus deltoids</i>	+	+
<i>Populus berlinensis</i>	+	+
<i>Populus pyramidalis</i> (Kamyshin)	+	
<i>Populus nigra f. pyramidalis</i>	+	+
<i>Populus nivea</i> × <i>tremula</i>		+

Таблица 4  
Варианты скрещиваний вязов

№ варианта скрещивания	Скрещиваемые виды*
1	В × Б
2	В × Б
3	В × Б
4	В × Во
5	В × Во
6	Вп × Во
7	Вп × Б
8	В × Вп
9	Вп × В

\*Примечание. В – вяз приземистый – типичный, Во – вяз обыкновенный (гладкий), Вп – вяз пирамидальный, Б – вяз граболистный (берест).



Рис. 1. Полученные гибридные семена и растения вяза  
Fig. 1. Obtained hybrid seeds and elm plants

Спустя две недели с момента начала опыта семена завязались лишь на трех вариантах – 4, 5 и 8 (рис. 1). В ходе исследований было установлено, что лучше всего семена сохраняются в герметически закрытых колбах.

Выявлено, что совпадение или сближение дат цветения позволяет получать искусственным путем гибриды ильмовых или гибридные семена можно получать ежегодно путем переопыления и использовать их для создания гибридных насаждений.

Количества семян было крайне мало из-за старшего возраста опытных исходных образцов, для сохранения материала они были перемещены в пи-

Table 4  
Variants of elm crosses

No. of the crossing option	Crossed species*
1	<i>E</i> × <i>H</i>
2	<i>E</i> × <i>H</i>
3	<i>E</i> × <i>H</i>
4	<i>E</i> × <i>Ec</i>
5	<i>E</i> × <i>Ec</i>
6	<i>Ep</i> × <i>Ec</i>
7	<i>Ep</i> × <i>H</i>
8	<i>E</i> × <i>Ep</i>
9	<i>Ep</i> × <i>E</i>

\* Note. *E* – squat elm – typical, *Ec* – common elm (smooth), *Ep* – pyramidal elm, *H* – hornbeam elm.

тательную среду, но не выжили. Оставшиеся растения помещены под дальнейшие наблюдения в климатостат. Опыт требует дальнейшего изучения в целях подбора материала и вариантов скрещивания, так как нанесение пыльцы на рыльца или введение ее в изоляторы не изменяет результатов скрещивания.

Гибриды В × Вп, полученные от переопыления, имеют достаточно хорошее развитие и интенсивный рост, следовательно, можно рассчитывать, что гибридные семена являются основой создания быстрорастущих насаждений.

В апреле также проводилась работа по скрещиванию видов рода *Populus*. В результате подбора и изучения исходного материала было получено 10 вариантов скрещивания:

1. Тополь Болле камышинский × тополь белый (Волгоград).
2. Тополь пирамидальный (Камышин) × тополь белый (Волгоград).
3. Тополь дельтовидный × тополь белый (Волгоград).
4. Тополь Болле камышинский × тополь Болле пирамидальный (ФГУП «Волгоградское»).
5. Тополь черный пирамидальный × тополь белый (Волгоград).
6. Тополь берлинский (ФГУП «Волгоградское») × тополь белый (Волгоград).
7. Тополь дельтовидный × тополь Болле пирамидальный (ФГУП «Волгоградское»).
8. Тополь белый Первенец Узбекистана × тополь Болле пирамидальный (ФГУП «Волгоградское»).
9. Тополь черный пирамидальный × тополь Болле пирамидальный (ФГУП «Волгоградское»).
10. Тополь берлинский (ФГУП «Волгоградское») × тополь Болле пирамидальный (ФГУП «Волгоградское»).

Для предотвращения смешивания пыльцы в процессе опыления на женские ветви были надеты изоляторы (рис. 2).



Рис. 2. Опыленные женские особи тополя после скрещивания в лабораторных условиях  
Fig. 2. Pollinated female poplar specimens after crossing in laboratory conditions

Таблица 5  
Результаты проращивания семян гибридов тополя

Вариант скрещивания	Поставлено на проращивание, шт.	Проросло спустя 5 дней	Процент жизнеспособности семян
1	24	17	70,8
2	100	33	33
4	8	6	75
5	100	56	56
8	100	74	74
9	70	63	90
10	16	8	50

Table 5  
Results of germination of poplar hybrid seeds

The option of crossing	Was put on germination, pcs.	Germinated after 5 days	The percentage of viability of seeds
1	24	17	70.8
2	100	33	33
4	8	6	75
5	100	56	56
8	100	74	74
9	70	63	90
10	16	8	50

В середине мая были собраны первые семена гибридов тополя, проявивших положительные результаты, и был проведен опыт проращивания семян на жизнеспособность (таблица 5, рис. 3).

В каждом случае опыта способность к выживанию, предположительно, может сочетаться с хозяйственно ценными признаками роста. Ввиду быстрого роста семян и сеянцев у тополей возможно получить высокие семенные семьи или клоны спустя несколько месяцев после отбора.

Основные исследования включали в себя изучение биологических и физиологических свойств семян, способов их хранения и подготовки к посеву.

Вариант скрещивания тополя белого Первенец Узбекистана с тополем Болле пирамидальным (ФГУП «Волгоградское») показал наилучший результат. На основании этих результатов появилась возможность отобрать сильно растущие сеянцы, расчеренковать их и размножить в отделении питомника.

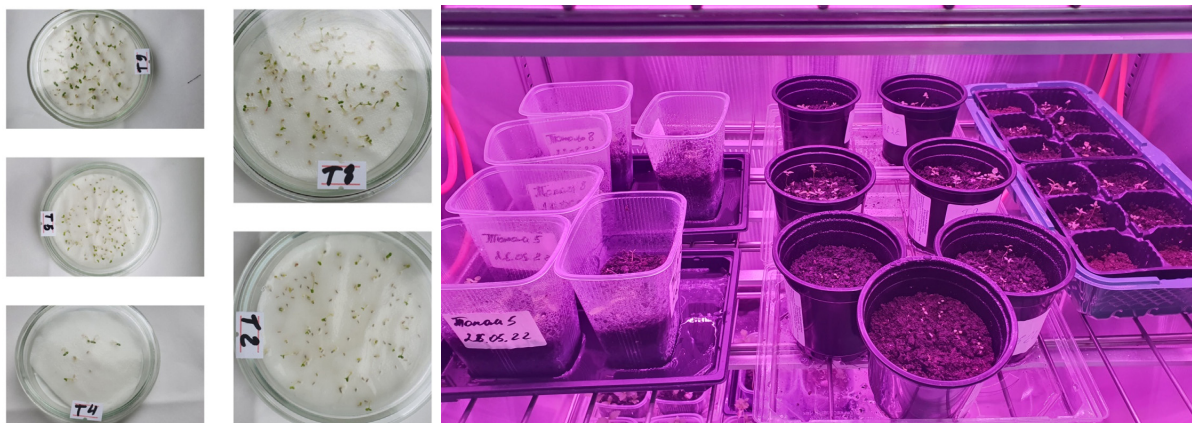


Рис. 3. Проращивание семян тополя в чашках Петри и под освещением в стеллаже для роста растений STELLAR-ФИТО LINE P6-C

Fig. 3. Germination of poplar seeds in Petri dishes and under lighting in a plant growth rack STELLAR-PHYTO LINE P6-C

Остальные семена стали отставать в развитии и отличались практически равномерным ростом и развитием. Выявленная закономерность имеет как теоретическое, так и практическое значение. В теоретическом плане она расширяет возможности селекции и генетики, в практическом позволяет определить хозяйственно ценные признаки и использовать результаты скрещивания в хозяйственных целях.

При посадке пророщенных семян на закрытый грунт и дальнейших наблюдениях было установлено, что на быстрый рост сеянцев влияла не генетическая информация, передаваемая материнским растением, а микроусловия места произрастания (таблица 6, рис. 5).

По итогам гибридизации тополей можно сделать выводы о том, что по результатам всхожести семян в 10 повторностях три варианта не дали семян (3, 6, 7). Процент всхожести составил 50 % у варианта скрещивания. Всхожесть семян у шести вариантов показала 50 % и более, только вариант скрещивания тополя пирамидального (Камышин) с тополем белым (Волгоград) имеет низкую всхожесть – всего 33 %, наилучшие показатели у следующих гибридов: тополь белый Первенец Узбекистана × тополь Болле пирамидальный (ФГУП «Волгоградское») и тополь черный пирамидальный × тополь Болле пирамидальный (ФГУП «Волгоградское»). Сохранность растений в целом удовлетворительная (рис. 6).

Основной задачей главных древесных видов в лесомелиоративных насаждениях аридной зоны является осуществление целевого лесомелиоративного влияния на функции лесной полосы. Однако конкретное проявление генетических особенностей древесной породы проявляется под непосредственным влиянием почвенно-гидрологических и климатических условий конкретного района произрастания.

В данный момент агролесомелиоративное устройство засушливых регионов требует подбора более жизнестойких, засухо- и морозостойких, а также солеустойчивых форм. По данным С. Н. Крючкова, на 1 га ЗЛН в сухостепной и полупустынной зоне Волгоградской области требуется 2,0 кг семян вяза и 0,4 кг семян тополя. На всю площадь защитных лесных насаждений требуется в сухой степи 3098 кг семян вяза и 124 кг семян тополя, в полупустынной зоне – 734 кг семян вяза. Из вышеизложенного видно необходимость выращивания разнообразного посадочного материала в зависимости от условий выращивания.

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

При селекции тополей наилучший результат показали варианты скрещивания Первенец Узбекистана × тополь Болле пирамидальный (ФГУП «Волгоградское») и тополь черный пирамидальный × тополь Болле. Полученные гибриды отличаются хорошим ростом и развитием, быстрым приростом и увеличением размеров листовых пластин. Применение гибридизации позволит распространить их в культуре в различных географические районы страны и впоследствии успешно акклиматизировать в регионах, где они не росли, повысить производительность и долговечность насаждений тополя, увеличить общие размеры деревьев, повысить устойчивость к вредителям и болезням, создать новые декоративные формы. При скрещивании вяза, вероятно, присутствуют небольшие генетические различия между видами, в этом случае оплодотворение при попадании пыльцы другого вида происходило, но гибридный эмбрион развивался слабо, ввиду чего растение быстро погибало. Следует уделить внимание подбору видов для комбинаций скрещивания, изучению развития эмбриона в нескольких комбинациях скрещивания видов и улучшению гибридных комбинаций многократным повторением скрещиваний нескольких отобранных особей одного вида с особями другого вида.

Таблица 6  
Сохранность гибридных тополей по вариантам скрещивания

Вариант скрещивания	Всего в закрытом грунте, шт.	Сохранность растений, %
1	4	100
2	17	29
4	3	0
5	39	23
8	19	32
9	50	26
10	6	83

Table 6  
Preservation of hybrid poplars by crossing options

The option of crossing	Everything in the closed ground, pcs.	Plant safety, %
1	4	100
2	17	29
4	3	0
5	39	23
8	19	32
9	50	26
10	6	83

Агротехнологии

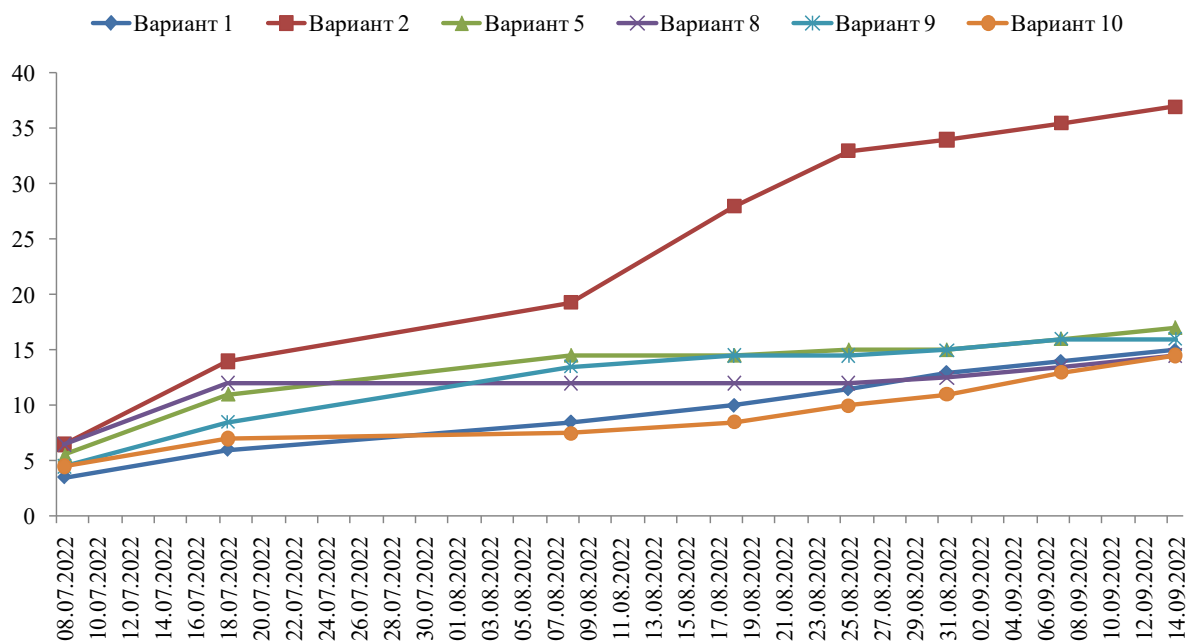


Рис. 5. Рост гибридных тополей в закрытом грунте по вариантам скрещивания

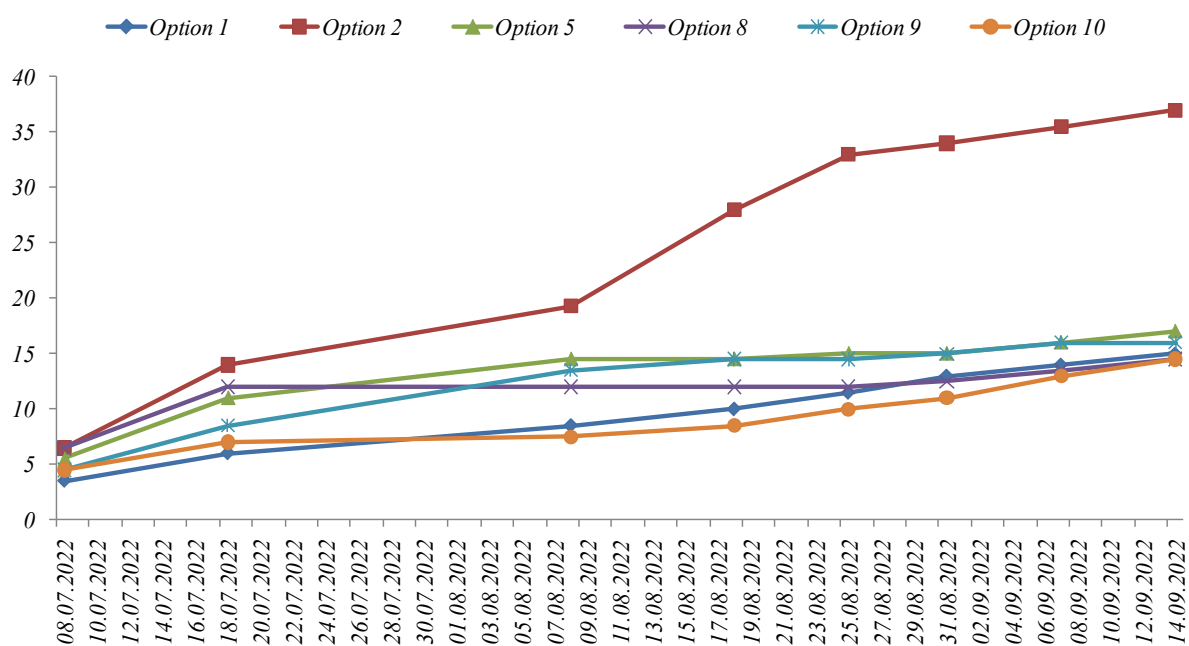


Fig. 5. Growth of hybrid poplars in the closed ground by crossing options





Рис. 6. Сеянцы тополей (варианты скрещиваний 1, 5, 8) в лабораторных условиях  
 Fig. 6. Poplar seedlings (variants of crosses 1, 5, 8) in laboratory conditions

Скрещивая родственные между собой виды или географически удаленные биотипы в пределах вида, развивавшиеся и сложившиеся в различной обстановке, возможно в потомстве от этих скрещиваний отобрать такие гибридные растения, в которых объединяются потребности обоих видов или климатипов одного вида. Так, например, для тополя Болле (ареал – сухие субтропики) условия засушливой, солнечной и жаркой второй половины лета аридной зоны благоприятны для быстрого накопления вегетативной массы, а для североамериканского вида тополя дельтовидного эти условия могут быть неблагоприятными. В процессе исследования было установлено, что различные виды тополей, растущих в лесных полосах, обладают неодинаковым иммунитетом к сердцевинной гнили. Одни из них легко заболевают данной болезнью и быстро погибают или теряют хозяйственную ценность, другие же оказываются значительно более устойчивыми к гнили и растут здоровыми до зрелого возраста. Более высоким иммунитетом к заболеванию сердцевинной гнилью обладают те виды тополя, в кернах которых сильно развита механическая ткань (либриформ) и в меньшей степени ткани запасующие (сердцевинные лучи) и проводящие. Наиболее устойчивыми к гнили оказались виды, у которых в годичных слоях имеется либриформа от 70 % и выше по площади среза. Наоборот, виды тополя, у которых в годичных слоях по преимуществу развивается проводящая и запасующая ткани за счет механической, обычно легко подвержены заболеванию сердцевинной гнилью и

сильно ей повреждаются. У таких видов древесина при взятии образцов отличается рыхлостью и легко режется.

Наиболее устойчивые виды одновременно обладают сильным ростом, хорошо очищаются от побегов, и все эти особенности часто оказываются наследственными. Выявляя и размножая такие формы в природе, можно значительно улучшить производительность лесных полос и их санитарное состояние. Поскольку в ходе опыта были установлены варианты скрещиваний, когда гибриды были мало жизнеспособными, то в ходе последующих опытов возможен подбор тех комбинаций скрещивания, при которых будут получены семена, дающие особенно жизнестойкое и быстрорастущее потомство.

При объединении наследственных особенностей этих двух видов в новом гибриде последний может оказаться значительно лучше приспособленным к сильному вегетативному росту в более засушливых условиях. То же самое можно предполагать и в отношении его лучшей приспособленности и к другим факторам среды. Хорошая корнеотпрысковая способность тополя и вяза в засушливых условиях Волгоградской области дает лесному хозяйству возможность получать посадочный материал от наиболее удавшихся скрещиваний и от лучших по свойствам гибридных сеянцев первого поколения ( $F_1$ ) в продолжение многих лет, сохраняя ценные наследственные особенности этих сеянцев. Для этого всю популяцию лучших по свойствам сеянцев (что может быть отмечено

уже на однолетних гибридах) можно высаживать в маточные плантации и через определенные промежутки времени выкапывать для лесных посадок высаженные сеянцы, а затем появляющиеся после их выкопки корневые отпрыски, которые в полной мере повторяют и сохраняют ценные свойства гибридных сеянцев первого поколения.

#### Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 122020100448-6 «Создание новых

конкурентноспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

#### Библиографический список

1. Беляев А. И., Манаенков А. С., Пугачева А. М. [и др.]. Создание долговечных полезных лесных полос на юге Западной Сибири: методические рекомендации. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2022. 36 с.
2. Завьялов А. А., Иозус А. П. Некоторые итоги селекции вяза в сухой степи Юго-Востока Европейской территории России // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 3. С. 66–70.
3. Завьялов А. А., Иозус А. П., Макаров В. М. Генетическая оценка результатов гибридизации кленов и вязов в условиях Юго-Востока Европейской части России // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 4. С. 173–176.
4. Иозус А. П., Завьялов А. А., Крючков С. Н. Гибридизация вязов *Ulmus* L. в сухой степи Юго-Востока Европейской территории России // Успехи современного естествознания. 2022. № 7. С. 14–19. DOI: 10.17513/use.37850.
5. Иозус А. П., Завьялов А. А., Крючков С. Н. Селекционное семеноводство перспективных интродуцентов в сухой степи // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 1. С. 141–145.
6. Крючков С. Н., Вдовенко А. В., Воробьева О. М. [и др.]. Технология выращивания посадочного материала древесных видов в засушливых условиях Юга России. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. 108 с.
7. Кулик К. Н., Иванов А. Л., Рулев А. С. [и др.]. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, 2018. 36 с.
8. Крючков С. Н., Солонкин А. В., Соломенцева А. С. [и др.]. Растения коллекционного фонда ФНЦ агроэкологии РАН как источники ценных признаков для биоресурсной коллекции // Генетические ресурсы растений для генетических технологий: к 100-летию Пушкинских лабораторий ВИР: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Санкт Петербург, 2022. С. 30–32
9. Крючков С. Н., Беляев А. И., Пугачева А. М. [и др.] Научно-методические указания по сортовому семеноводству деревьев и кустарников для лесомелиорации аридных территорий (научно-методические рекомендации). Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2022. 52 с.
10. Милютин Л. И. Проблемы аналитической селекции древесных растений // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2018. Т. 21. С. 145–147.
11. Сахаров В. И. Методы оценки эколого-генетической структуры популяций древесных видов для выбора модели селекции. Алматы, 2006. 384 с.
12. Сиволапов А. И., Сиволапов В. А. Системы селекции тополей в связи с системами их размножения // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2020. Т. 8. № 1 (48). С. 144–149. DOI: 10.34220/2308-8877-2020-8-1-144-149.
13. Царев А. П., Плугатарь Ю. В., Царева Р. П. Селекция и сортоиспытание тополей: монография. Симферополь: Издательство Типография «Ариал», 2019. 252 с.
14. Solomentseva A. S., Kolmukidi S. V., Lebed N. I. et al. Tree-shrub species promising for protective afforestation and planting in the Volgograd region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Moscow, 2020. Article number 012056. DOI: 10.1088/1755-1315/579/1/012056.
15. Hilbert D. R., Koeser A. K., Roman L. A. et al. Selecting and Assessing Underutilized Trees for Diverse Urban Forests: A Participatory Research Approach // Frontiers in Ecology and Evolution. 2022. Vol. 10. Article number 759693. DOI: 10.3389/fevo.2022.759693.
16. Ghezehi S. B., Nichols E. G., Hazel D. W., Maier C. A. Adaptability of populus to physiography and growing conditions in the southeastern USA // Forests. 2019. Vol. 10. No 2. Article number 118. DOI: 10.3390/f10020118.
17. Yáñez M. A., Zamudio F., Espinosa C. et al. Assessing wood properties on hybrid poplars using rapid phenotyping tools // New Forests. 2020. DOI: 10.1007/s11056-020-09799-x.

**Об авторах:**

Сергей Николаевич Крючков<sup>1</sup>, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ORCID 0000-0001-8338-6460, AuthorID 357954; +7 999 625-12-23, [kryuchkov@vfanc.ru](mailto:kryuchkov@vfanc.ru)

Александра Сергеевна Соломенцева<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0002-5857-1004, AuthorID 756338; +7 906 403-76-58, [alexis2425@mail.ru](mailto:alexis2425@mail.ru)

Алмагуль Кадыргалиевна Романенко<sup>1</sup>, аспирант, младший научный сотрудник, ORCID 0000-0002-6705-6135, AuthorID 1125490; +7 904 422-96-82, [romanenko-ak@vfanc.ru](mailto:romanenko-ak@vfanc.ru)

<sup>1</sup> Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Россия

## Intraspecific crosses of selected biotypes of the *Ulmus* and *Populus* genera to obtain heterotic breeding forms

S. N. Kryuchkov<sup>1</sup>, A. S. Solomentseva<sup>1✉</sup>, A. K. Romanenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Centre for Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

✉ E-mail: [alexis2425@mail.ru](mailto:alexis2425@mail.ru)

**Abstract.** The purpose of the study is hybridization and breeding of tree species resistant to environmental conditions in conditions of desertification. **Research methodology** included the study of the growth, condition and durability of forms and hybrids, the identification of biological properties (drought, salt and frost resistance), the quality of trunks and decorativeness, the selection of parent pairs for crossing; the development of crossing techniques on cut branches. The order of work consisted of harvesting plant catkins, collecting pollen and cleaning it from impurities, harvesting branches and pollen, determining the viability of pollen, applying it to the mature stigma of the plant. The flowers of the ilmovs are bisexual, as a result of which they were castrated during crosses. **Results.** Parental pairs were selected and hybridization was carried out among the following breeds: *Ulmus carpinifolia*, *Ulmus laevis*, *Ulmus pumila*, *Populus alba*, *Populus alba* × *Populus alba* v. *Populus pyramidalis*, *Populus deltoides*, *Populus bolleana*, *Populus berolinensis*, *Populus nivea* × *Populus tremula*, *Populus nigra pyramidalis*. Hybrid seedlings were obtained between different types of elms and between different types of poplars. The variant of crossing the white poplar Pervenets Uzbekistana with the Bolle F. pyramidal poplar (FGUP “Volgogradskoe”) showed the best results. **Scientific novelty** lies in the selection of breeding material resistant to various stress factors. Selection of initial and promising varieties of tree crops for further use in breeding, introduction, competitive and production tests.

**Keywords:** selection, heterosis, poplar, elm, crossing, hybridization.

**For citation:** Kryuchkov S. N., Solomentseva A. S., Romanenko A. K. Vnutrividovye skreshchivaniya vydelenykh biotipov rodov vyaz i topol' dlya polucheniya geterozisnykh selektsionnykh form [Intraspecific crosses of selected biotypes of the *Ulmus* and *Populus* genera to obtain heterotic breeding forms] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 06 (235). Pp. 23–34. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-23-34. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 26.01.2023, **date of review:** 28.02.2023, **date of acceptance:** 01.03.2023.

### References

1. Belyaev A. I., Manaenkov A. S., Pugacheva A. M. et al. Sozdanie dolgovechnykh polezashchitnykh lesnykh polos na yuge Zapadnoy Sibiri: metodicheskie rekomendatsii [Creation of long-lasting protective forest strips in the south of Western Siberia: methodological recommendations]. Volgograd: Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences, 2022. 36 p. (In Russian.)
2. Zav'yalov A. A., Iozus A. P. Nekotorye itogi selektsii vyaza v sukhoy stepi Yugo-Vostoka Evropeyskoy territorii Rossii [Some results of elm breeding in the dry steppe of the South-East of the European territory of Russia] // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2019. No. 3. Pp. 66–70. (In Russian.)
3. Zav'yalov A. A., Iozus A. P., Makarov V. M. Geneticheskaya otsenka rezul'tatov gibridizatsii klenov i vyazov v usloviyakh Yugo-Vostoka Evropeyskoy chasti Rossii [Genetic evaluation of the results of hybridization of maples and elms in the conditions of the South-East of the European part of Russia] // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2019. No. 4. Pp. 173–176. (In Russian.)

4. Iozus A. P., Zav'yalov A. A., Kryuchkov S. N. Gibrizatsiya vyazov *Ulmus L.* V sukhoy stepi Yugo-Vostoka Evropeyskoy territorii Rossii [Hybridization of elms *Ulmus L.* In the dry steppe of the South-East of the European territory of Russia] // *Successes of modern natural science*. 2022. No. 7. Pp. 14–19. DOI: 10.17513/use.37850. (In Russian.)
5. Iozus A. P., Zav'yalov A. A., Kryuchkov S. N. Seleksionnoe semenovodstvo perspektivnykh introdutsentov v sukhoy stepi [Breeding seed production of promising introducers in the dry steppe] // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2019. No. 1. Pp. 141-145. (In Russian.)
6. Kryuchkov S. N., Vdovenko A. V., Vorob'eva O. M. et al. Tekhnologiya vyrashchivaniya posadochnogo materiala drevesnykh vidov v zasushlivykh usloviyakh Yuga Rossii [Technology of growing planting material of woody species in arid conditions of Southern Russia]. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2021. 108 p. (In Russian.)
7. Kulik K. N., Ivanov A. L., Rulev A. S. et al. Strategiya razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda [Strategy for the development of protective afforestation in the Russian Federation for the period up to 2025]. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 2018. 36 p. (In Russian.)
8. Kryuchkov S. N., Solonkin A. V., Solomentseva A. S. et al. Rasteniya kolleksionnogo fonda FNTs agroekologii RAN kak istochniki tsennykh priznakov dlya bioresursnoy kolleksii [Plants of the collection fund of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences as sources of valuable traits for a bioresource collection] // *Genetic resources of plants for genetic technologies: to the 100th anniversary of Pushkin laboratories VIR: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Saint Petersburg, 2022. Pp. 30–32. (In Russian.)
9. Kryuchkov S. N., Belyaev A. I., Pugacheva A. M. et al. Nauchno-metodicheskie ukazaniya po sortovomu semenovodstvu derev'ev i kustarnikov dlya lesomelioratsii aridnykh territoriy (nauchno-metodicheskie rekomendatsii). [Scientific and methodological guidelines on varietal seed production of trees and shrubs for forest reclamation of arid territories (scientific and methodological recommendations)]. Volgograd: Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2022. 52 p. (In Russian.)
10. Milyutin L. I. Problemy analiticheskoy seleksii drevesnykh rasteniy [Problems of analytical selection of woody plants] // *Fruit growing, seed growing, introduction of woody plants*. 2018. Vol. 21. Pp. 145–147. (In Russian.)
11. Sakharov V. I. Metody otsenki ekologo-geneticheskoy struktury populyatsiy drevesnykh vidov dlya vybora modeli seleksii [Methods for assessing the ecological and genetic structure of populations of tree species for selecting a breeding model]. Almaty, 2006. 384 p. (In Russian.)
12. Sivolapov A. I., Sivolapov V. A. Sistemy seleksii topoley v svyazi s sistemami ikh razmnozheniya [Poplar breeding systems in connection with their reproduction systems] // *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*. 2020. Vol. 8. No. 1 (48). Pp. 144–149. DOI: 10.34220/2308-8877-2020-8-1-144-149. (In Russian.)
13. Tsarev A. P., Plugatar' Yu. V., Tsareva R. P. Seleksiya i sortoispytanie topoley: monografiya [Selection and variety testing of poplars: a monograph]. Simferopol: Izdatel'stvo Tipografiya "Arial", 2019. 252 p. (In Russian.)
14. Solomentseva A. S., Kolmukidi S. V., Lebed N. I. et al. Tree-shrub species promising for protective afforestation and planting in the Volgograd region // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Moscow, 2020. Article number 012056. DOI: 10.1088/1755-1315/579/1/012056.
15. Hilbert D. R., Koeser A. K., Roman L. A. et al. Selecting and Assessing Underutilized Trees for Diverse Urban Forests: A Participatory Research Approach // *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2022. Vol. 10. Article number 759693. DOI: 10.3389/fevo.2022.759693.
16. Ghezehei S. B., Nichols E. G., Hazel D. W., Maier C. A. Adaptability of populus to physiography and growing conditions in the southeastern USA // *Forests*. 2019. Vol. 10. No 2. Article number 118. DOI: 10.3390/f10020118.
17. Yáñez M. A., Zamudio F., Espinosa C. et al. Assessing wood properties on hybrid poplars using rapid phenotyping tools // *New Forests*. 2020. DOI: 10.1007/s11056-020-09799-x.

#### Authors' information:

Sergey N. Kryuchkov<sup>1</sup>, doctor of agricultural sciences, chief researcher, ORCID 0000-0001-8338-6460, AuthorID 357954; +7 999 625-12-23, [kryuchkov@vfanc.ru](mailto:kryuchkov@vfanc.ru)

Aleksandra S. Solomenseva<sup>1</sup>, candidate of agriculture sciences, senior researcher, ORCID 0000-0002-5857-1004, AuthorID 756338; +7 906 403-76-58, [alexis2425@mail.ru](mailto:alexis2425@mail.ru)

Almagul K. Romanenko<sup>1</sup>, postgraduate, junior researcher, ORCID 0000-0002-6705-6135, AuthorID 1125490; +7 904 422-96-82, [romanenko-ak@vfanc.ru](mailto:romanenko-ak@vfanc.ru)

<sup>1</sup>Federal Research Centre for Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

## Влияние изменений климата на урожайность культур и запасы почвенной влаги

С. И. Смуров<sup>1</sup>✉, О. В. Григоров<sup>1</sup>, С. Н. Ермолаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Белгородский государственный аграрный университет, Белгород, Россия

✉ E-mail: info@bsaa.edu.ru

**Аннотация.** Цель исследований – изучение влияния изменившихся климатических условий Белгородской области на запасы продуктивной влаги в почве и урожайность полевых культур при использовании различных способов основной обработки почвы. **Методы исследований.** На основе собственных многолетних исследований сделан анализ влияния роста температуры воздуха и снижения суммы осадков за год на запасы почвенной влаги и урожайность культур при различных способах основной обработки почвы. **Научная новизна.** Дается обзор произошедших в последние десятилетия изменений климатических условий выращивания полевых культур на территории Белгородской области. **Результаты.** Агрометеорологические наблюдения показали, что в период с 2006 по 2021 год температура воздуха в приземном слое повысилась, а количество осадков снизилось. Участились случаи экстремальных проявлений погоды. Наблюдения за динамикой влаги в метровом слое почвы в стационарном опыте определили, что произошедшие изменения климата повлияли на ее запасы. Так, на время посева культур было отмечено снижение количества влаги в почве на 15 % от среднего показателя за эти годы, а при полной спелости культур оно снизилось на 35–43 % без существенной связи со способами основной обработки почвы. Отмечено влияние на урожайность культур экстремальных проявлений погоды в период формирования урожая. По результатам исследований сделано заключение о том, что имеется устойчивый тренд снижения запасов влаги в метровом слое почвы как на время посева, так и в период уборки культур, не зависящий от способа ее основной обработки. Прямой связи урожайности полевых культур с запасами доступной растениям влаги на время их посева и уборки в метровом слое почвы и способом ее основной обработки не установлено.

**Ключевые слова:** климат, среднегодовая температура воздуха, сумма осадков, почвенная влага, способы основной обработки почвы, полевые культуры, урожайность.

**Для цитирования:** Смуров С. И., Григоров О. В., Ермолаев С. Н. Влияние изменений климата на урожайность культур и запасы почвенной влаги // Аграрный вестник Урала. 2023. № 06 (235). С. 35–52. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-35-52.

**Дата поступления статьи:** 24.08.2022, **дата рецензирования:** 06.12.2022, **дата принятия:** 08.12.2022.

### Постановка проблемы (Introduction)

Многофакторность климатических изменений, наметившихся во второй половине XX века, и многообразии их последствий для окружающей среды, отраслей экономики и качества жизни людей определяют необходимость разработки и осуществления системных мер, гарантирующих обеспечение продовольственной безопасности с учетом региональной и отраслевой специфики [1]. По прогнозам, сельское хозяйство относится к отраслям, в наибольшей степени подверженным эффектам изменения климата. Острой проблемой является дефицит воды на фоне роста температуры воздуха, что требует пересмотра отдельных элементов технологии выращивания сельскохозяйственных культур [2].

В Белгородской области за 45-летний срок наблюдений на метеорологическом посту п. Майский Белгородского района с 1976 года по 2021 год включительно размах колебаний погодных параметров носил достаточно широкий диапазон. Так, минимум среднегодовой температуры воздуха равнялся 4,3 °С, а максимум – 9,3 °С. Количество осадков за год изменялось в пределах от 349 мм до 830 мм с переувлажнением почвы в период формирования плодов у полевых культур, что приводило к их полеганию и в последующем к потере урожая. При этом к началу 2022 года относительно 1976 года среднегодовая температура воздуха возросла на 2,9 °С, а количество осадков за год уменьшилось на 220 мм (рис. 1 и 2).

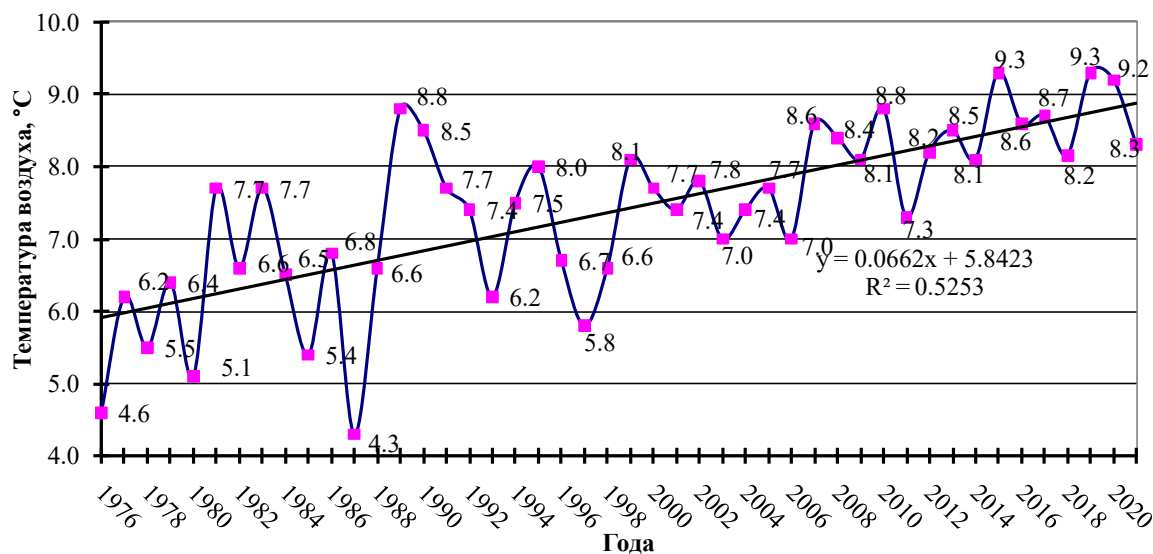


Рис. 1. Среднегодовая температура воздуха (по данным метеопоста Белгородского ГАУ)

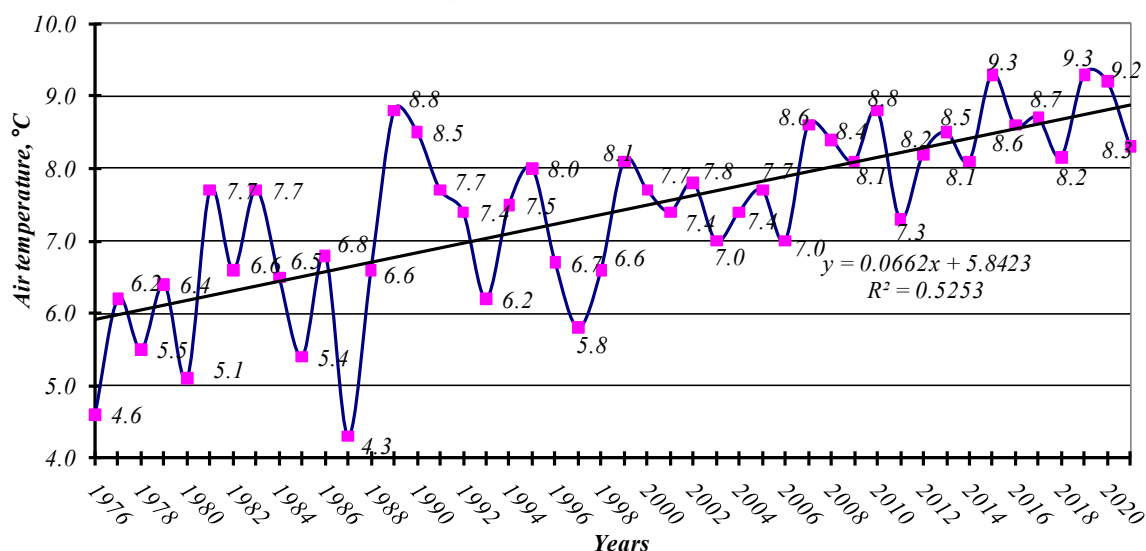


Fig. 1. Average annual air temperature (according to the meteorological post of the Belgorod State Agrarian University)

Несмотря на совершенствование агротехники возделывания культур, влияние погоды на урожай было и остается значимым (рис. 3 и 4).

Долгое время считалось, что глобальное потепление оказывает благоприятное влияние на полевые культуры региона. До конца 80-х годов XX века наблюдалось стабильное увеличение урожайности полевых культур, но в первой половине 90-х климатические условия резко изменились. Обострилась экстремальность погоды в виде существенного недостатка осадков на фоне высокой температуры воздуха в вегетационный период, как, например, в 1994 году, или значительное уменьшение количества выпавших осадков при существенном снижении температуры.

Анализ метеоданных за период с 1981 года по 2010 год, проведенный Е. П. Новиковой, Г. Н. Григорьевым, И. Ю. Вагуриным и А. С. Чумейкиной, показал, что в Центрально-Черноземном регионе среднегодовая температура

воздуха увеличилась на 1,0–1,3 °C при близкой к многолетним показателям годовой сумме осадков, однако их выпадение приходилось в основном на летний период, но при этом с засухой в августе и наибольшей изменчивостью их количества в осенние месяцы [3, с. 107, 111].

Для эффективного использования ресурсов климата и погоды с целью повышения продуктивности сельскохозяйственного производства необходимо знать, какие явления и процессы происходят как в приземном слое атмосферы в целом, так и на поверхности почвы и ее верхнем слое.

Оценить изменчивость климата и как его частные случаи температуру воздуха в приземном слое, количество выпавших атмосферных осадков, обеспечивающих запасы продуктивной влаги в почве, которые определяют сроки сева, норму высева, глубину заделки семян и т. д., возможно только благодаря целенаправленному систематическому контролю этих показателей [3, с. 112; 4, с. 56–59].

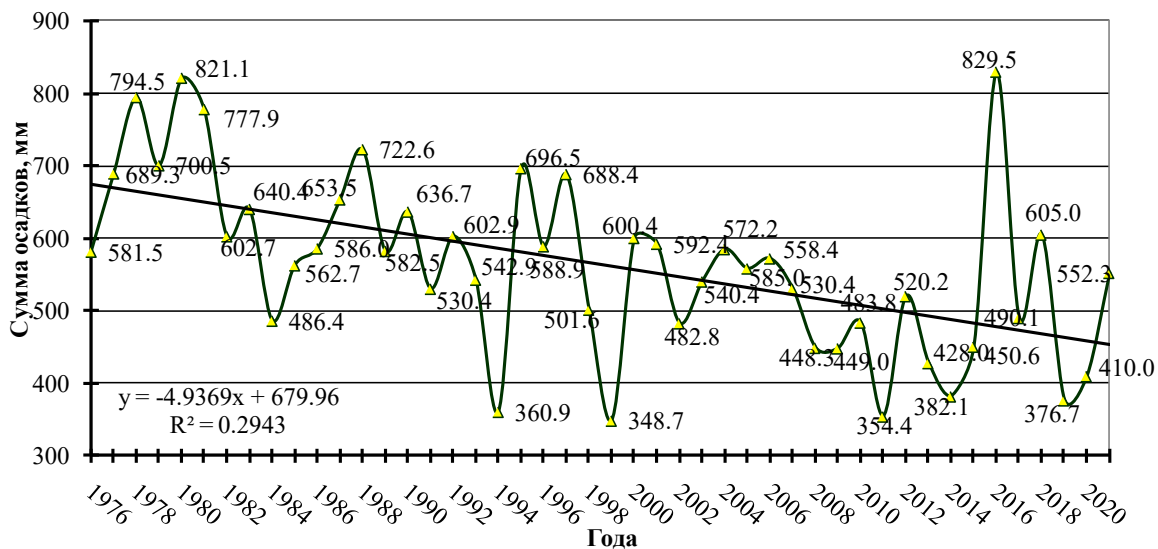


Рис. 2. Сумма осадков за календарный год (по данным метеопоста Белгородского ГАУ)

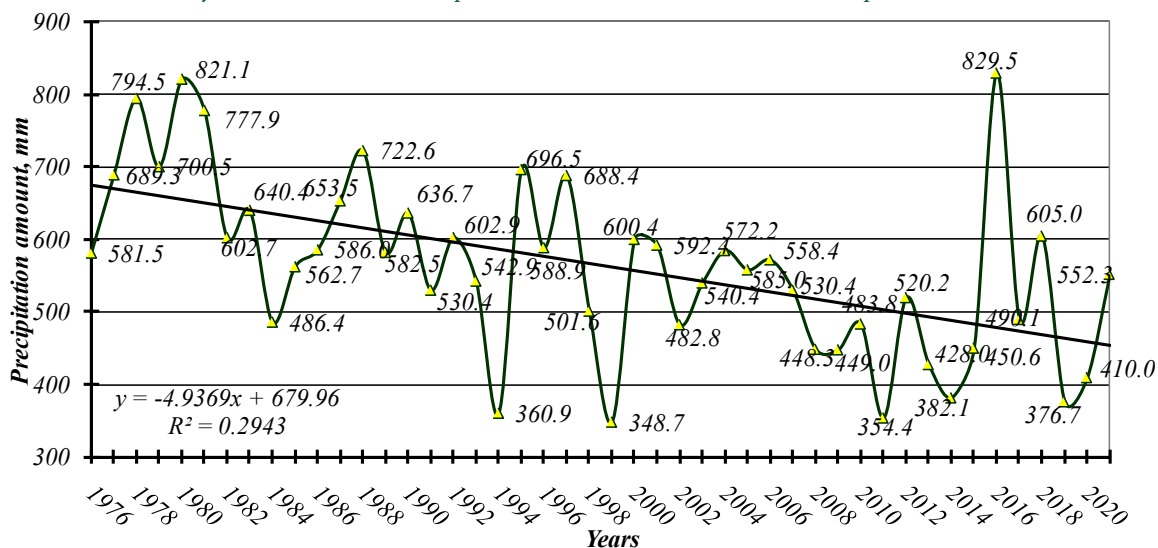


Fig. 2. The amount of precipitation for a calendar year (according to the meteorological post of the Belgorod State Agrarian University)

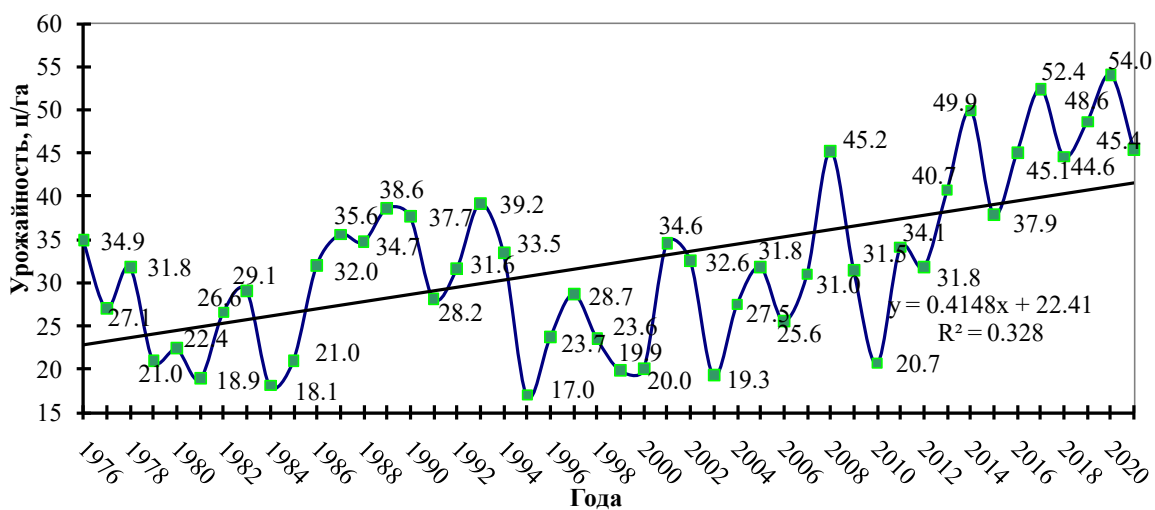


Рис. 3. Урожайность озимой пшеницы в Белгородской области (по данным ДАПК и Росстата Белгородской области)

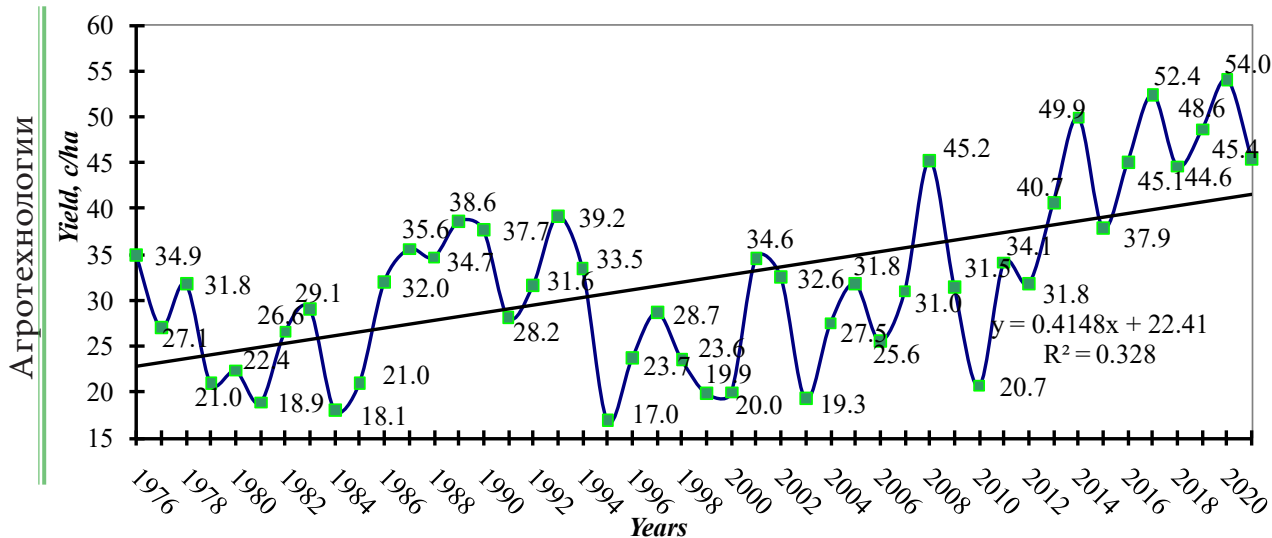


Fig. 3. Winter wheat yield in the Belgorod region (according to the Department of Agro-industrial complex and Rosstat of the Belgorod region)

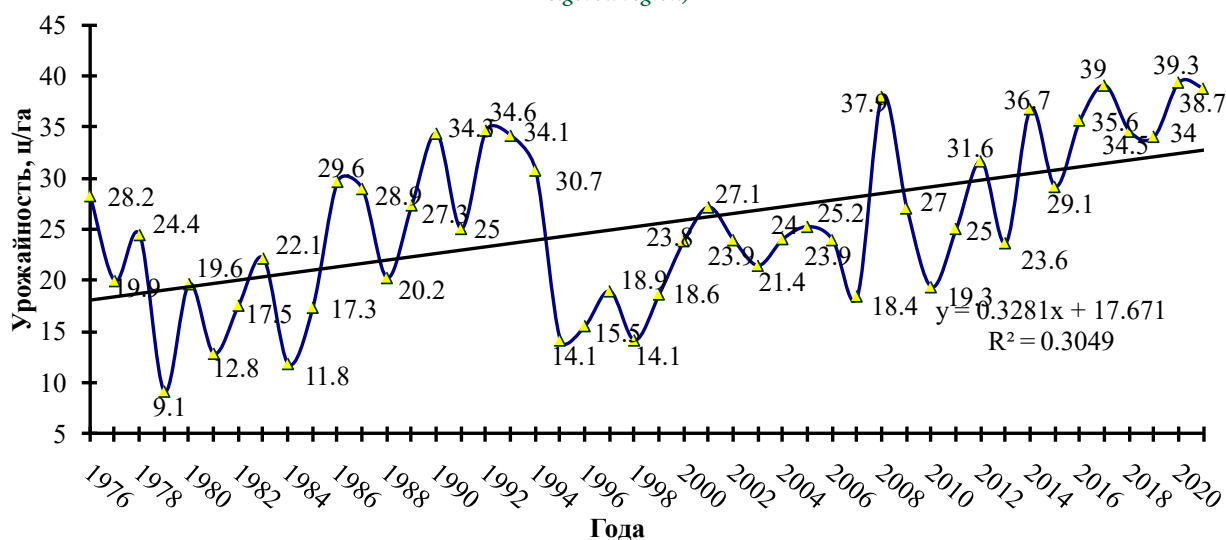


Рис. 4. Урожайность ярового ячменя в Белгородской области (по данным ДАПК и Росстата Белгородской области)

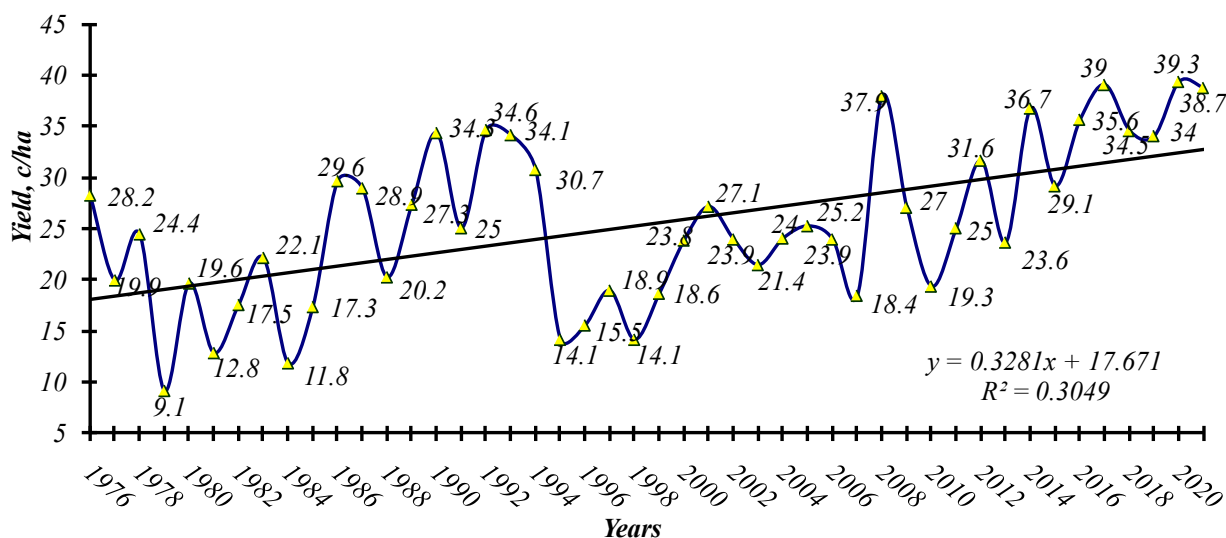


Fig. 4. Yield of spring barley in the Belgorod region (according to the Department of Agro-industrial complex and Rosstat of the Belgorod region)



Проводившийся специалистами НИУ «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» анализ данных, полученных на агрометеорологических станциях, показал, что современные климатические изменения на территории Белгородской области выражаются в существенном росте изменчивости запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы в конце лета – начале сентября. Это приводит к ухудшению условий сева озимых культур и в последующем может привести к их пересеву. Запасы влаги летнего периода подвержены меньшей изменчивости, а влагообеспеченность пахотного слоя почвы весной к началу вегетации близка к многолетним значениям. [3, с. 108–112].

Однако обобщение данных на основании стандартных агрометеорологических наблюдений без привязки их к традиционным и новым агротехнологиям не дает полного представления о влиянии изменений климата на ведение сельскохозяйственного производства. Если большинство погодных факторов (температура воздуха в приземном слое, его влажность, количество выпавших осадков и другие) можно отследить на метеопостах, то содержание влаги в почве, изменение ее количества в динамике, необходимые для анализа принятия соответствующих решений в перспективе, нужно проводить с привязкой к агротехнологиям и возделываемым культурам.

В исследованиях российских и зарубежных ученых одно из центральных мест занимает разработка системы основной обработки почвы в севообороте, позволяющая остановить деградацию почв, повысить их эффективное и потенциальное плодородие.

Механическая обработка почвы является одним из старейших технологических комплексов в земледелии. Пройдя длительный путь развития от примитивных до современных интенсивных приемов, она осталась самым значимым, самым трудоемким и самым проблематичным элементом системы земледелия.

В первой половине XX века был проведен ряд успешных экспериментов использования мелкой и безотвальной обработок почвы в Германии, Англии, Америке. Тем не менее подобные обработки не стали основными в мировом земледелии. С 90-х годов XX века в России наметилась тенденция к переходу на технологии сберегающего земледелия. Накоплен положительный практический опыт по ресурсосберегающему земледелию в Белгородской области [5, с. 152–161] и в других регионах России.

Данные исследований по влиянию приемов основной обработки черноземов на плодородие почвы и урожайность культур противоречивы. Они зависят от почвенных условий региона и сложившихся метеорологических условий. Ряд авторов

утверждают, что технология No-Till оказывает положительное влияние на сохранение и накопление влаги по сравнению с традиционными приемами основной обработки почвы и рост урожайности культур [6, с. 28–31; 7, с. 8–9]. Другие исследователи, напротив, указывают на увеличение влажности почвы и запасов влаги при использовании вспашки в качестве приема основной обработки почвы. В отдельных исследованиях не отмечено достоверных различий между приемами обработки почвы по их влиянию на урожайность [8, с. 31].

Обработка почвы, нарушая или ликвидируя мульчирующий слой на поверхности почвы, приводит к эрозии [9, с. 130]. Отвальная вспашка, перемешивая растительные остатки с почвой, ускоряет их разложение. При этом происходит взрыв микробиологической активности, и если он не совпадает по времени с процессами активного роста и развития растений, то следствием являются избыточная минерализация и последующие потери питательных веществ в атмосферу и при вымывании. [10, с. 13–17; 11, с. 11–12].

В течение длительного периода и по настоящее время вспашка является господствующей в районах интенсивного земледелия, так как по одной из теорий считается приемом, создающим оптимальные условия для роста полевых культур и гумусообразования. Однако данные научных работ и земледельческая практика последних десятилетий в различных регионах мира убедительно показывают преимущество безотвальных обработок над глубокой вспашкой черноземов как при возделывании полевых культур, так и при почвообразовательном процессе. [11, с. 10–14].

В последние годы наряду с использованием традиционных приемов системы основной обработки проводится активная разработка перспективных экономически выгодных энерго- и ресурсосберегающих и одновременно почвозащитных технологий – минимальной и нулевой обработки почвы с прямым посевом культур, которые предусматривают сокращение количества агротехнических операций.

Исследованиями А. В. Шабалкина, В. А. Воронцова и Ю. П. Скорочкина было установлено, что замена традиционной вспашки на ресурсосберегающие способы обработки почвы без оборота пласта экономически целесообразна, но при условии устранения негативного влияния сорной растительности с помощью гербицидов [12, с. 56–59].

Переход на технологию с минимальным рыхлением почвы наступает с уборки урожая, в процессе которой измельченные пожнивные остатки равномерно распределяются по поверхности почвы. В результате появляется почвозащитное покрытие – мульча, которая противостоит ветровой и водной эрозии, обеспечивает сохранение влаги, препятствует прорастанию сорной растительно-

сти, способствует увеличению биологической активности почвы, считается основой для возобновления плодородного слоя и повышения урожайности культур [13, с. 55–57; 14, с. 16–17].

Более производительное использование влаги при внесении удобрений основывается на повышении концентрации питательных веществ в почвенном растворе, в связи с чем для поглощения одного и того же их количества растению требуется меньше влаги [15; 16].

Целью исследования являлось изучение влияния изменившихся климатических условий Белгородской области на запасы продуктивной влаги в почве и урожайность полевых культур при использовании различных способов основной обработки почвы.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Многолетний стационар по изучению различных способов основной обработки почвы был заложен в 1990 году. Изучение вариантов опыта проводится с основным внесением минеральных удобрений дисковой сеялкой поперек наложения способов основной подготовки почвы на глубину 6–7 см из расчета  $N_{30}P_{30}K_{30}$  кг д. в. на гектар. Общий фон под основные обработки почвы – лушение стерни вслед за уборкой предшественника с последующим мелким рыхлением по мере по-

явления всходов сорняков и падалицы. Основная обработка почвы в полях севооборотов делается в соответствии со схемой, приведенной в таблице 1.

Почва опытных полей – чернозем типичный, среднемощный, тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. По результатам агрохимического обследования 2021 года содержание органического вещества в слое 0–30 см в зависимости от способа основной обработки почвы составляет 5,1–5,3 %. Степень кислотности  $pH_{\text{сол}}$  равнялась 5,5–6,1 единицы, гидролизуемого азота – 164–168 мг, подвижного фосфора – 199–251 мг, обменного калия – 91–106 мг на 1 кг почвы.

Метеорологические условия в период с 2006 года по 2021 год представлены в таблице 2.

Во все годы исследований среднегодовая температура воздуха превышала среднее многолетнее значение. Отклонение варьировало в пределах 0,7–3,0 °С, и в среднем за 16 лет составило 2,1 °С. Также во время проведения опыта в течение 11 лет наблюдался и недобор осадков за год. Только в 2006, 2007, 2018 и 2021 году количество выпавших осадков было близко к норме. Исключительным был 2016 год, за который выпала полуторная норма атмосферных осадков. В среднем по годам сумма осадков составляла 493 мм, или 89 % от среднего многолетнего значения.

Таблица 1  
Севооборот и способы основной обработки почвы под полевые культуры

Севооборот	Способы основной обработки почвы		
	Обработка	Орудие	Глубина обработки, см
1-е поле. Зернобобовые культуры (горох на зерно)	Вспашка	ПН-5-35	22–25
	Мелкая безотвальная	ДМ 4×2	14–16
	Глубокая безотвальная	ПЧ-2,5	40–42
2-е поле. Озимая пшеница	Мелкая безотвальная	Гелиодор	6–8
3-е поле. Пропашные культуры (подсолнечник)	Вспашка	ПН-5-35	27–30
	Мелкая безотвальная	ДМ 4×2	14–16
	Глубокая безотвальная	ПЧ-2,5	40–42
4-е поле. Яровой ячмень	Вспашка	ПН-5-35	22–25
	Мелкая безотвальная	ДМ 4×2	14–16
	Глубокая безотвальная	ПЧ-2,5	40–42

Table 1  
Crop rotation and methods of basic tillage for field crops

Crop rotation	Methods of basic tillage		
	Processing	Tillage tool	Processing depth, cm
1 <sup>st</sup> field. Leguminous crops (peas for grain)	Plowing	PN-5-35	22–25
	Shallow non-shaft	DM 4×2	14–16
	Deep non-shaft	PCh-2,5	40–42
2 <sup>nd</sup> field. Winter wheat	Shallow non-shaft	Heliodor	6–8
3 <sup>rd</sup> field. Row crops (sunflower)	Plowing	PN-5-35	27–30
	Shallow non-shaft	DM 4×2	14–16
	Deep non-shaft	PCh-2,5	40–42
4 <sup>th</sup> field. Spring barley	Plowing	PN-5-35	22–25
	Shallow non-shaft	DM 4×2	14–16
	Deep non-shaft	PCh-2,5	40–42

Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом, отбор образцов производился с помощью бура Розанова на глубину от 0 до 100 см через каждые 10 см. Наблюдения и учеты выполнялись по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Математическая обработка данных всех опытов делалась методом дисперсионного анализа.

#### Результаты (Results)

Наблюдения за динамикой почвенной влаги в период 2006 года по 2021 год определили, что имевшиеся в последние десятилетия изменения климата повлияли на запасы почвенной влаги.

С 2006 года по 2021 год колебания запасов влаги в слое почвы 0–30 см на период посева культур по отвальной пахоте были в пределах от 31 мм до 55 мм, и в среднем за это время они составляли 44 мм, при мелком безотвальном рыхлении – от 34 мм до 55 мм, в среднем 45 мм, а при глубоком безотвальном рыхлении – в пределах от 34 мм до 53 мм, или в среднем 46 мм. Разница в средних запасах продуктивной влаги между способами основной обработки почвы составляла 1–2 мм в пользу глубокого безотвального рыхления (рис. 5, 7, 9, таблица 3)

Таблица 2  
Метеорологические условия за 2006–2021 гг.

Год исследований	Среднесуточная температура воздуха, °С		Сумма осадков, мм	
	Средняя за год	Отклонение от средней многолетней (6,3 °С)	За год	Отклонение от средней многолетней (551 мм), %
2006	7,0	0,7	572	104
2007	8,6	2,3	530	96
2008	8,4	2,1	449	81
2009	8,1	1,8	448	81
2010	8,8	2,5	484	88
2011	7,3	1,0	354	64
2012	8,2	1,9	520	94
2013	8,5	2,2	428	78
2014	8,0	1,7	382	69
2015	9,3	3,0	451	82
2016	8,6	2,3	830	151
2017	8,7	2,4	490	89
2018	8,2	1,9	605	110
2019	9,3	3,0	377	68
2020	9,2	2,9	410	74
2021	8,3	2,0	552	100
Среднее	8,4	2,1	493	89

Table 2  
Meteorological conditions for 2006–2021

Year of research	Average daily air temperature, °C		Precipitation amount, mm	
	Average for the year	Deviation from the average long – term (6.3 °C)	Per year	Deviation from the average long – term (551 mm), %
2006	7.0	0.7	572	104
2007	8.6	2.3	530	96
2008	8.4	2.1	449	81
2009	8.1	1.8	448	81
2010	8.8	2.5	484	88
2011	7.3	1.0	354	64
2012	8.2	1.9	520	94
2013	8.5	2.2	428	78
2014	8.0	1.7	382	69
2015	9.3	3.0	451	82
2016	8.6	2.3	830	151
2017	8.7	2.4	490	89
2018	8.2	1.9	605	110
2019	9.3	3.0	377	68
2020	9.2	2.9	410	74
2021	8.3	2.0	552	100
Average	8.4	2.1	493	89

Таблица 3  
Запасы продуктивной влаги в зависимости от способов основной обработки почвы, мм  
(среднее по культурам севооборота за 2006–2021 гг.)

Способы основной обработки почвы	Глубина отбора проб, см	Период отбора проб	
		Посев	Уборка
Отвальная вспашка	0–30	44	30
	0–100	162	92
Мелкое безотвальное рыхление	0–30	45	29
	0–100	168	93
Глубокое безотвальное рыхление	0–30	46	30
	0–100	167	95
Среднее	0–30	45	30
	0–100	166	93

Table 3  
Reserves of productive moisture depending on the methods of basic tillage, mm  
(average for crops of crop rotation for 2006–2021)

Methods of basic tillage	Sampling depth, cm	Sampling period	
		Sowing	Harvesting
Plowing	0–30	44	30
	0–100	162	92
Shallow non-shaft loosening	0–30	45	29
	0–100	168	93
Deep non-shaft loosening	0–30	46	30
	0–100	167	95
Average	0–30	45	30
	0–100	166	93

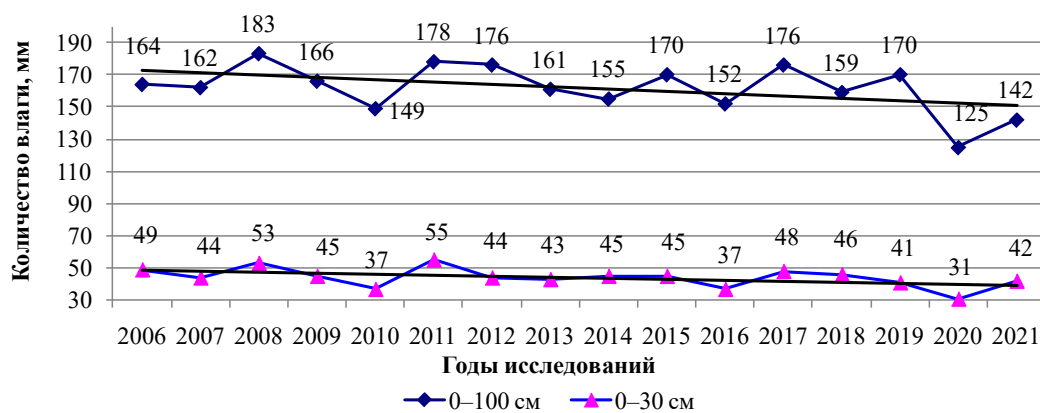


Рис. 5. Динамика запасов продуктивной влаги в почве в период посева при отвальной вспашке (2006–2021 гг.)

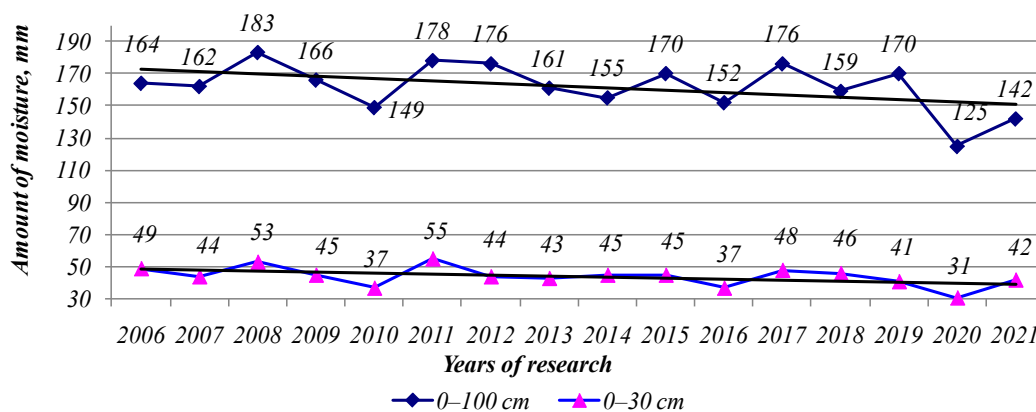


Fig. 5. Dynamics of productive moisture reserves in the soil during the sowing period during with plowing (2006–2021)

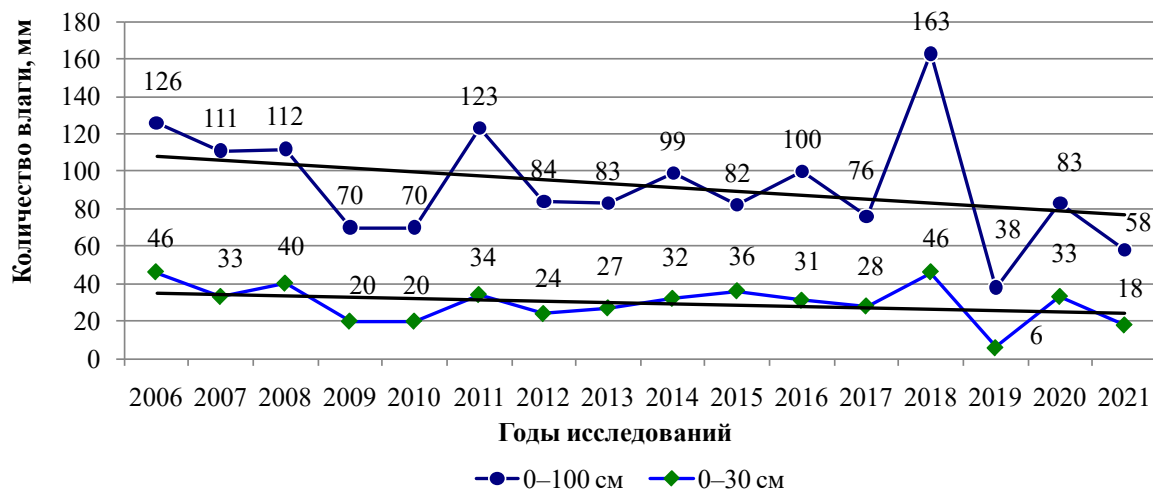


Рис. 6. Динамика запасов продуктивной влаги в почве в период уборки при отвальной вспашке (2006–2021 гг.)

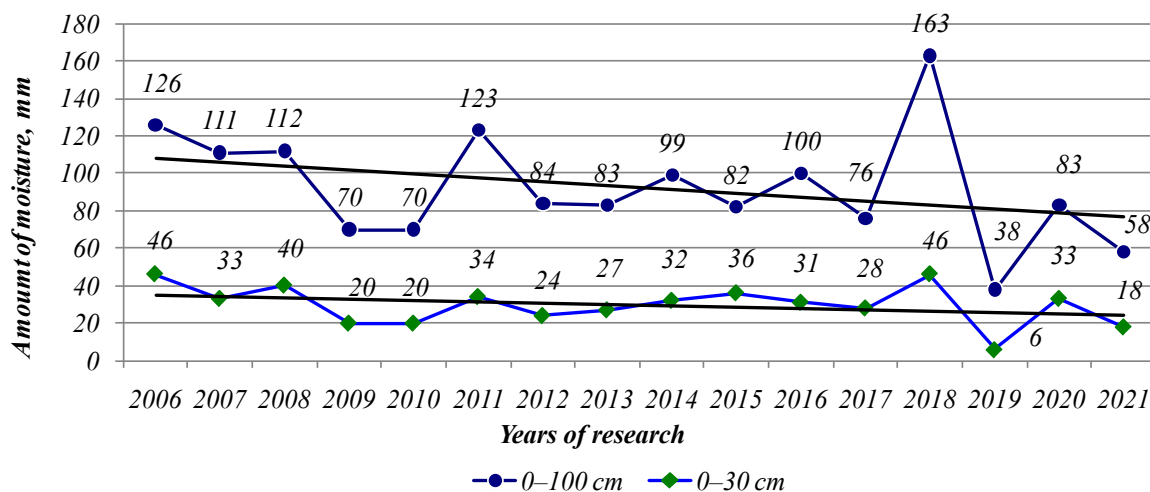


Fig. 6. Dynamics of productive moisture reserves in the soil during harvesting with plowing (2006–2021)

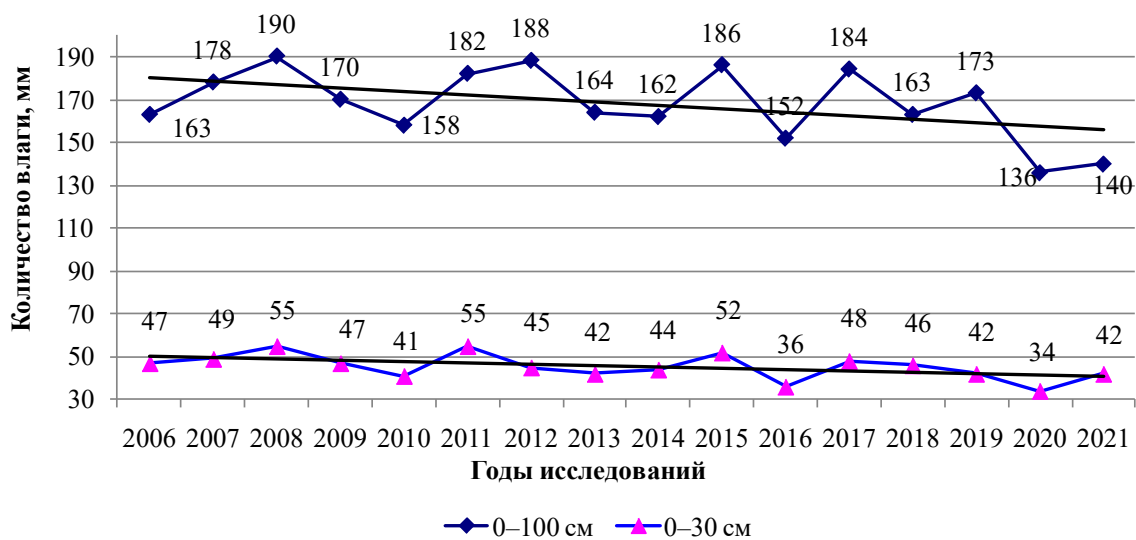


Рис. 7. Динамика запасов продуктивной влаги в почве в период посева при мелком безотвальном рыхлении (2006–2021 гг.)

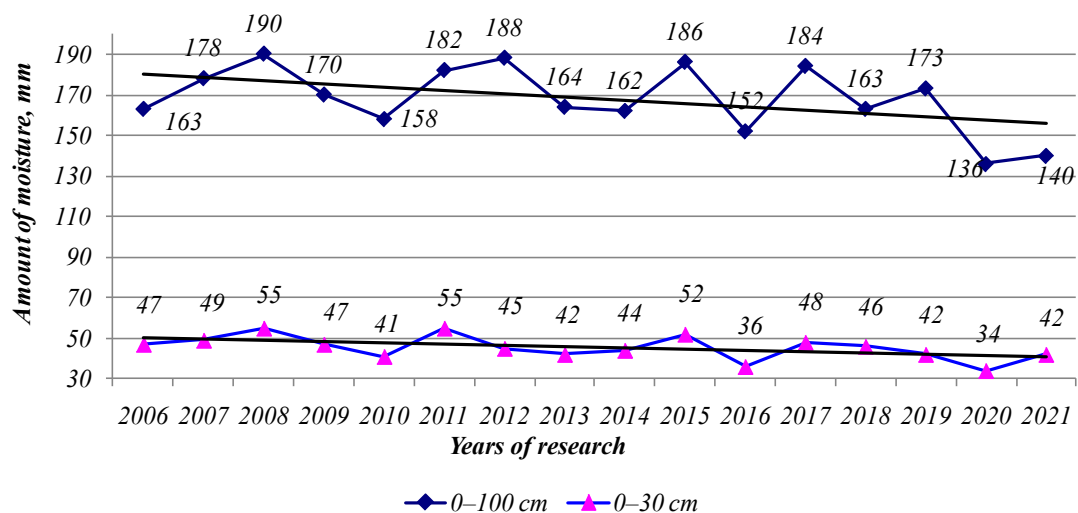


Fig. 7. Dynamics of productive moisture reserves in the soil during the sowing period with shallow non-shaft loosening (2006-2021)

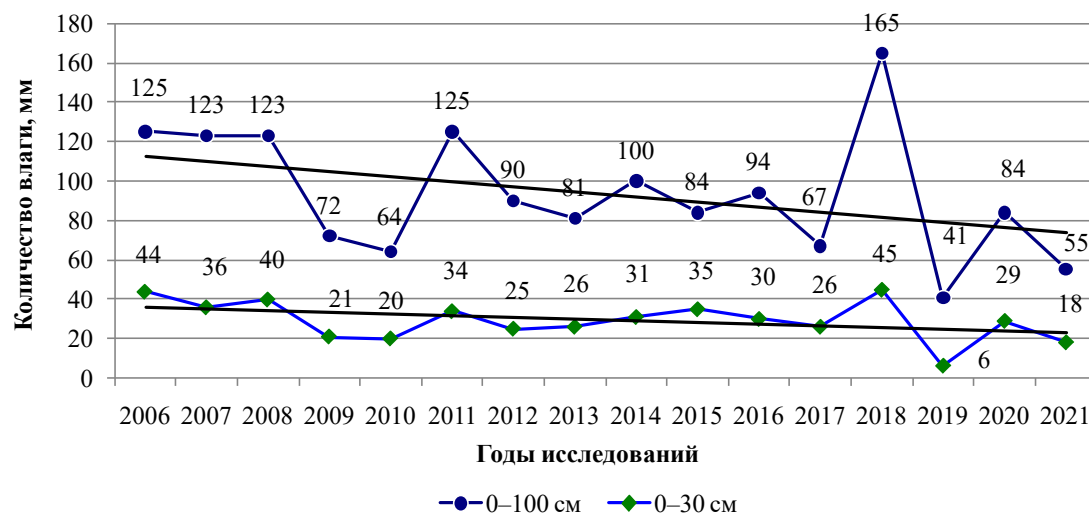


Рис. 8. Динамика запасов продуктивной влаги в почве в период уборки при мелком безотвальном рыхлении (2006-2021 гг.)

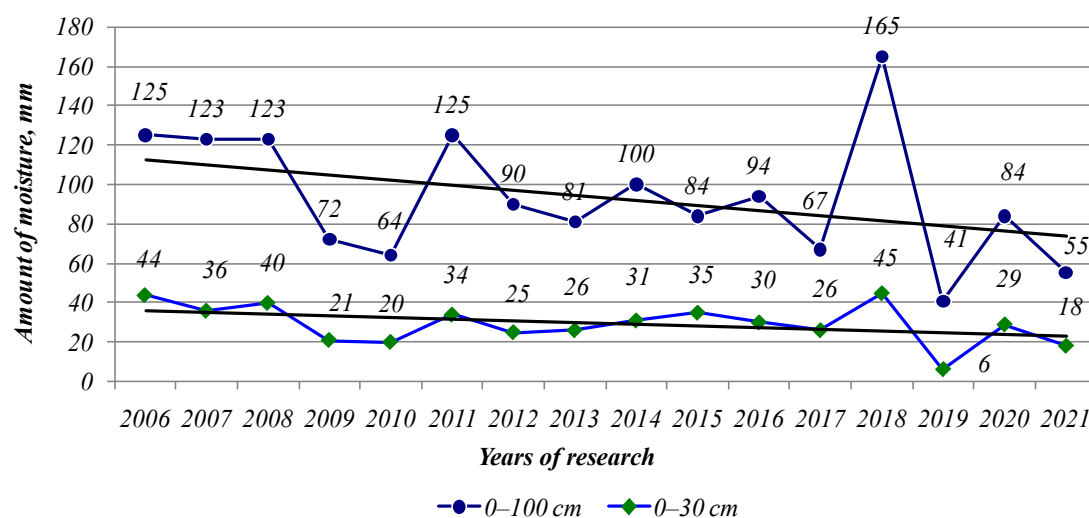


Fig. 8. Dynamics of productive moisture reserves in the soil during the harvesting period with shallow non-shaft loosening (2006-2021)

Минимальными запасами почвенной влаги выделился 2020 год, когда в указанный период по пахоте содержалось только 31 мм влаги, а по безотвальной обработке – на 3 мм больше. В метровом слое почвы более высокое содержание влаги также наблюдалось при безотвальной рыхлении – 136-137 мм. По сравнению со вспашкой разница в сторону увеличения составляла 11–12 мм (рис. 5, 7 и 9).

Согласно параметрам, определенным для чернозема типичного тяжелосуглинистого, по запасам влаги в метровом слое по всем способам основной подготовки почвы ее увлажнение можно оценить как оптимальное. Только в 2020 году по варианту с отвальной обработкой почвы оно характеризовалось как удовлетворительное.

К моменту уборки культур в слое почвы 0–30 см в среднем по годам запасы доступной растениям влаги составляли 29–30 мм без различий по спо-

собам основной обработки почвы. Критический для растений минимум наблюдался в 2019 году – 6–7 мм. В метровом же слое количество влаги было незначительно, но практически ежегодно больше по глубокой безотвальной обработке (рис. 6, 8, 10).

Наметившиеся в конце прошлого века изменения климата в сторону повышения температуры воздуха и снижения выпадения осадков отразились и на содержании доступной растениям влаги в почве, ее количество снизилось, о чем свидетельствуют полученные данные в проведенных исследованиях. Так, относительно 2006 года, или за 16 лет исследований, количество продуктивной влаги в метровом слое на время посева культур независимо от способа основной обработки почвы под ни по линии тренда в диаграммах в среднем снизилось на 25 мм, что составило 15 % от среднего количества влаги в почве в начале наблюдений.

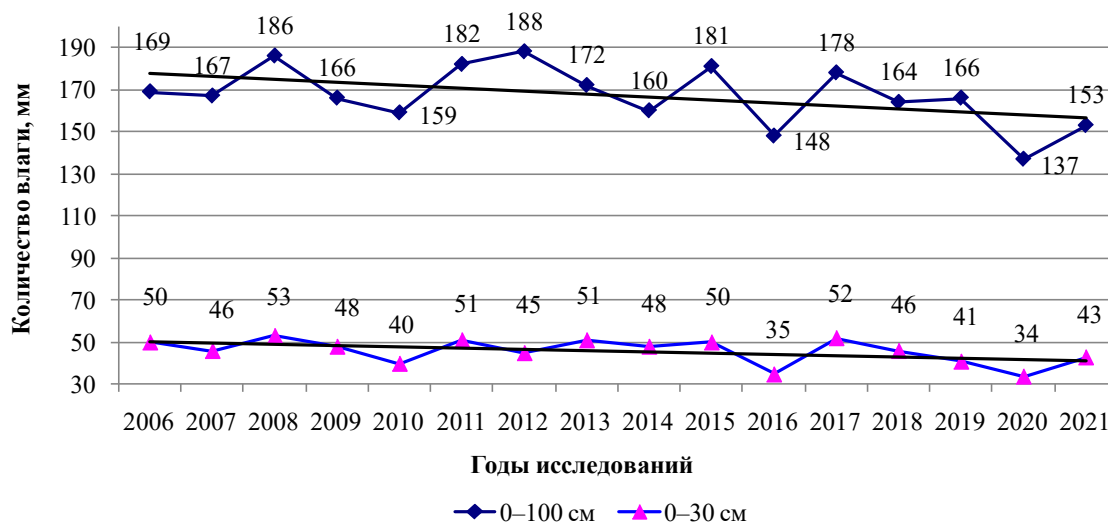


Рис. 9. Динамика запасов продуктивной влаги в почве в период посева при глубоком безотвальном рыхлении (2006–2021 гг.)

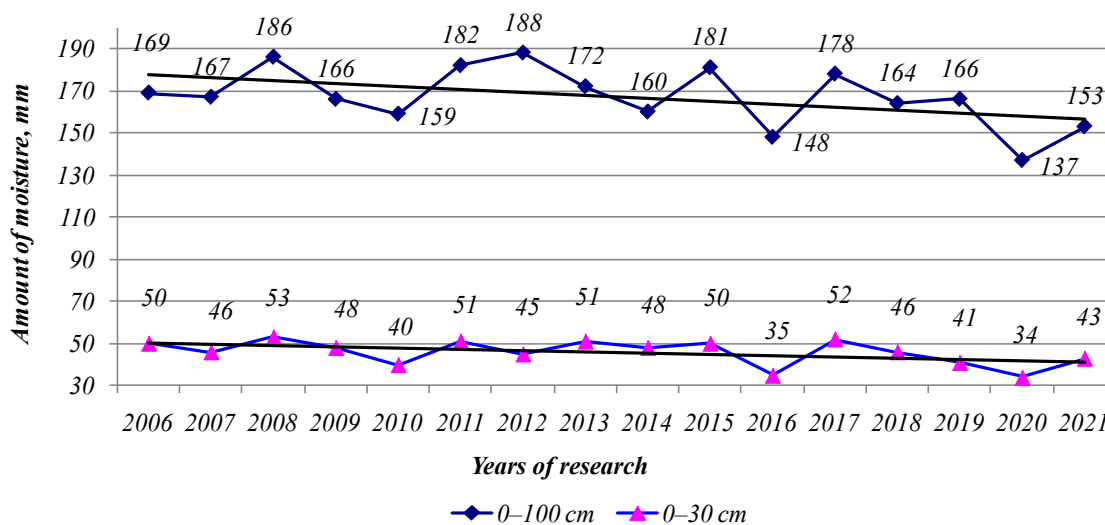


Fig. 9. Dynamics of productive moisture reserves in the soil during the sowing period with deep non-shaft loosening (2006–2021)

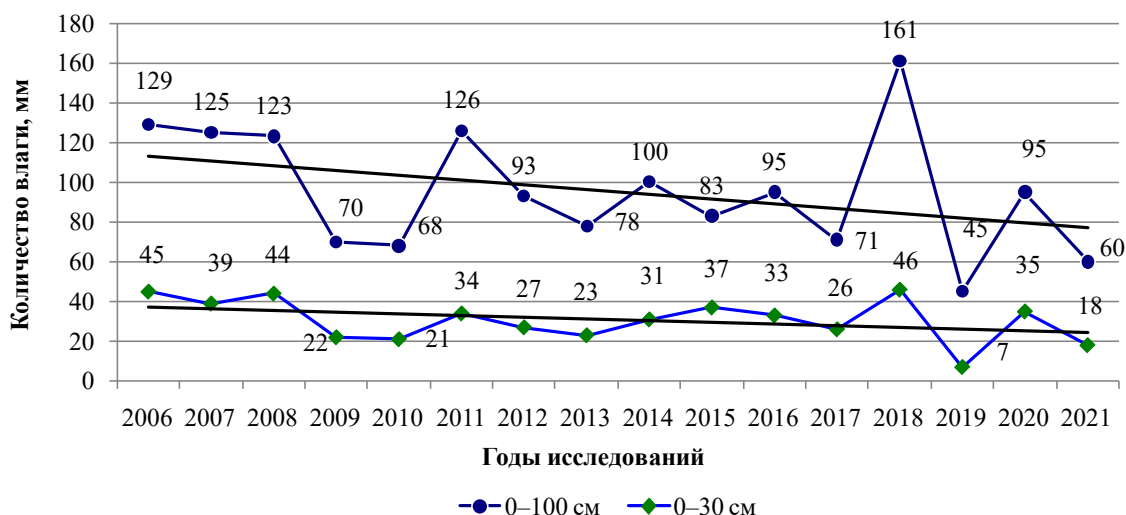


Рис. 10. Динамика запасов продуктивной влаги в почве в период уборки при глубоком безотвальном рыхлении (2006–2021 гг.)

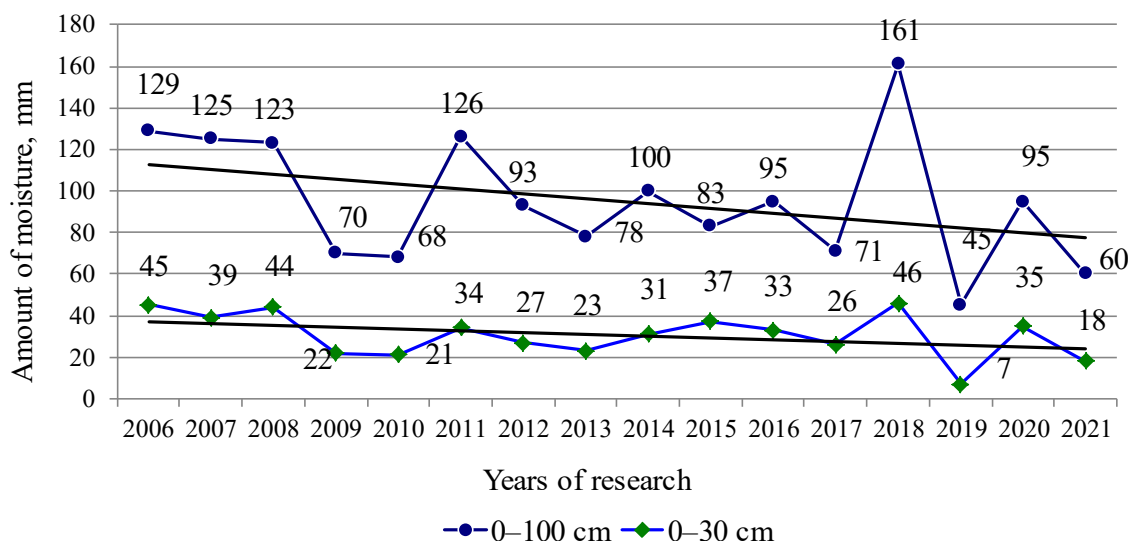


Fig. 10. Dynamics of productive moisture reserves in the soil during the harvesting period with deep non-shaft loosening (2006–2021)

На время уборки культур снижение запасов доступной влаги в почве было более значительным: так, по отвальной вспашке и при глубоком безотвальном рыхлении оно составляло 33–34 мм, или 35 %, а при использовании мелкой безотвальной обработки – 40 мм, или 43 % (рис. 5–10).

В верхнем 30-сантиметровом слое почвы снижение количества продуктивной влаги в абсолютном выражении было менее значимым. Так, в период посева ее запасы уменьшились в среднем на 10 мм, а на время уборки – на 15 мм. Однако в относительном выражении от общего количества доступной растениям влаги оно достигало 22 % при посеве и 50 % при уборке.

За время проведения опыта была выявлена тенденция к увеличению сбора зерна озимой пшеницы и маслосемян подсолнечника по глубокой безотвальной обработке почвы. Яровой ячмень, так же как и горох на зерно, лучшую урожайность в

среднем за 16 лет опыта показал по отвальной пахоте. При этом прямой достоверной зависимости величины сбора зерна и маслосемян от запасов почвенной влаги на время посева и уборки культур не было (таблицы 4, 5).

Следует отметить, что наибольшей вариативностью по урожайности в количественном измерении за годы исследований выделилась озимая пшеница. Амплитуда изменений величины сбора урожая от минимума до максимума составила почти 7 тонн от 2,44 т/га в 2006 году до 9,12 т/га в 2017 году, а отклонения от средней величины этого показателя равного 5,85 т/га находились в диапазоне от –3,41 т/га до +3,27 т/га. Во многом подобную ситуацию определяли термические погодные условия зимой и в критические периоды развития озимой пшеницы, а не запасы почвенной влаги в ее посевах и способы основной подготовки почвы под ее предшественник, которым в опыте был горох на зерно (таблицы 4, 5, рис. 11).



## Урожайность полевых культур в зависимости от способов основной обработки почвы, т/га (2006–2021 гг.)

Годы	Культуры севооборота и способы* основной обработки почвы															
	Горох на зерно				Озимая пшеница				Подсолнечник				Яровой ячмень			
	ОВ	МБР	ГБР	НСР	ОВ	МБР	ГБР	НСР	ОВ	МБР	ГБР	НСР	ОВ	МБР	ГБР	НСР
2006	2,45	2,31	2,30	0,33	2,38	2,35	2,59	0,28	3,80	3,84	3,81	0,16	6,00	6,23	6,02	0,17
2007	0,93	1,09	1,11	0,12	5,99	6,21	6,17	0,32	3,82	3,93	3,92	0,16	3,26	3,27	3,02	0,44
2008	1,94	1,95	2,00	0,15	5,90	6,13	5,98	0,41	4,02	3,97	4,06	0,22	7,26	7,20	7,10	0,27
2009	2,38	2,30	2,31	0,20	5,80	5,84	5,86	0,42	2,50	2,45	2,54	0,27	3,96	4,04	4,07	0,33
2010	1,58	1,56	1,58	0,25	2,55	2,71	2,89	0,27	2,51	2,74	2,66	0,31	2,18	2,76	2,57	0,25
2011	1,88	1,90	1,80	0,34	6,53	6,88	7,03	0,29	2,61	2,64	2,54	0,31	4,39	4,77	4,77	0,31
2012	1,99	2,11	2,08	0,43	2,93	2,92	3,01	0,38	2,99	2,95	2,98	0,34	4,82	5,00	5,18	0,37
2013	0,98	0,84	0,72	0,12	5,99	6,35	6,01	0,23	2,29	2,51	2,44	0,36	3,20	3,74	3,30	0,37
2014	3,12	2,84	2,87	0,23	7,02	7,58	7,45	0,25	3,48	3,36	3,45	0,48	4,87	5,05	4,72	0,38
2015	2,23	2,00	2,03	0,29	6,02	5,91	6,08	0,23	2,93	2,86	3,32	0,24	4,26	3,49	4,13	0,41
2016	2,45	2,09	2,31	0,23	5,74	5,51	5,49	0,51	3,32	3,32	3,56	0,34	5,68	4,99	5,26	0,37
2017	3,69	3,66	3,68	0,32	9,09	9,07	9,20	0,54	2,57	2,54	2,78	0,20	6,57	5,83	6,17	0,37
2018	1,51	1,38	1,48	0,31	6,85	6,54	6,51	0,39	3,10	2,90	2,87	0,32	4,22	5,04	3,73	0,33
2019	1,26	1,26	1,22	0,13	6,55	6,32	6,46	0,32	3,91	3,52	3,66	0,36	5,22	4,48	4,66	0,35
2020	2,13	2,16	2,16	0,21	8,19	7,97	8,24	0,59	3,04	3,10	3,09	0,45	6,29	5,95	6,01	0,30
2021	3,01	2,99	3,12	0,29	5,17	5,37	5,41	0,34	2,49	2,14	2,81	0,35	4,47	3,81	3,99	0,29
Среднее	<b>2,10</b>	<b>2,03</b>	<b>2,05</b>	0,26	<b>5,79</b>	<b>5,85</b>	<b>5,90</b>	0,38	<b>3,09</b>	<b>3,05</b>	<b>3,16</b>	0,32	<b>4,79</b>	<b>4,73</b>	<b>4,67</b>	0,34

\* ОВ – отвальная вспашка; МБР – мелкое безотвальное рыхление; ГБР – глубокое безотвальное рыхление; НСР – наименьшая существенная разница при 5 % уровне значимости.

Table 4

## Yield of field crops depending on the methods of basic tillage, t/ha (2006–2021)

Years	Crop rotation cultures and methods* of basic tillage															
	Peas for grain				Winter wheat				Sunflower				Spring barley			
	P	SL	DL	LSD	P	SL	DL	LSD	P	SL	DL	LSD	P	SL	DL	LSD
2006	2.45	2.31	2.30	0.33	2.38	2.35	2.59	0.28	3.80	3.84	3.81	0.16	6.00	6.23	6.02	0.17
2007	0.93	1.09	1.11	0.12	5.99	6.21	6.17	0.32	3.82	3.93	3.92	0.16	3.26	3.27	3.02	0.44
2008	1.94	1.95	2.00	0.15	5.90	6.13	5.98	0.41	4.02	3.97	4.06	0.22	7.26	7.20	7.10	0.27
2009	2.38	2.30	2.31	0.20	5.80	5.84	5.86	0.42	2.50	2.45	2.54	0.27	3.96	4.04	4.07	0.33
2010	1.58	1.56	1.58	0.25	2.55	2.71	2.89	0.27	2.51	2.74	2.66	0.31	2.18	2.76	2.57	0.25
2011	1.88	1.90	1.80	0.34	6.53	6.88	7.03	0.29	2.61	2.64	2.54	0.31	4.39	4.77	4.77	0.31
2012	1.99	2.11	2.08	0.43	2.93	2.92	3.01	0.38	2.99	2.95	2.98	0.34	4.82	5.00	5.18	0.37
2013	0.98	0.84	0.72	0.12	5.99	6.35	6.01	0.23	2.29	2.51	2.44	0.36	3.20	3.74	3.30	0.37
2014	3.12	2.84	2.87	0.23	7.02	7.58	7.45	0.25	3.48	3.36	3.45	0.48	4.87	5.05	4.72	0.38
2015	2.23	2.00	2.03	0.29	6.02	5.91	6.08	0.23	2.93	2.86	3.32	0.24	4.26	3.49	4.13	0.41
2016	2.45	2.09	2.31	0.23	5.74	5.51	5.49	0.51	3.32	3.32	3.56	0.34	5.68	4.99	5.26	0.37
2017	3.69	3.66	3.68	0.32	9.09	9.07	9.20	0.54	2.57	2.54	2.78	0.20	6.57	5.83	6.17	0.37
2018	1.51	1.38	1.48	0.31	6.85	6.54	6.51	0.39	3.10	2.90	2.87	0.32	4.22	5.04	3.73	0.33
2019	1.26	1.26	1.22	0.13	6.55	6.32	6.46	0.32	3.91	3.52	3.66	0.36	5.22	4.48	4.66	0.35
2020	2.13	2.16	2.16	0.21	8.19	7.97	8.24	0.59	3.04	3.10	3.09	0.45	6.29	5.95	6.01	0.30
2021	3.01	2.99	3.12	0.29	5.17	5.37	5.41	0.34	2.49	2.14	2.81	0.35	4.47	3.81	3.99	0.29
Average	<b>2.10</b>	<b>2.03</b>	<b>2.05</b>	0.26	<b>5.79</b>	<b>5.85</b>	<b>5.90</b>	0.38	<b>3.09</b>	<b>3.05</b>	<b>3.16</b>	0.32	<b>4.79</b>	<b>4.73</b>	<b>4.67</b>	0.34

\* P – plowing; SL – shallow non-shaft loosening; DL – deep non-shaft loosening; LSD – the least significant difference at 5 % significance level.

Таблица 5  
Запасы продуктивной влаги и урожайность полевых культур в среднем по способам основной обработки почвы (2006–2021 гг.)

Годы исследований	Запасы продуктивной влаги в слое 0–100 см, мм		Урожайность культур севооборота, т/га			
	На период посева	На период уборки	Горох на зерно	Озимая пшеница	Подсолнечник	Яровой ячмень
2006	165	127	2,35	2,44	3,82	6,08
2007	169	120	1,04	6,12	3,89	3,18
2008	186	119	1,96	6,00	4,02	7,19
2009	167	71	2,33	5,83	2,50	4,02
2010	155	67	1,57	2,72	2,64	2,50
2011	181	125	1,86	6,81	2,60	4,64
2012	184	89	2,06	2,95	2,97	5,00
2013	166	80	0,85	6,12	2,41	3,41
2014	159	99	2,94	7,35	3,43	4,88
2015	179	83	2,09	6,00	3,04	3,96
2016	151	96	2,28	5,58	3,40	5,31
2017	179	71	3,68	9,12	2,63	6,19
2018	162	163	1,46	6,63	2,96	4,33
2019	170	41	1,25	6,44	3,70	4,79
2020	132	87	2,15	8,13	3,08	6,08
2021	145	58	3,04	5,32	2,48	4,09
Среднее	166	93	2,06	5,85	3,10	4,73

Table 5  
Reserves of productive moisture and yields of field crops on average by methods of basic tillage (2006–2021)

Years of research	Reserves of productive moisture in the layer 0–100 cm, mm		Crop rotation yield, t/ha			
	For the sowing period	For the harvest period	Peas for grain	Winter wheat	Sunflower	Spring barley
2006	165	127	2.35	2.44	3.82	6.08
2007	169	120	1.04	6.12	3.89	3.18
2008	186	119	1.96	6.00	4.02	7.19
2009	167	71	2.33	5.83	2.50	4.02
2010	155	67	1.57	2.72	2.64	2.50
2011	181	125	1.86	6.81	2.60	4.64
2012	184	89	2.06	2.95	2.97	5.00
2013	166	80	0.85	6.12	2.41	3.41
2014	159	99	2.94	7.35	3.43	4.88
2015	179	83	2.09	6.00	3.04	3.96
2016	151	96	2.28	5.58	3.40	5.31
2017	179	71	3.68	9.12	2.63	6.19
2018	162	163	1.46	6.63	2.96	4.33
2019	170	41	1.25	6.44	3.70	4.79
2020	132	87	2.15	8.13	3.08	6.08
2021	145	58	3.04	5.32	2.48	4.09
Average	166	93	2.06	5.85	3.10	4.73

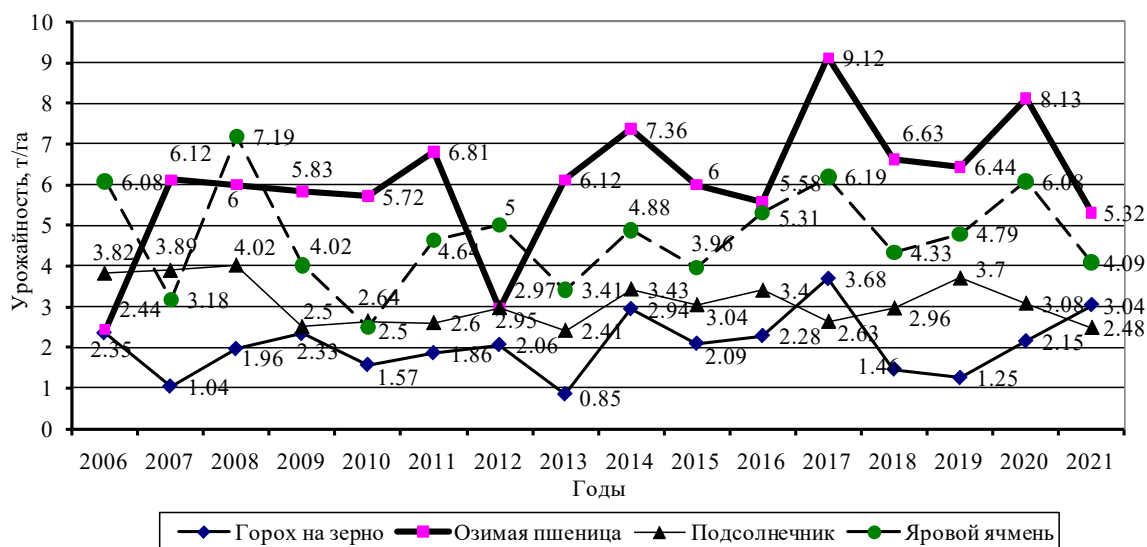


Рис. 11. Урожайность культур севооборота в среднем по способам основной обработки почвы, т/га (2006–2021 гг.)

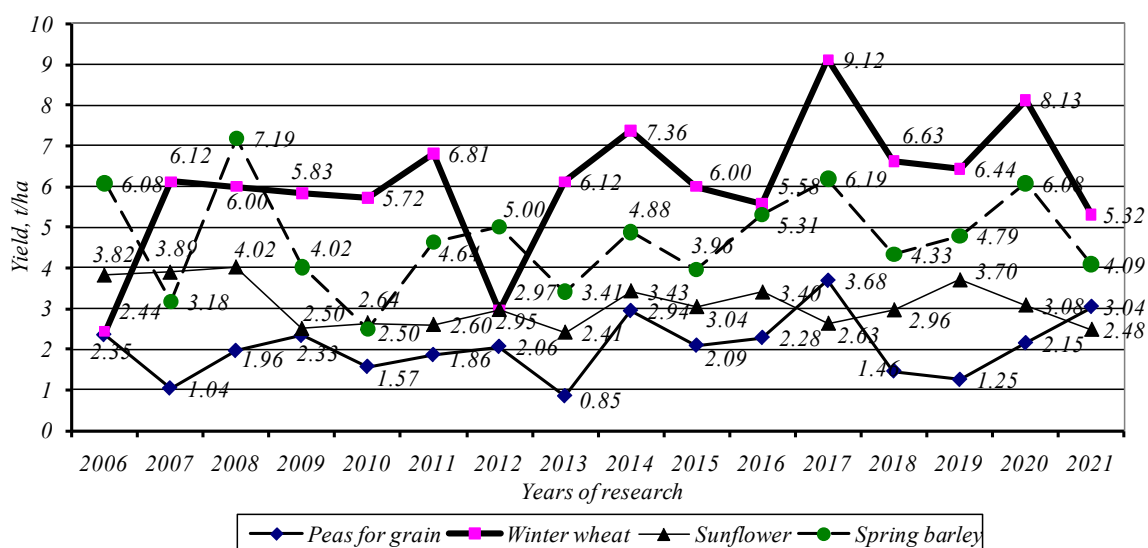


Fig. 11. Crop rotation yield on average by methods of basic tillage, t/ha (2006–2021)

Яровой ячмень в годы исследований, так же как и озимая пшеница, имел неустойчивые показатели урожайности. В период с 2011 года по 2021 год разница между минимальным и максимальным сбором зерна у этой культуры составляла 1,5–2,0 тонны с 1 га. За время ведения опыта наибольшей величины его зерновая продуктивность достигала в 2008 году (7,19 т/га), а наименьшее значение этот показатель имел в 2010 году (2,50 т/га).

Средняя урожайность зернобобовой культуры севооборота гороха на зерно была на уровне 2,0 т/га, при этом складывающиеся погодные условия во время вегетации также не позволяли получать стабильные сборы его зерна. Максимальный урожай гороха (3,68 т/га), как и озимой пшеницы и ярового ячменя, был получен в 2017 году, а минимальный (0,85 т/га) – в 2013 году. За время исследований низкая урожайность гороха около 1 тонны с 1 га была еще два раза. И в эти годы, как и в

2013 году, наблюдались сложные для данной культуры гидротермические условия в период формирования урожая, а именно высокие дневные температуры в сочетании с низкой влажностью воздуха.

Подсолнечник 8 лет из 16 имел урожайность в пределах 2,41–2,96 т/га, 5 лет – 3,40–3,89 т/га, два года – 3,04–3,08 т/га и только один раз (в 2008 году) его урожай превысил четыре тонны и составлял 4,02 т/га. При этом урожай ближе к четырем тоннам с одного гектара был в течение трех лет в начале анализируемого периода, в 2006, в 2007 и в 2008 году. В тоже время урожайность порядка 3,5 т/га наблюдалась как в середине, так и в конце шестнадцатилетнего цикла, причем иногда даже при среднегодовом дефиците осадков. То есть формирование урожая подсолнечника больше зависело от погодных условий в критические фазы его развития, чем от среднегодовых климатических показателей и содержания продуктивной влаги в почве на момент его посева и уборки.

**Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)**

При наблюдаемых изменениях климата на территории Белгородской области, выразившихся в повышении температуры воздуха, снижении количества атмосферных осадков и участившихся случаях экстремальных проявлений погоды, с учетом рассмотренных материалов проведенных опытов по изучению динамики запасов продуктивной почвенной влаги можно заключить, что независимо от способа основной обработки почвы имеется устойчивый тренд по ее снижению во всем метровом слое на время как посева, так и уборки культур. При этом наиболее существенное уменьшение запасов продуктивной влаги в почве до 35–43 % наблюдается при полной спелости культур.

Прямой корреляции между запасами доступной растениям влаги в метровом слое почвы на время их посева и уборки с величиной урожайности не установлено. Также не обнаружено четкой зависимости продуктивности культур от среднегодовых погодных показателей. Наибольшее влияние на урожай гороха, озимой пшеницы, подсолнечника и ярового ячменя оказывали погодные условия, которые складывались во время их вегетации, особенно в критические фазы развития. В то же время средняя урожайность культур за 16 лет практически не зависела от способа основной обработки почвы под них.

**Библиографический список**

1. О Федеральной научно-технической программе в области экологического развития и климатических изменений на 2021–2030 годы [Электронный ресурс]. URL: <https://vfanc.ru/federalnaya-nauchno-tehnicheskaya-programma-v-oblasti-ekologicheskogo-razvitiya-i-klimaticheskikh-izmenenij-na-2021-2030-gody> (дата обращения: 14.07.2022).
2. Прогноз научно-технического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. Москва: НИУ ВШЭ, 2017. 140 с.
3. Новикова Е. П., Григорьев Г. Н., Вагурин И. Ю., Чумейкина А. С. Вариации гидротермического режима в Черноземье за последние 30 лет на фоне глобального изменения климата // Научные ведомости БелГУ. 2017. № 11 (260). Вып. 39. С. 105–113.
4. Кноблаух Ш. Не уходи на глубину // Новое сельское хозяйство : журнал агроменеджера. 2021. № 5. С. 56–59.
5. Смуров С. И., Григоров О. В., Беликов Д. П. Динамика физико-химических свойств почвы в зависимости от ресурсосберегающих технологий // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. № 4 (20). С. 152–161.
6. Есаулко А. Н., Дрепа Е. Б., Ожередова А. Ю., Голосной Е. В. Эффективность применения технологии No-till в различных климатических зонах Ставропольского края // Земледелие. 2019. № 7. С. 28–31. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10707.
7. Смуров С. И., Григоров О. В., Беликов Д. П. Мониторинг запасов влаги в почве по различным технологиям возделывания озимой пшеницы и в прилегающих лесу и лесополосе // Белгородский агромир. 2017. № 7 (109). С. 7–9.
8. Букин О. В., Бочкарев Д. В., Никольский А. Н. Влияние приемов основной обработки почвы на урожайность и качество гороха посевного в условиях лесостепи европейской части России // Вестник АГАУ. 2020. №10 (192). С. 28–34.
9. Благополучная О. А., Девтерова Н. И. Нетрадиционные энергосберегающие способы обработки почв тяжелого механического состава в звене севооборота // Новые технологии. 2020. Вып. 1 (51). С. 124–131. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10113.
10. Чернов О. С. Влияние систем обработки на агрофизические показатели серой лесной почвы и урожайность культур // Владимирский земледелец. 2020. № 1. С. 12–17. DOI: 10.24411/2225-2584-2020-10102.
11. Турусов В. И., Гармашов В. М. Эффективность различных приемов и систем основной обработки почвы в звене севооборота горох – озимая пшеница в условиях юго-востока ЦЧР // Земледелие. 2018. № 4. С. 9–14. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10403.
12. Шабалкин А. В., Воронцов В. А., Скорочкин Ю. П. Влияние обработки почвы в комплексе с применением удобрений и гербицидов на урожайность, качество семян сои и экономическую эффективность // Масличные культуры. 2019. Вып. 1 (177). С. 55–59. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-1-177-55-59.
13. Ивенин В. В., Минеева Н. А., Борисов Н. А., Шубина К. В., Ивенин А. В. Сравнительная оценка различных технологий возделывания яровой пшеницы и их экономическая эффективность в условиях Волго-Вятского региона // Известия ОГАУ. 2019. № 6 (80). С. 53–57.
14. Акчурин Р. Л., Чанышев И. О., Нафиков Р. К., Низаева А. А. Продуктивность зерновых и зернобобовых культур при различных способах обработки почвы // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 8. С. 14–17. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10803.
15. Сафроновская Г. Почвенная влага и минеральное питание: расставляем акценты [Электронный ресурс]. URL: <https://glavagronom.ru/articles/pochvennaya-vlaga-i-mineralnoe-pitanie> (дата обращения: 14.07.2022).

16. Влажность почвы и применение удобрений [Электронный ресурс]. URL: <https://www.activestudy.info/vlazhnost-pochvy-i-primenenie-udobrenij> (дата обращения: 14.07.2022).

#### Об авторах:

Сергей Иванович Смуров<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией по изучению систем земледелия, ORCID 0000-0003-0014-8622, AuthorID 863886; +7 903 024-11-15, [smurov\\_si@bsaa.edu.ru](mailto:smurov_si@bsaa.edu.ru)

Олег Владимирович Григоров<sup>1</sup>, ведущий специалист лаборатории по изучению систем земледелия, ORCID 0000-0002-9314-4737, AuthorID 925390; +7 905 171-85-06, [ogrigorov@mail.ru](mailto:ogrigorov@mail.ru)

Семен Николаевич Ермолаев<sup>1</sup>, агроном лаборатории по изучению систем земледелия,

ORCID 0000-0001-6553-5928, AuthorID 1076768; +7 904 093-09-50, [semyon.nikolaevich@mail.ru](mailto:semyon.nikolaevich@mail.ru)

<sup>1</sup> Белгородский государственный аграрный университет, Белгород, Россия

## The influence of climate change on crop yields and soil moisture reserves

S. I. Smurov<sup>1</sup>✉, O. V. Grigorov<sup>1</sup>, S. N. Ermolaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Belgorod State Agrarian University, Belgorod, Russia

✉ E-mail: [info@bsaa.edu.ru](mailto:info@bsaa.edu.ru)

**Abstract.** The aim of the research is to study the influence of the changed climatic conditions of the Belgorod region on the reserves of productive moisture in the soil and the yield of field crops using various methods of basic tillage. **Research methods.** Based on our own long-term research, the analysis of the effect of the increase in air temperature and the decrease in precipitation per year on soil moisture reserves and crop yields under various methods of basic tillage is made. **Scientific novelty.** An overview of the changes in the climatic conditions of growing field crops in the Belgorod region that have occurred in recent decades is given. **Results.** Agrometeorological observations have shown that in the period from 2006 to 2021, the air temperature in the surface layer increased, and the amount of precipitation decreased. Cases of extreme weather manifestations have become more frequent. Observations of the dynamics of moisture in a meter layer of soil in a stationary experiment determined that the climate changes that have occurred have affected its reserves. So at the time of sowing crops, there was a decrease in the amount of moisture in the soil by 15 % of the average over the years, and when the crops were fully ripe, it decreased by 35–43 %, without significant connection with the methods of basic tillage. The influence of extreme weather manifestations during the period of crop formation on crop yields is noted. According to the results of the research, it was concluded that there is a steady trend of decreasing moisture reserves in the meter layer of the soil, both at the time of sowing and during harvesting, regardless of the method of its main processing. There is no direct connection between the yield of field crops and the reserves of moisture available to plants at the time of their sowing and harvesting in the meter layer of soil and the method of its main processing.

**Keywords:** climate, average annual air temperature, precipitation, soil moisture, methods of basic tillage, field crops, yield.

**For citation:** Smurov S. I., Grigorov O. V., Ermolaev S. N. Vliyanie izmeneniy klimata na urozhaynost' kul'tur i zapasy pochvennoy vlagi [The influence of climate change on crop yields and soil moisture reserves] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 05 (234). Pp. 35–52. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-35-52. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 24.08.2022, **date of review:** 06.12.2022, **date of acceptance:** 08.12.2022.

#### References

1. O Federal'noy nauchno-tehnicheskoy programme v oblasti ekologicheskogo razvitiya i klimaticheskikh izmeneniy na 2021–2030 gody [About the Federal Scientific and Technical program in the field of environmental development and climate change for 2021–2030] [e-resource]. URL: <https://vfanc.ru/federalnaya-nauchno-tehnicheskaya-programma-v-oblasti-ekologicheskogo-razvitiya-i-klimaticheskikh-izmenenij-na-2021-2030-gody> (date of reference: 14.07.2022). (In Russian.)
2. Prognoz nauchno-tehnicheskogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda [Forecast of scientific and technical development of the agro-industrial complex of the Russian Federation for the period up to 2030]. Moscow: NIU VShE, 2017. 140 p. (In Russian.)
3. Novikova E. P., Grigor'ev G. N., Vagurin I. Yu., Chumeykina A. S. Variatsii gidrotermicheskogo rezhima v Chernozem'e za poslednie 30 let na fone global'nogo izmeneniya klimata [Variations of the hydrothermal regime

in the Chernozem region over the past 30 years against the background of global climate change] // *Nauchnye vedomosti BelGU*. 2017. No. 11 (260). Iss. 39. Pp. 105–113. (In Russian.)

4. Knoblaugh Sh. Ne ukhodi na glubinu [Don't go deep] // *Novoe sel'skoe khozyaystvo : zhurnal agromenedzhera*. 2021. No. 5. Pp. 56–59. (In Russian.)

5. Smurov S. I., Grigorov O. V., Belikov D. P. Dinamika fiziko-khimicheskikh svoystv pochvy v zavisimosti ot resursosberegayushchikh tekhnologiy [Dynamics of physical and chemical properties of soil depending on resource-saving technologies] // *Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives*. 2018. No. 4 (20). Pp. 152–161. (In Russian.)

6. Esaulko A. N., Drepa E. B., Ozheredova A. Yu., Golosnoy E. V. Effektivnost' primeneniya tekhnologii No-till v razlichnykh klimaticheskikh zonakh Stavropol'skogo kraya [The effectiveness of the No-till technology in various climatic zones of the Stavropol Territory] // *Zemledelie*. 2019. No. 7. Pp. 28–31. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10707. (In Russian.)

7. Smurov S. I., Grigorov O. V., Belikov D. P. Monitoring zapasov vlagi v pochve po razlichnym tekhnologiyam vozdeleyvaniya ozimoy pshenitsy i v prilgayushchikh lesu i lesopolose [Monitoring of moisture reserves in the soil by various technologies of winter wheat cultivation and in the adjacent forest and forest belt] // *Belgorodskiy agromir*. 2017. No. 7 (109). Pp. 7–9. (In Russian.)

8. Bukin O. V., Bochkarev D. V., Nikol'skiy A. N. Vliyanie priemov osnovnoy obrabotki pochvy na urozhaynost' i kachestvo gorokha posevnogo v usloviyakh lesostepi evropeyskoy chasti Rossii [The influence of basic tillage techniques on the yield and quality of seeded peas in the conditions of the forest-steppe of the European part of Russia] // *Vestnik AGAU*. 2020. No. 10 (192). Pp. 28–34. (In Russian.)

9. Blagopoluchnaya O. A., Devterova N. I. Netraditsionnye energosberegayushchie sposoby obrabotki pochv tyazhelogo mekhanicheskogo sostava v zvene sevooborota [Unconventional energy-saving methods of soil treatment of heavy mechanical composition in the link of crop rotation] // *Novye tekhnologii*. 2020. Vol. 1 (51). Pp. 124–131. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10113. (In Russian.)

10. Chernov O. S. Vliyanie sistem obrabotki na agrofizicheskie pokazateli seroy lesnoy pochvy i urozhaynost' kul'tur [The influence of processing systems on agrophysical indicators of gray forest soil and crop yields] // *Vladimir agriculturist*. 2020. No. 1. Pp. 12–17. DOI: 10.24411/2225-2584-2020-10102. (In Russian.)

11. Turusov V. I., Garmashov V. M. Effektivnost' razlichnykh priemov i sistem osnovnoy obrabotki pochvy v zvene sevooborota gorokh – ozimaya pshenitsa v usloviyakh yugo-vostoka TsChR [Efficiency of Different Methods and Systems of Tillage in Crop Rotation Section “Pea – Winter Wheat” under Conditions of the Southeast of the Central Chernozem Zone] // *Zemledelie*. 2018. No. 4. Pp. 9–14. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10403. (In Russian.)

12. Shabalkin A. V., Vorontsov V. A., Skorochkin Yu. P. Vliyanie obrabotki pochvy v komplekse s primeneniem udobreniy i gerbitsidov na urozhaynost', kachestvo semyan soi i ekonomicheskuyu effektivnost' [The effect of tillage in combination with the use of fertilizers and herbicides on the yield, quality of soybean seeds and economic efficiency] // *Oil Crops*. 2019. Vol. 1 (177). Pp. 55–59. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-1-177-55-59. (In Russian.)

13. Ivenin V. V., Mineeva N. A., Borisov N. A., Shubina K. V., Ivenin A. V. Sravnitel'naya otsenka razlichnykh tekhnologiy vozdeleyvaniya yarovoy pshenitsy i ikh ekonomicheskaya effektivnost' v usloviyakh Volgo-Vyatskogo regiona [Comparative evaluation of various technologies of spring wheat cultivation and their economic efficiency in the conditions of the Volga-Vyatka region] // *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019. No. 6 (80). Pp. 53–57. (In Russian.)

14. Akchurin R. L., Chanyshv I. O., Nafikov R. K., Nizaeva A. A. Produktivnost' zernovykh i zernobobovykh kul'tur pri razlichnykh sposobakh obrabotki pochvy [Effect of Various Tillage Methods on Productivity of Grain and Leguminous Crops] // *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019. Vol. 33. No. 8. Pp. 14–17. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10803. (In Russian.)

15. Safronovskaya G. Pochvennaya vlaga i mineral'noe pitanie: rasstavlyaem aktsenty [Soil moisture and mineral nutrition: we place accents] [e-resource]. URL: <https://glavagronom.ru/articles/pochvennaya-vlaga-i-mineralnoe-pitanie> (date of reference: 14.07.2022). (In Russian.)

16. Vlazhnost' pochvy i primeneniye udobreniy [Soil moisture and fertilizer application] [e-resource]. URL: <https://www.activestudy.info/vlazhnost-pochvy-i-primeneniye-udobrenij> (date of reference: 14.07.2022). (In Russian.)

#### Authors's information:

Sergey I. Smurov<sup>1</sup>, candidate of agricultural sciences, head of the laboratory for the study of farming systems, ORCID 0000-0003-0014-8622, AuthorID 863886; +7 903 024-11-15, [smurov\\_si@bsaa.edu.ru](mailto:smurov_si@bsaa.edu.ru)

Oleg V. Grigorov<sup>1</sup>, leading specialist of the laboratory for the study of farming systems, ORCID 0000-0002-9314-4737, AuthorID 925390; +7 905 171-85-06, [ogrigorov@mail.ru](mailto:ogrigorov@mail.ru)

Semen N. Ermolaev<sup>1</sup>, agronomist of the laboratory for the study of farming systems, ORCID 0000-0001-6553-5928, AuthorID 1076768; +7 904 093-09-50, [semyon.nikolaevich@mail.ru](mailto:semyon.nikolaevich@mail.ru)

<sup>1</sup> Belgorod State Agrarian University, Belgorod, Russia

## Идентификация SNP, ассоциированных с воспроизводительной способностью крупного рогатого скота

О. А. Быкова<sup>1</sup>✉, О. В. Костюнина<sup>1</sup>, А. В. Степанов<sup>1</sup>, О. А. Шевкунов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: olbyk75@mail.ru

**Аннотация.** Проблема воспроизводства крупного рогатого скота в Российской Федерации из года в год остается актуальной и характеризуется достаточно низким выходом приплода в расчете на 100 маток, что приносит значительный экономический ущерб. Решение этой проблемы связано с увеличением эффективности реализации генетически детерминированных репродуктивных возможностей животных. Поиск генетических изменений, являющихся причинами снижения репродуктивных способностей сельскохозяйственных животных, и выявление причин летальности имеет фундаментальное значение для эффективного развития животноводства. Полногеномное сканирование с помощью чипов позволяет идентифицировать геномные регионы, мутации в которых приводят к возникновению экономически-значимых проблем, таких как эмбриональная смертность, генетические аномалии, нарушения развития, что характеризуется научной и практической значимостью. **Научная новизна** заключается в изучении молекулярно-генетических механизмов контроля фертильности крупного рогатого скота. **Цель работы** – выявление аллельных вариантов SNP, ассоциированных с воспроизводительной способностью крупного рогатого скота. Проведено полногеномное генотипирование. **Методы исследований.** Исследования проведены на коровах голштинизированной черно-пестрой породы уральского типа. Изучен генетический профиль животных черно-пестрой породы, идентифицированы SNP, значимо ассоциированные с воспроизводительными качествами коров, определены генетические варианты и сочетания по ДНК-маркерам, обуславливающие улучшение воспроизводительных качеств коров. **Результаты.** По показателям воспроизводства (кратность осеменения, продолжительность сервис периода) установлено, что кратность осеменения для животных с генотипом ARS-BFGL-NGS-71623GG составила 1,33, что ниже по сравнению с генотипами ARS-BFGL-NGS-71623AA и ARS-BFGL-NGS-71623AG на 0,27 и 0,5 единиц. Телок с генотипом ARS-BFGL-NGS-85003AC осеменяют в более раннем возрасте, чем остальных животных. Достоверная разница по живой массе при первом осеменении отмечена только по SNP ARS-BFGL-NGS-71623. Рекомендуем для улучшения воспроизводительной способности коров в племенное ядро отбирать животных с гомозиготным генотипом ARS-BFGL-NGS-71623GG.

**Ключевые слова:** крупный рогатый скот, полногеномное генотипирование, воспроизводительная способность, ДНК-маркеры.

**Для цитирования:** Быкова О. А., Костюнина О. В., Степанов А. В., Шевкунов О. А. Идентификация SNP, ассоциированных с воспроизводительной способностью крупного рогатого скота // Аграрный вестник Урала. 2023. № 06 (235). С. 53–66. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-53-66.

**Дата поступления статьи:** 25.04.2023, **дата рецензирования:** 10.05.2023, **дата принятия:** 18.05.2023.

### Постановка проблемы (Introduction)

Поиск генетических изменений, являющихся причинами снижения репродуктивных способностей сельскохозяйственных животных, изучение молекулярно-генетических механизмов контроля фертильности крупного рогатого скота и выявление причин летальности имеют фундаментальное значение для эффективного развития животноводства. Полногеномное сканирование с помощью чипов позволяет идентифицировать геномные регионы, мутации в которых приводят к возникновению эко-

номически значимых проблем, таких как эмбриональная смертность, генетические аномалии, нарушения развития, что характеризуется научной и практической значимостью [1–3].

Исследование биологической сущности высокой продуктивности животных представляет собой фундаментальную задачу науки в области животноводства. Наряду с уровнем продуктивности крайне остро стоит вопрос об улучшении показателей, характеризующих репродуктивные функции крупного рогатого скота. Последние десятилетия отме-

ченны значительным ростом молочной продуктивности коров с одновременным снижением выхода телят, увеличением сервис-периода и снижением репродуктивных способностей в целом. Одной из причин такого явления выступают мутации, приводящие к фенотипическим проявлениям летальности на разных этапах развития от эмбриона до новорожденных телят. Такие явления сопровождаются удлинением сервис-периода, возникновением гинекологических заболеваний, повышением нагрузки на ветеринарную службу хозяйства, увеличением выбраковки животных, что в итоге наносит существенный экономический ущерб. Немаловажно отметить, что мутации, приводящие к таким проблемам, зачастую характеризуются плейотропным эффектом, то есть положительно ассоциированы с уровнем молочной продуктивности. Улучшенный генетический потенциал животных позволит повысить уровень репродуктивных способностей, снизить частоту их возникновения. Несмотря на то что полногеномные исследования молочного скота активно ведутся по всему миру, генетические характеристики крупного рогатого скота Уральского типа остаются малоизученными, а в аспекте снижения показателя выхода телят, фиксируемого по региону в течение последних лет, характеризует обозначенную проблему как и социально значимую. Полногеномные исследования в скотоводстве, направленные на идентификацию SNPs, ассоциированных с воспроизводительной способностью крупного рогатого скота, а также генетических дефектов в отечественных популяциях крупного рогатого скота, актуальны и значимы [4–9].

До недавнего времени снижение воспроизводительной способности связывали главным образом с послеродовыми проблемами клинического характера, а также с развитием метаболического стресса, обусловленного лактацией. В настоящее время считается, что по крайней мере половина такого снижения обусловлена генетически [10].

В последние десятилетия наблюдаются серьезные проблемы с репродуктивной функцией коров. Был открыт ряд летальных гаплотипов, связанных с рецессивными расстройствами репродуктивных и продуктивных признаков. Частота вредных аллелей, переносимых производителями, возрастает в последовательных генерациях. Разработан ряд методов сканирования генома для оценки биоразнообразия внутри пород и между ними. Полученные карты неравновесного сцепления генов с высоким разрешением и детали этих карт внесли большой вклад в понимание природы сложных сетей связей между генами, гаплотипами и формированием фенотипических признаков [11].

Развитие геномной селекции по признакам фертильности стабилизировало и даже обратило вспять тенденцию к снижению показателей репродуктив-

ных признаков, продемонстрировав эффективность геномного отбора. В то же время были проведены исследования общегеномных ассоциаций (GWAS) для выявления количественных локусов признаков (QTL) и генов-кандидатов, связанных с фертильностью крупного рогатого скота, что обеспечивает лучшее понимание генетической архитектуры признаков фертильности [12–14].

В мировой популяции крупного рогатого скота голштинской породы определены довольно высокие частоты гаплотипов фертильности, оказывающие влияние на репродуктивные качества, а также ассоциированные с эмбриональной и постэмбриональной смертностью на различных стадиях.

Развитие полногеномных методов анализа способствовало выявлению ряда новых гаплотипов, ассоциированных со снижением воспроизводительной способности коров, получивших название гаплотипов фертильности. В настоящее время в голштинской породе выявлено 22 гаплотипа фертильности, оказывающих влияние на стельность. Для многих из них обуславливающие мутации все еще неизвестны.

В последние годы в маркировании признаков воспроизводства молочного скота произошел существенный сдвиг, связанный с разработкой и внедрением геномной селекции. Однако заметную практическую эффективность пока приносит только использование в селекции маркеров по ограниченному количеству известных гаплотипов. Другие направления свидетельствуют об очевидном расширении возможностей повышения воспроизводительных качеств при действенной научной доводке отдельных маркеров. В целом включение обнаруживаемых ассоциаций SNP с показателями воспроизводства в геномную оценку, является одним из перспективных направлений работы с геномом крупного рогатого скота [15–20].

В связи с актуальностью данной тематики нами было проведено исследование по изучению генетического профиля животных черно-пестрой породы уральского типа, идентификации SNPs, значимо ассоциированных с воспроизводительными качествами коров, определению генетических вариантов и сочетаний по ДНК-маркерам, обуславливающим улучшение воспроизводительных качеств коров.

#### **Методология и методы исследования (Methods)**

Исследования проведены в АО «Каменское» на коровах голштинизированной черно-пестрой породы уральского типа. От животных опытной группы осуществляли отбор крови в вакуумные пробирки, содержащие консервант КЗ ЭДТА. Выделение ДНК и последующее генотипирование выполняли в центре геномной селекции компании ООО «Мираторг-Генетика».

Полногеномное генотипирование проводили с использованием чипов GGP Bovine 50K. Для проведения GWAS-исследований использовали пакет



Garit v.3. Проводили анализ воспроизводительных качеств коров с различными аллельными вариантами полиморфизмов, показавших наибольшую значимость при GWAS-исследовании. Использовали названия SNP, указанные в файле manifest для чипа, с помощью которого проводили исследования.

Частоту встречаемости генотипов анализируемых генов рассчитывали путем соотношения количества коров из числа носителей генотипа к общему числу животных в исследуемой группе.

Обработку полученных в эксперименте данных проводили в программах Microsoft Excel, Biostatistics при расчете основных статистических и биометрических показателей.

## Результаты (Results)

Частота проявления генотипов ассоциированных генов с продуктивными или воспроизводительными признаками имеет большое значение в селекционной работе с крупным рогатым скотом. Наследование признака во многом определяется гомо- или гетерозиготным типом генотипа (рис. 1–6).

При рассмотрении структуры полиморфизмов, достоверно связанных с кратностью осеменения, установлено, что из восьми SNP у двух присутствуют только два генотипа: ARS-BFGL-NGS-85003AA с частотой встречаемости 11,6 % и ARS-BFGL-NGS-85003AG с частотой 88,4 %, BTA-115852-no-rsAA и BTA-115852-no-rsAG с частотами 94,2 % и 5,8 % соответственно.

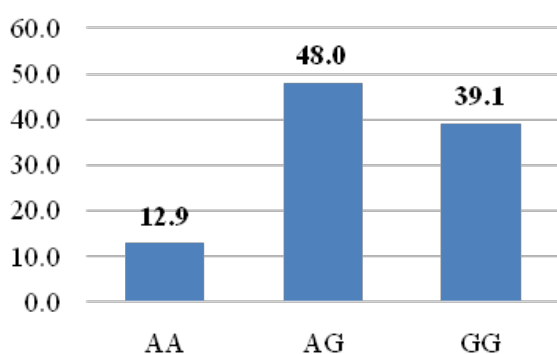


Рис. 1. Частота встречаемости генотипов SNP ARS-BFGL-NGS-4585

Fig. 1. Frequency of occurrence of SNP genotypes ARS-BFGL-NGS-4585

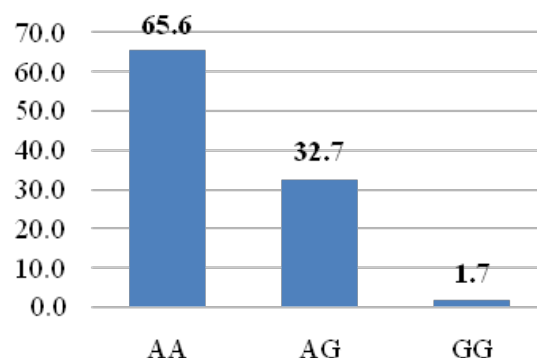


Рис. 2. Частота встречаемости генотипов SNP ARS-BFGL-NGS-71148

Fig. 2. Frequency of occurrence of SNP genotypes ARS-BFGL-NGS-71148

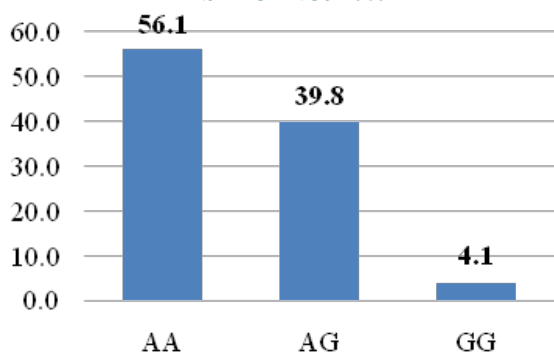


Рис. 3. Частота встречаемости генотипов SNP ARS-BFGL-NGS-71623

Fig. 3. Frequency of occurrence of SNP genotypes ARS-BFGL-NGS-71623

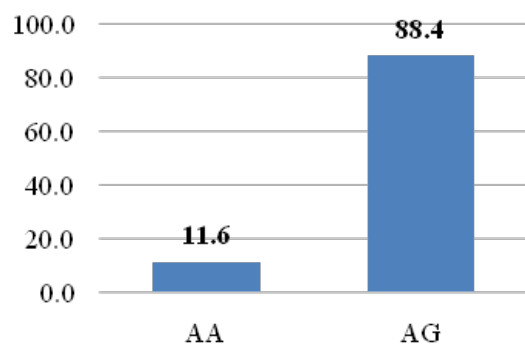


Рис. 4. Частота встречаемости генотипов SNP ARS-BFGL-NGS-85003

Fig. 4. Frequency of occurrence of SNP genotypes ARS-BFGL-NGS-85003

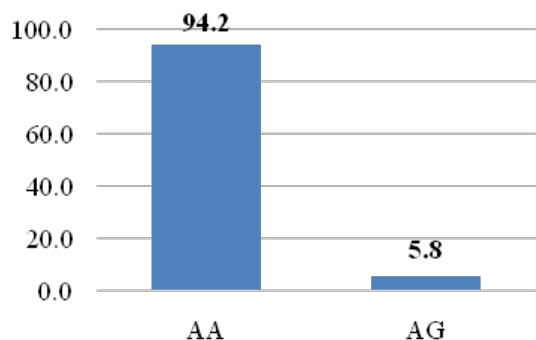


Рис. 5. Частота встречаемости SNP BTA-115852-no-rs

Fig. 5. Frequency of occurrence of SNP genotypes BTA-115852-no-rs

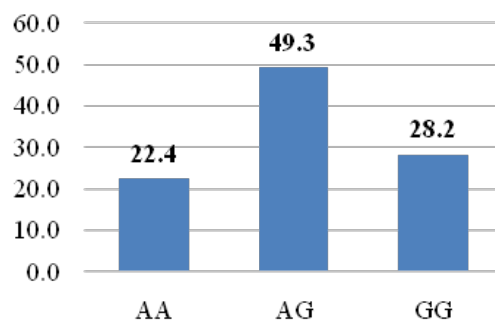


Рис. 6. Частота встречаемости SNP Нармар41431-BTA-111895

Fig. 6. Frequency of occurrence of SNP genotypes Нармар41431-BTA-111895

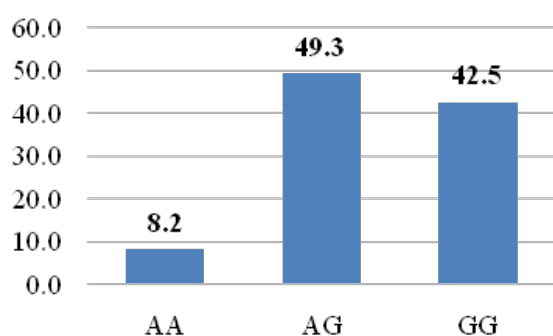


Рис. 7. Частота встречаемости генотипов SNP Harmap42329-BTA-80748  
Fig. 7. Frequency of occurrence of SNP genotypes Harmap42329-BTA-80748

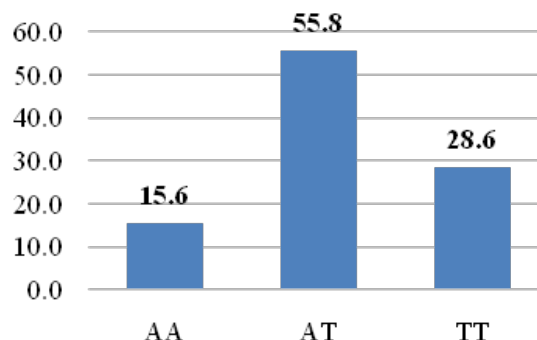


Рис. 8. Частота встречаемости генотипов SNP UA-IFASA-9208  
Fig. 8. Frequency of occurrence of SNP genotypes UA-IFASA-9208

При рассмотрении каждого генотипа отдельно можно сказать, что у четырех SNP (ARS-BFGL-NGS-4585, Harmap41431-BTA-111895, Harmap42329-BTA-80748, UA-IFASA-9208), имеющих три генотипа, количественно преобладают гетерозиготные генотипы: их доля колеблется от 48,0 до 55,8 %. У SNP ARS-BFGL-NGS-71148 и ARS-BFGL-NGS-71623 преобладают гомозиготные генотипы по аллелю А.

При рассмотрении изучаемых полиморфизмов по гомо- и гетерозиготным генотипам установлено, что только в SNP ARS-BFGL-NGS-85003 и UA-IFASA-9208 доля гетерозиготных генотипов превышает сумму гомозиготных, частота встречаемости составила 88,4 и 55,8 % соответственно.

В таблицах 1–3 представлены показатели воспроизводительной способности коров в зависимости от генотипа по исследуемым полиморфизмам.

Анализ показателей воспроизводства и их связи с генотипами рассматриваемых SNP выявил существенную разницу, при этом достоверные данные получены только в нескольких случаях.

В изучаемом поголовье по кратности осеменения к первой лактации в большинстве случаев наименьшие значения получены по гомозиготным генотипам, и только по полиморфизмам BTA-115852-no-rs и Harmap41431-BTA-111895 меньшее количество раз осеменялись коровы с гетерозиготными генотипами AG. Однако статистически значимые различия по разности рассматриваемого показателя получены по ARS-BFGL-NGS-71623. Так, кратность осеменения для животных с генотипом ARS-BFGL-NGS-71623GG составила 1,33, что ниже по сравнению с генотипами ARS-BFGL-NGS-71623AA и ARS-BFGL-NGS-71623AG на 0,27 и 0,5 единицы ( $P \leq 0,01$ ) соответственно.

Рассматривая продолжительность сервис-периода, можно сказать, что он несколько превышает рекомендованные значения в целом по изучаемому поголовью, диапазон вариации признака колеблется от 133,96 до 191,08 дней, при этом достоверных

различий между генотипами изучаемых полиморфизмов не обнаружено.

Следует отметить высокое значение коэффициента изменчивости по показателям кратности осеменения к первой лактации и продолжительности сервис-периода в диапазонах 36,93–74,5 % и 45,80–71,29 %, что говорит о высокой вариативности показателей.

Применение интенсивных технологий выращивания и кормления ремонтного молодняка крупного рогатого скота позволяет получать телок с достаточной для осеменения живой массой и проводить случку в более раннем возрасте. Анализ данного показателя показал, что на предприятии применяется интенсивное выращивание телок, так как осеменение проводится в возрасте от 12,26 до 13,40 месяца (разница между средними показателями составляет 1,24 месяца). Достоверная разница между генотипами по этому признаку отмечена только по SNP ARS-BFGL-NGS-85003, характеризующемуся наличием двух генотипов: гомозиготного и гетерозиготного. Наименьшее значение по исследуемой выборке отмечено по ARS-BFGL-NGS-85003AC – 12,26 месяца, что достоверно ниже на 0,7 месяца ( $P \leq 0,01$ ), чем у коров – носителей генотипа ARS-BFGL-NGS-85003CC. По возрасту плодотворного осеменения статистически значимой разницы между показателями животных – носителей различных генотипов – не обнаружено.

Живая масса животных при осеменении характеризует не только уровень кормления и технологию выращивания молодняка, но также и генетические особенности. Среди рассматриваемых полиморфизмов в большинстве случаев наибольшая живая масса при первом осеменении отмечена у гетерозиготных генотипов (5 SNP). Достоверная разница по живой массе при первом осеменении отмечена только по SNP ARS-BFGL-NGS-71623. Так, наименьшее значение показателя установлено у генотипа ARS-BFGL-NGS-71623GG – 365,75 кг, что достоверно ниже, чем у коров с генотипами ARS-

BFGL-NGS-71623AA и ARS-BFGL-NGS-71623AG, на 11,28 кг ( $P \leq 0,01$ ) и 14,9 кг ( $P \leq 0,01$ ) соответственно. По живой массе при плодотворном осеменении распределение показателей практически

аналогично, однако достоверная разница установлена между генотипами ARS-BFGL-NGS-71623GG и ARS-BFGL-NGS-71623AG – 25,16 кг ( $P \leq 0,05$ ).

Таблица 1  
Связь генотипов с кратностью осеменения и сервис периодом коров

SNP	Генотип	<i>n</i>		Кратность осеменения	Сервис-период, дней
ARS-BFGL-NGS-4585	AA	38	$X \pm Sx$	$1,5 \pm 0,16$	$139,23 \pm 13,15$
			$Cv, \%$	67,11	58,23
	AG	141	$X \pm Sx$	$1,70 \pm 0,09$	$151,60 \pm 7,67$
			$Cv, \%$	64,29	60,12
	GG	115	$X \pm Sx$	$1,56 \pm 0,09$	$146,79 \pm 8,24$
			$Cv, \%$	64,51	60,23
ARS-BFGL-NGS-71148	AA	193	$X \pm Sx$	$1,59 \pm 0,07$	$145,83 \pm 6,02$
			$Cv, \%$	60,42	57,38
	AG	96	$X \pm Sx$	$1,69 \pm 0,13$	$151,64 \pm 10,10$
			$Cv, \%$	72,61	65,25
	GG	5	$X \pm Sx$	$1,60 \pm 0,40$	$169,20 \pm 34,66$
			$Cv, \%$	55,90	45,80
ARS-BFGL-NGS-71623	AA	165	$X \pm Sx$	$1,50 \pm 0,07$	$148,12 \pm 6,87$
			$Cv, \%$	63,47	59,56
	AG	117	$X \pm Sx$	$1,83 \pm 0,11^{**}$	$143,72 \pm 8,07$
			$Cv, \%$	65,12	60,75
	GG	12	$X \pm Sx$	$1,33 \pm 0,14$	$191,08 \pm 29,83$
			$Cv, \%$	36,93	54,08
BTA-115852-no-rs	AA	277	$X \pm Sx$	$1,63 \pm 0,06$	$148,68 \pm 5,34$
			$Cv, \%$	65,41	59,77
	AG	17	$X \pm Sx$	$1,53 \pm 0,19$	$139,00 \pm 21,12$
			$Cv, \%$	52,30	62,65
Нармап41431-BTA-111895	AA	66	$X \pm Sx$	$1,70 \pm 0,16$	$150,55 \pm 10,72$
			$Cv, \%$	74,52	57,83
	AG	145	$X \pm Sx$	$1,59 \pm 0,08$	$147,65 \pm 7,46$
			$Cv, \%$	62,11	60,83
	GG	83	$X \pm Sx$	$1,63 \pm 0,11$	$147,02 \pm 9,76$
			$Cv, \%$	60,51	60,46
Нармап42329-BTA-80748	AA	24	$X \pm Sx$	$1,58 \pm 0,24$	$144,00 \pm 20,96$
			$Cv, \%$	74,30	71,29
	AG	145	$X \pm Sx$	$1,65 \pm 0,09$	$155,79 \pm 7,47$
			$Cv, \%$	66,89	57,75
	GG	125	$X \pm Sx$	$1,61 \pm 0,09$	$140,02 \pm 0,14$
			$Cv, \%$	60,61	60,08
UA-IFASA-9208	AA	46	$X \pm Sx$	$1,63 \pm 0,18$	$133,96 \pm 13,44$
			$Cv, \%$	74,68	68,05
	AT	164	$X \pm Sx$	$1,65 \pm 0,08$	$156,69 \pm 6,96$
			$Cv, \%$	61,94	56,92
	TT	84	$X \pm Sx$	$1,58 \pm 0,11$	$139,15 \pm 9,31$
			$Cv, \%$	65,19	61,30
ARS-BFGL-NGS-85003	AC	34	$X \pm Sx$	$1,82 \pm 0,23$	$135,24 \pm 13,75$
			$Cv, \%$	72,03	59,26
	CC	260	$X \pm Sx$	$1,6 \pm 0,06$	$149,81 \pm 5,56$
			$Cv, \%$	63,39	59,88

*The relationship of genotypes with the frequency of insemination and the service period of cows* Table 1

SNP	Genotype	n		Multiplicity of insemination	Service period, days
ARS-BFGL-NGS-4585	AA	38	$X \pm Sx$	$1.5 \pm 0.16$	$139.23 \pm 13.15$
			Cv, %	67.11	58.23
	AG	141	$X \pm Sx$	$1.70 \pm 0.09$	$151.60 \pm 7.67$
			Cv, %	64.29	60.12
	GG	115	$X \pm Sx$	$1.56 \pm 0.09$	$146.79 \pm 8.24$
			Cv, %	64.51	60.23
ARS-BFGL-NGS-71148	AA	193	$X \pm Sx$	$1.59 \pm 0.07$	$145.83 \pm 6.02$
			Cv, %	60.42	57.38
	AG	96	$X \pm Sx$	$1.69 \pm 0.13$	$151.64 \pm 10.10$
			Cv, %	72.61	65.25
	GG	5	$X \pm Sx$	$1.60 \pm 0.40$	$169.20 \pm 34.66$
			Cv, %	55.90	45.80
ARS-BFGL-NGS-71623	AA	165	$X \pm Sx$	$1.50 \pm 0.07$	$148.12 \pm 6.87$
			Cv, %	63.47	59.56
	AG	117	$X \pm Sx$	$1.83 \pm 0.11^{**}$	$143.72 \pm 8.07$
			Cv, %	65.12	60.75
	GG	12	$X \pm Sx$	$1.33 \pm 0.14$	$191.08 \pm 29.83$
			Cv, %	36.93	54.08
BTA-115852-no-rs	AA	277	$X \pm Sx$	$1.63 \pm 0.06$	$148.68 \pm 5.34$
			Cv, %	65.41	59.77
	AG	17	$X \pm Sx$	$1.53 \pm 0.19$	$139.00 \pm 21.12$
			Cv, %	52.30	62.65
Нармар41431-BTA-111895	AA	66	$X \pm Sx$	$1.70 \pm 0.16$	$150.55 \pm 10.72$
			Cv, %	74.52	57.83
	AG	145	$X \pm Sx$	$1.59 \pm 0.08$	$147.65 \pm 7.46$
			Cv, %	62.11	60.83
	GG	83	$X \pm Sx$	$1.63 \pm 0.11$	$147.02 \pm 9.76$
			Cv, %	60.51	60.46
Нармар42329-BTA-80748	AA	24	$X \pm Sx$	$1.58 \pm 0.24$	$144.00 \pm 20.96$
			Cv, %	74.30	71.29
	AG	145	$X \pm Sx$	$1.65 \pm 0.09$	$155.79 \pm 7.47$
			Cv, %	66.89	57.75
	GG	125	$X \pm Sx$	$1.61 \pm 0.09$	$140.02 \pm 0.14$
			Cv, %	60.61	60.08
UA-IFASA-9208	AA	46	$X \pm Sx$	$1.63 \pm 0.18$	$133.96 \pm 13.44$
			Cv, %	74.68	68.05
	AT	164	$X \pm Sx$	$1.65 \pm 0.08$	$156.69 \pm 6.96$
			Cv, %	61.94	56.92
	TT	84	$X \pm Sx$	$1.58 \pm 0.11$	$139.15 \pm 9.31$
			Cv, %	65.19	61.30
ARS-BFGL-NGS-85003	AC	34	$X \pm Sx$	$1.82 \pm 0.23$	$135.24 \pm 13.75$
			Cv, %	72.03	59.26
	CC	260	$X \pm Sx$	$1.6 \pm 0.06$	$149.81 \pm 5.56$
			Cv, %	63.39	59.88

Связь генотипов с возрастом первого и плодотворного осеменения голштинских коров

SNP	Генотип	n	Возраст первого осеменения, мес.		Возраст плодотворного осеменения, мес.	
			$X \pm Sx$	Cv, %	$X \pm Sx$	Cv, %
ARS-BFGL-NGS-4585	AA	38	$X \pm Sx$	12,60 ± 0,20	13,34 ± 0,31	
			Cv, %	9,85	14,39	
	AG	141	$X \pm Sx$	12,97 ± 0,15	13,97 ± 0,23	
			Cv, %	13,88	19,78	
	GG	115	$X \pm Sx$	12,85 ± 0,15	13,59 ± 0,22	
			Cv, %	12,59	17,40	
ARS-BFGL-NGS-71148	AA	193	$X \pm Sx$	12,84 ± 0,11	13,62 ± 0,15	
			Cv, %	11,59	15,63	
	AG	96	$X \pm Sx$	12,92 ± 0,20	13,91 ± 0,31	
			Cv, %	15,47	21,54	
	GG	5	$X \pm Sx$	13,40 ± 0,60	15,60 ± 2,42	
			Cv, %	10,01	34,70	
ARS-BFGL-NGS-71623	AA	165	$X \pm Sx$	12,75 ± 0,12	13,52 ± 0,19	
			Cv, %	12,21	18,48	
	AG	117	$X \pm Sx$	13,11 ± 0,17	14,14 ± 0,24	
			Cv, %	13,87	18,25	
	GG	12	$X \pm Sx$	12,42 ± 0,40	13,08 ± 0,51	
			Cv, %	11,11	13,62	
BTA-115852-no-rs	AA	277	$X \pm Sx$	12,87 ± 0,10	13,73 ± 0,15	
			Cv, %	12,95	18,42	
	AG	17	$X \pm Sx$	13,06 ± 0,42	14,06 ± 0,59	
			Cv, %	13,12	17,33	
Hapmap41431-BTA-111895	AA	66	$X \pm Sx$	12,74 ± 0,19	13,74 ± 0,33	
			Cv, %	12,18	19,41	
	AG	145	$X \pm Sx$	12,89 ± 0,13	13,66 ± 0,18	
			Cv, %	12,27	16,27	
	GG	83	$X \pm Sx$	12,96 ± 0,21	13,90 ± 0,32	
			Cv, %	14,63	20,79	
Hapmap42329-BTA-80748	AA	24	$X \pm Sx$	13,29 ± 0,41	14,25 ± 0,52	
			Cv, %	14,96	17,95	
	AG	145	$X \pm Sx$	12,90 ± 0,13	13,77 ± 0,21	
			Cv, %	12,57	18,13	
	GG	125	$X \pm Sx$	12,77 ± 0,15	13,62 ± 0,23	
			Cv, %	12,94	18,72	
UA-IFASA-9208	AA	46	$X \pm Sx$	13,02 ± 0,19	13,72 ± 0,31	
			Cv, %	9,64	15,42	
	AT	164	$X \pm Sx$	12,85 ± 0,13	13,77 ± 0,20	
			Cv, %	13,19	18,33	
	TT	84	$X \pm Sx$	12,85 ± 0,20	13,70 ± 0,30	
			Cv, %	14,12	19,97	
ARS-BFGL-NGS-85003	AC	34	$X \pm Sx$	12,26 ± 0,19	13,24 ± 0,43	
			Cv, %	9,05	19,07	
	CC	260	$X \pm Sx$	12,96 ± 0,11**	13,81 ± 0,16	
			Cv, %	13,21	18,23	

Table 2  
Relationship of genotypes with the age of the first and fruitful insemination of Holstein cows

SNP	Genotype	n		Multiplicity of insemination	Service period, days
ARS-BFGL-NGS-4585	AA	38	X ± Sx	12.60 ± 0.20	13.34 ± 0.31
			Cv, %	9.85	14.39
	AG	141	X ± Sx	12.97 ± 0.15	13.97 ± 0.23
			Cv, %	13.88	19.78
	GG	115	X ± Sx	12.85 ± 0.15	13.59 ± 0.22
			Cv, %	12.59	17.40
ARS-BFGL-NGS-71148	AA	193	X ± Sx	12.84 ± 0.11	13.62 ± 0.15
			Cv, %	11.59	15.63
	AG	96	X ± Sx	12.92 ± 0.20	13.91 ± 0.31
			Cv, %	15.47	21.54
	GG	5	X ± Sx	13.40 ± 0.60	15.60 ± 2.42
			Cv, %	10.01	34.70
ARS-BFGL-NGS-71623	AA	165	X ± Sx	12.75 ± 0.12	13.52 ± 0.19
			Cv, %	12.21	18.48
	AG	117	X ± Sx	13.11 ± 0.17	14.14 ± 0.24
			Cv, %	13.87	18.25
	GG	12	X ± Sx	12.42 ± 0.40	13.08 ± 0.51
			Cv, %	11.11	13.62
BTA-115852-no-rs	AA	277	X ± Sx	12.87 ± 0.10	13.73 ± 0.15
			Cv, %	12.95	18.42
	AG	17	X ± Sx	13.06 ± 0.42	14.06 ± 0.59
			Cv, %	13.12	17.33
Нартап41431-BTA-111895	AA	66	X ± Sx	12.74 ± 0.19	13.74 ± 0.33
			Cv, %	12.18	19.41
	AG	145	X ± Sx	12.89 ± 0.13	13.66 ± 0.18
			Cv, %	12.27	16.27
	GG	83	X ± Sx	12.96 ± 0.21	13.90 ± 0.32
			Cv, %	14.63	20.79
Нартап42329-BTA-80748	AA	24	X ± Sx	13.29 ± 0.41	14.25 ± 0.52
			Cv, %	14.96	17.95
	AG	145	X ± Sx	12.90 ± 0.13	13.77 ± 0.21
			Cv, %	12.57	18.13
	GG	125	X ± Sx	12.77 ± 0.15	13.62 ± 0.23
			Cv, %	12.94	18.72
UA-IFASA-9208	AA	46	X ± Sx	13.02 ± 0.19	13.72 ± 0.31
			Cv, %	9.64	15.42
	AT	164	X ± Sx	12.85 ± 0.13	13.77 ± 0.20
			Cv, %	13.19	18.33
	TT	84	X ± Sx	12.85 ± 0.20	13.70 ± 0.30
			Cv, %	14.12	19.97
ARS-BFGL-NGS-85003	AC	34	X ± Sx	12.26 ± 0.19	13.24 ± 0.43
			Cv, %	9.05	19.07
	CC	260	X ± Sx	12.96 ± 0.11**	13.81 ± 0.16
			Cv, %	13.21	18.23

## Связь генотипов с живой массой при первом и плодотворном осеменении голштинских коров

SNP	Генотип	n	Живая масса при первом осеменении, кг		Живая масса при плодотворном осеменении, кг	
			$X \pm Sx$	Cv, %	$X \pm Sx$	Cv, %
ARS-BFGL-NGS-4585	AA	38	$X \pm Sx$	379,31 ± 3,52	396,92 ± 5,45	8,46
			Cv, %	5,73		
	AG	141	$X \pm Sx$	377,68 ± 1,87	404,0 ± 4,37	12,85
			Cv, %	5,90		
	GG	115	$X \pm Sx$	377,97 ± 2,21	396,46 ± 4,15	11,22
			Cv, %	6,29		
ARS-BFGL-NGS-71148	AA	193	$X \pm Sx$	377,67 ± 1,70	398,22 ± 3,13	10,91
			Cv, %	6,26		
	AG	96	$X \pm Sx$	378,84 ± 2,19	402,95 ± 5,21	12,66
			Cv, %	5,67		
	GG	5	$X \pm Sx$	375,20 ± 5,72	420,20 ± 42,51	22,62
			Cv, %	3,41		
ARS-BFGL-NGS-71623	AA	165	$X \pm Sx$	377,03 ± 1,82**	396,02 ± 3,68	11,92
			Cv, %	6,20		
	AG	117	$X \pm Sx$	380,65 ± 2,06**	407,74 ± 4,42*	11,73
			Cv, %	5,85		
	GG	12	$X \pm Sx$	365,75 ± 3,97	382,58 ± 6,41	5,80
			Cv, %	3,76		
BTA-115852-no-rs	AA	277	$X \pm Sx$	377,81 ± 1,35	399,56 ± 2,84	11,83
			Cv, %	5,97		
	AG	17	$X \pm Sx$	381,29 ± 6,44	409,53 ± 10,71	10,78
			Cv, %	6,97		
Нарма41431- BTA-111895	AA	66	$X \pm Sx$	377,76 ± 2,75	403,88 ± 6,48	13,03
			Cv, %	5,92		
	AG	145	$X \pm Sx$	378,80 ± 1,92	398,86 ± 3,63	10,96
			Cv, %	6,12		
	GG	83	$X \pm Sx$	376,83 ± 2,48	399,39 ± 5,32	12,14
			Cv, %	5,99		
Нарма42329- BTA-80748	AA	24	$X \pm Sx$	379,75 ± 6,42	404,79 ± 11,86	14,36
			Cv, %	8,28		
	AG	145	$X \pm Sx$	378,28 ± 1,75	400,43 ± 3,80	11,43
			Cv, %	5,56		
	GG	125	$X \pm Sx$	377,36 ± 2,05	398,90 ± 4,17	11,69
			Cv, %	6,08		
UA-IFASA-9208	AA	46	$X \pm Sx$	383,33 ± 3,80	402,04 ± 7,94	13,39
			Cv, %	6,72		
	AT	164	$X \pm Sx$	376,07 ± 1,74	399,63 ± 3,49	11,20
			Cv, %	5,92		
	TT	84	$X \pm Sx$	378,89 ± 2,37	400,08 ± 5,25	12,03
			Cv, %	5,74		
ARS-BFGL-NGS-85003	AC	34	$X \pm Sx$	378,82 ± 3,28	402,21 ± 8,52	12,35
			Cv, %	5,04		
	CC	260	$X \pm Sx$	377,90 ± 1,44	399,87 ± 2,90	11,71
			Cv, %	6,15		

Table 3

The relationship of genotypes with live weight during the first and fruitful insemination of Holstein cows

SNP	Genotype	n		Multiplicity of insemination	Service period, days
ARS-BFGL-NGS-4585	AA	38	$X \pm Sx$	$379.31 \pm 3.52$	$396.92 \pm 5.45$
			Cv, %	5.73	8.46
	AG	141	$X \pm Sx$	$377.68 \pm 1.87$	$404.0 \pm 4.37$
			Cv, %	5.90	12.85
	GG	115	$X \pm Sx$	$377.97 \pm 2.21$	$396.46 \pm 4.15$
			Cv, %	6.29	11.22
ARS-BFGL-NGS-71148	AA	193	$X \pm Sx$	$377.67 \pm 1.70$	$398.22 \pm 3.13$
			Cv, %	6.26	10.91
	AG	96	$X \pm Sx$	$378.84 \pm 2.19$	$402.95 \pm 5.21$
			Cv, %	5.67	12.66
	GG	5	$X \pm Sx$	$375.20 \pm 5.72$	$420.20 \pm 42.51$
			Cv, %	3.41	22.62
ARS-BFGL-NGS-71623	AA	165	$X \pm Sx$	$377.03 \pm 1.82^{**}$	$396.02 \pm 3.68$
			Cv, %	6.20	11.92
	AG	117	$X \pm Sx$	$380.65 \pm 2.06^{**}$	$407.74 \pm 4.42^*$
			Cv, %	5.85	11.73
	GG	12	$X \pm Sx$	$365.75 \pm 3.97$	$382.58 \pm 6.41$
			Cv, %	3.76	5.80
BTA-115852-no-rs	AA	277	$X \pm Sx$	$377.81 \pm 1.35$	$399.56 \pm 2.84$
			Cv	5.97	11.83
	AG	17	$X \pm Sx$	$381.29 \pm 6.44$	$409.53 \pm 10.71$
			Cv	6.97	10.78
Нарма41431-BTA-111895	AA	66	$X \pm Sx$	$377.76 \pm 2.75$	$403.88 \pm 6.48$
			Cv, %	5.92	13.03
	AG	145	$X \pm Sx$	$378.80 \pm 1.92$	$398.86 \pm 3.63$
			Cv, %	6.12	10.96
	GG	83	$X \pm Sx$	$376.83 \pm 2.48$	$399.39 \pm 5.32$
			Cv, %	5.99	12.14
Нарма42329-BTA-80748	AA	24	$X \pm Sx$	$379.75 \pm 6.42$	$404.79 \pm 11.86$
			Cv, %	8.28	14.36
	AG	145	$X \pm Sx$	$378.28 \pm 1.75$	$400.43 \pm 3.80$
			Cv, %	5.56	11.43
	GG	125	$X \pm Sx$	$377.36 \pm 2.05$	$398.90 \pm 4.17$
			Cv, %	6.08	11.69
UA-IFASA-9208	AA	46	$X \pm Sx$	$383.33 \pm 3.80$	$402.04 \pm 7.94$
			Cv, %	6.72	13.39
	AT	164	$X \pm Sx$	$376.07 \pm 1.74$	$399.63 \pm 3.49$
			Cv, %	5.92	11.20
	TT	84	$X \pm Sx$	$378.89 \pm 2.37$	$400.08 \pm 5.25$
			Cv, %	5.74	12.03
ARS-BFGL-NGS-85003	AC	34	$X \pm Sx$	$378.82 \pm 3.28$	$402.21 \pm 8.52$
			Cv, %	5.04	12.35
	CC	260	$X \pm Sx$	$377.90 \pm 1.44$	$399.87 \pm 2.90$
			Cv, %	6.15	11.71



**Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)**

Исследование геномов, полученных с использованием NGS-технологий (New Generation Sequencing), показало, что усредненный геном несет 250–300 вариантов последовательностей с нарушением функций (LoF, Loss-of-Function). Открытие целого ряда LoF-мутаций стало возможным благодаря разработке и применению нового подхода – так называемого картирования гомозиготности. Он основан на генотипировании десятков тысяч SNP (Single Nucleotide Polymorphism), характеризующихся отсутствием одного из гомозиготных генотипов с помощью чипов средней и высокой плотности и последующей идентификации регионов с потерей гомозиготности. Примером может служить чип Bovine SNP50 v2 BeadChip (Illumina, США), позволяющий проводить анализ 54609 SNP.

Недавнее развитие геномной селекции по признакам фертильности стабилизировало и даже обратило вспять тенденцию к снижению показателей репродуктивных признаков, продемонстрировав эффективность геномного отбора. В то же время были проведены исследования общегеномных ассоциаций (GWAS) для выявления количественных локусов признаков (QTL) и генов-кандидатов, связанных с фертильностью крупного рогатого скота, что обеспечивает лучшее понимание генетической архитектуры признаков фертильности.

В результате исследования распределения генотипов по таким признакам, как кратность осеменения и продолжительность сервис-периода, разница установлена только по SNP ARS-BFGL-NGS-71623. Кратность осеменения для животных с гомозиготным генотипом ARS-BFGL-NGS-71623GG составила в среднем 1,33, что достоверно ниже на 0,5 единицы ( $P \leq 0,01$ ) по сравнению с гетерозиготным генотипом ARS-BFGL-NGS-71623AG.

По возрасту первого осеменения достоверная разница получена по ARS-BFGL-NGS-8500, имеющему только два генотипа.

По гену ARS-BFGL-NGS-71623 также установлена статистически значимая разница по уровню живой массы. Коровы с генотипом ARS-BFGL-NGS-71623GG достоверно уступали животным с генотипами ARS-BFGL-NGS-71623AA и ARS-BFGL-NGS-71623AG по живой массе при первом осеменении на 11,28 кг ( $P \leq 0,01$ ) и 14,9 кг ( $P \leq 0,01$ ) соответственно. По живой массе при плодотворном осеменении значимая разница установлена только между генотипами ARS-BFGL-NGS-71623GG и ARS-BFGL-NGS-71623AG 25,16 кг ( $P \leq 0,01$ ).

**Благодарности (Acknowledgements)**

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-76-10021.

**Библиографический список**

1. Гетманцева Л. В., Шевцова В. С., Колосова М. А., Романенкова О. С., Костюнина О. В. Исследование гаплотипов фертильности у голштинских коров голландского происхождения в условиях ростовской области // Главный зоотехник. 2020. № 4. С. 36–40.
2. Форнара М. С., Костюнина О. В., Филипченко А. А., Сермягин А. А., Зиновьева Н. А. Система определения полиморфизма SUGT1, ассоциированного с гаплотипом фертильности симментальского скота FH4 // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2019. № 3. С. 92–97. DOI: 10.26155/vet.zoo.bio.201903015.
3. Исупова Ю. В., Ачкасова Е. В. Перспективы использования оценки геномной племенной ценности в селекции молочного скота в условиях Удмуртской Республики // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (90). С. 307–311.
4. Нарышкина Е. Н., Сермягин А. А. Оценка генетической и геномной вариабельности признаков фертильности быков-производителей на основе локусов в геноме, ассоциированных с давлением отбора (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2020. № 9. С. 64–72.
5. Романенкова О. С., Волкова В. В., Костюнина О. В., Зиновьева Н. А. Исследование Российской популяции голштинского и голштинизированного черно-пестрого купного рогатого скота на наличие мутации в гене TFB1M, ассоциированного с гаплотипом HH5 // Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии: сборник тезисов докладов 19-й Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной памяти академика РАСХН Георгия Сергеевича Муромцева. Москва, 2019. С. 119–120.
6. Кузнецова М. К., Кислякова Е. М., Исупова Ю. В. Достоверность учёта данных как один из способов повышения точности при оценке племенной ценности // Аграрная Россия. 2022. № 1. С. 27–30.
7. Лукьянов А. А., Тюлебаев С. Д., Косилов В. И. Использование возможностей геномной оценки крупного рогатого скота в РФ // Актуальные проблемы ветеринарной медицины и зоотехнии: сборник материалов Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию доктора сельскохозяйственных наук, профессора кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы и фармакологии ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ Ляпина Олега Абдулхаковича. Оренбург, 2022. С. 132–137.
8. Абдельманова А. С., Сермягин А. А., Доцев А. В., Родионов А. Н., Столповский Ю. А., Зиновьева Н. А. Полногеномные исследования структуры популяций российских локальных пород черно-пестрого корня // Генетика. 2022. Т. 58. № 7. С. 786–797. DOI: 10.31857/S0016675822070025.

9. Ганиев А. С., Сибатуллин Ф. С., Шайдуллин Р. Р., Фаизов Т. Х. Сервис-период и молочная продуктивность коров с разными генотипами CSN3 и DGAT1 // Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана. 2018. № 2. С. 67–72.
10. Иванова И. П., Троценко И. В. Применение селекционно-генетических параметров в племенной работе с молочным скотом // Вестник КрасГАУ. 2019. № 3 (144). С. 65–70.
11. Яковлев А. Ф. Вклад гаплотипов в формирование племенных и воспроизводительных качеств животных (обзор) // Проблемы биологии продуктивных животных. 2019. № 2. С. 5–18. DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.2.5-18.
12. Guarini A. R., Lourenco D. A. L., Brito L. F., Sargolzaei M., Baes C. F., Miglior F., Misztal I., Schenkel F. S. Genetics and genomics of reproductive disorders in Canadian Holstein cattle // Journal of Dairy Science. 2019. No. 102. Iss. 2. Pp. 1341–1353. DOI: 10.3168/jds.2018-15038.
13. Garcia A. O., Otto P. I., Glatzl Junior L. A., Rocha R. F. B., Dos Santos M. G., de Oliveira D. A., da Silva M. V. G. B., Panetto J. C. D. C., Machado M. A., Verneque R. D. S., Guimarães S. E. F. Pedigree reconstruction and population structure using SNP markers in Gir cattle // Journal of Applied Genetics. 2023. No. 64 (2). Pp. 329–340. DOI: 10.1007/s13353-023-00747-x.
14. Ma L., Cole J. B., Da Y., VanRaden P. M. Genetics, genome-wide association study, and genetic improvement of dairy fertility traits // Journal of Dairy Science. 2019. Vol. 102. Iss. 4. Pp. 3735–3743. DOI 10.3168/jds.2018-15269.
15. Huang M., Liu X., Zhou Y., Summers R. M., Zhang Z. BLINK: a package for the next level of genome-wide association studies with both individuals and markers in the millions // Gigascience. 2019. No. 8 (2). Article number giy154. DOI: 10.1093/gigascience/giy154.
16. Pausch H., Schwarzenbacher H., Burgstaller J., Flisikowski K., Wurmser K., Jansen S., Jung S., Schnicke A., Witte T., Rudy K. Homozygous haplotype deficiency reveals deleterious mutations compromising reproductive and rearing success in cattle // BMC Genomics. 2015. No. 16 (1). Article number 312. DOI: 10.1186/S12864-015-1483-7.
17. Wang J., Zhou Z., Zhang Z., Li H., Liu D., Zhang Q., Bradbury P. J., Buckler E. S., Zhang Z. Expanding the BLUP alphabet for genomic prediction adaptable to the genetic architectures of complex traits // Heredity. 2018. Vol. 121 (6). Pp. 648–662. DOI: 10.1038/s41437-018-0075-0.
18. Sahana G., Nielsen U. S., Aamand G. P., Lund M. S., Guldbrandtsen B. Novel Harmful Recessive Haplotypes Identified for Fertility Traits in Nordic Holstein Cattle // PLoS ONE. 2013. Vol. 8. Iss. 12. Article number 82909. DOI: 10.1371/journal.pone.0082909.
19. Sugimoto M., Gotoh Y., Kawahara T., Sugimoto Y. Molecular Effects of Polymorphism in the 3'UTR of Unc-5 homolog C Associated with Conception Rate in Holsteins // PLoS ONE. 2015. Vol. 10. Iss. 7. Article number 0131283. DOI: 10.1371/journal.pone.0131283.
20. VanRaden M., Olson K. M., Null D. J., Hutchison J. L. Harmful recessive effects on fertility detected by absence of homozygous haplotypes // Journal of Dairy Science. 2011. Vol. 94. Iss. 12. Pp. 6153–6161. DOI: 10.3168/JDS.2011-4624.

#### Об авторах:

Ольга Александровна Быкова<sup>1</sup>, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, ORCID 0000-0002-0753-1539, AuthorID 663503; +7 950 542-94-34, [olbyk75@mail.ru](mailto:olbyk75@mail.ru)

Ольга Васильевна Костюнина<sup>1</sup>, доктор биологических наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, ORCID 0000-0001-8206-3221, AuthorID 147325; +7 903 741-56-35, [kostolan@yandex.ru](mailto:kostolan@yandex.ru)

Алексей Владимирович Степанов<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, ORCID 0000-0002-8523-5938, AuthorID 694790; +7 912 692-03-31, [alexystepanow@mail.ru](mailto:alexystepanow@mail.ru)

Олег Александрович Шевкунов<sup>1</sup>, аспирант кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, ORCID 0000-0003-2975-0633, AuthorID 956848; +7 953 045-79-94, [xoshyn@gmail.com](mailto:xoshyn@gmail.com)

<sup>1</sup> Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

## Identification of SNPs associated with the reproductive ability of cattle

O. A. Bykova<sup>1</sup>✉, O. V. Kostyunina<sup>1</sup>, A. V. Stepanov<sup>1</sup>, O. A. Shevkunov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: [olbyk75@mail.ru](mailto:olbyk75@mail.ru)

**Abstract.** The problem of reproduction of cattle in the Russian Federation remains relevant from year to year and is characterized by a rather low yield of offspring per 100 queens, which causes significant economic damage. The

solution to this problem is associated with an increase in the efficiency of the implementation of the genetically determined reproductive capabilities of animals. **Scientific novelty** lies in the study of molecular genetic mechanisms of cattle fertility control. **The aim** of the work was to identify allelic variants of SNPs associated with the reproductive ability of cattle. Whole genome genotyping was performed. **Research methods.** The studies were carried out on cows of the Holsteinized Black-and-White breed of the Ural type. The genetic profile of Black-and-White animals has been studied, SNP significantly associated with the reproductive qualities of cows have been identified, genetic variants and combinations of DNA markers have been identified that improve the reproductive qualities of cows. **Results.** In terms of reproduction indicators (multiplicity of insemination, duration of the service period), it was found that the multiplicity of insemination for animals with the genotype ARS-BFGL-NGS-71623GG was 1.33, which is lower compared to the genotypes ARS-BFGL-NGS-71623AA and ARS-BFGL-NGS-71623AG by 0.27 and 0.5 units. Heifers with the ARS-BFGL-NGS-85003AC genotype are inseminated at an earlier age than other animals. A significant difference in live weight at the first insemination was noted only for the ARS-BFGL-NGS-71623 gene. It is recommended to select animals with homozygous genotype ARS-BFGL-NGS-71623GG to improve the reproductive ability of cows in the breeding nucleus.

**Keywords:** cattle, whole genome genotyping, reproductive ability, DNA markers.

**For citation:** Bykova O. A., Kostyunina O. V., Stepanov A. V., Shevkunov O. A. Identifikatsiya SNP, assotsirovannykh s vosпроизводитель'noy sposobnost'yu krupnogo rogatogo skota [Identification of SNPs associated with the reproductive ability of cattle] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 6. (235) Pp. 53–66. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-53-66. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 25.04.2023, **date of review:** 10.05.2023, **date of acceptance:** 18.05.2023.

#### References

1. Getmantseva L. V., Shevtsova V. S., Kolosova M. A., Romanenkova O. S., Kostyunina O. V. Issledovanie gaplotipov fertil'nosti u golshtinskikh korov gollandskogo proiskhozhdeniya v usloviyakh rostovskoy oblasti [The study of fertility haplotypes in Holstein cows of Dutch origin in the conditions of the Rostov region] // Head of Animal Breeding. 2020. No. 4. Pp. 36–40. (In Russian.)
2. Fornara M. S., Kostyunina O. V., Filipchenko A. A., Sermyagin A. A., Zinov'eva N. A. Sistema opredeleniya polimorfizma SUGT1, assotsirovannogo s gaplotipom fertil'nosti simmental'skogo skota FH4 [System for determining the SUGT1 polymorphism associated with the fertility haplotype of Simmental cattle FH4] // Veterinary, Zootechnics and Biotechnology. 2019. No. 3. Pp. 92–97. DOI: 10.26155/vet.zoo.bio.201903015. (In Russian.)
3. Isupova Yu. V., Achkasova E. V. Perspektivy ispol'zovaniya otsenki genomnoy plemennoy tsennosti v selektsii molochnogo skota v usloviyakh Udmurtskoy Respubliki [Prospects for the use of assessment of genomic breeding value in the selection of dairy cattle in the conditions of the Udmurt Republic] // Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2021. No. 4 (90). Pp. 307–311. (In Russian.)
4. Naryshkina E. N., Sermyagin A. A. Evaluation of genetic and genomic variability of fertility traits of sires based on loci in the genome associated with selection pressure (review) [Otsenka geneticheskoy i genomnoy variabel'nosti priznakov fertil'nosti bykov-proizvoditeley na osnove lokusov v genome, assotsirovannykh s davleniem otbora (obzor)] // Achievements of Science and Technology in AIC. 2020. No. 9. Pp. 64–72. (In Russian.)
5. Romanenkova O. S., Volkova V. V., Kostyunina O. V., Zinov'eva N. A. Issledovanie Rossiyskoy populyatsii golshtinskogo i golshtinizirovannogo cherno-pestrogo kupnogo rogatogo skota na nalichie mutatsii v gene TFB1M, assotsirovannogo s gaplotipom HH5 [Study of the Russian population of Holstein and Holsteinized black-and-white cattle for the presence of a mutation in the TFB1M gene associated with the HH5 haplotype] // Biotekhnologiya v rasteniyevodstve, zhivotnovodstve i sel'skokhozyaystvennoy mikrobiologii: sbornik tezisov dokladov 19-y Vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy pamyati akademika RASKhN Georgiya Sergeevicha Muromtseva. Moscow, 2019. Pp. 119–120. (In Russian.)
6. Kuznetsova M. K., Kislyakova E. M., Isupova Yu. V. Dostovernost' ucheta dannykh kak odin iz sposobov povysheniya tochnosti pri otsenke plemennoy tsennosti [Reliability of data recording as one of the ways to improve accuracy in assessing breeding value] // Agrarian Russia. 2022. No. 1. Pp. 27–30. (In Russian.)
7. Luk'yanov A. A., Tyulebaev S. D., Kosilov V. I. Ispol'zovanie vozmozhnostey genomnoy otsenki krupnogo rogatogo skota v RF [Using the possibilities of genomic assessment of cattle in the Russian Federation] // Aktual'nye problemy veterinarnoy meditsiny i zootekhnii: sbornik materialov Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 80-letiyu doktora sel'skokhozyaystvennykh nauk, professora kafedry veterinarno-sanitarnoy ekspertizy i farmakologii FGBOU VO Orenburgskiy GAU Lyapina Olega Abdulkhakovicha. Orenburg, 2022. Pp. 132–137. (In Russian.)
8. Abdel'manova A. S., Sermyagin A. A., Dotsev A. V., Rodionov A. N., Stolpovskiy Yu. A., Zinov'eva N. A. Polnogenomnye issledovaniya struktury populyatsiy rossiyskikh lokal'nykh porod cherno-pestrogo kornya [Genome-

Wide Studies of the Population Structure of Russian Local Black-and-White Root Breeds] // *Genetika*. 2022. Vol. 58. No. 7. Pp. 786–797. DOI: 10.31857/S0016675822070025. (In Russian.)

9. Ganiev A. S., Sibagatullin F. S., Shaydullin R. R., Faizov T. Kh. Servis-period i molochnaya produktivnost' korov s raznymi genotipami CSN3 i DGAT1 [Service period and milk productivity of cows with different CSN3 and DGAT1 genotypes] // *Academic notes of Kazan state academy of veterinary medicine named after N. Bauman*. 2018. No. 2. Pp. 67–72. (In Russian.)

10. Ivanova I. P., Trotsenko I. V. The use of selection and genetic parameters in breeding work with dairy cattle [Primenenie selektsionno-geneticheskikh parametrov v plemennoy rabote s molochnym skotom] // *Bulletin of KrasSAU*. 2019. No. 3 (144). Pp. 65–70. (In Russian.)

11. Yakovlev A. F. Vklad gaplotipov v formirovanie plemennykh i vosproizvoditel'nykh kachestv zhyvotnykh (obzor) [The contribution of haplotypes to the formation of breeding and reproductive qualities of animals (review)] // *Problemy biologii produktivnykh zhyvotnykh*. 2019. No. 2. Pp. 5–18. DOI: 10.25687/1996-6733.prdanimbio.2019.2.5-18. (In Russian.)

12. Guarini A. R., Lourenco D. A. L., Brito L. F., Sargolzaei M., Baes C. F., Miglior F., Misztal I., Schenkel F. S. Genetics and genomics of reproductive disorders in Canadian Holstein cattle // *Journal of Dairy Science*. 2019. No. 102. Iss. 2. Pp. 1341–1353. DOI: 10.3168/jds.2018-15038.

13. Garcia A. O., Otto P. I., Glatzl Junior L. A., Rocha R. F. B., Dos Santos M. G., de Oliveira D. A., da Silva M. V. G. B., Panetto J. C. D. C., Machado M. A., Verneque R. D. S., Guimarães S. E. F. Pedigree reconstruction and population structure using SNP markers in Gir cattle // *Journal of Applied Genetics*. 2023. No. 64 (2). Pp. 329–340. DOI: 10.1007/s13353-023-00747-x.

14. Ma L., Cole J. B., Da Y., VanRaden P. M. Genetics, genome-wide association study, and genetic improvement of dairy fertility traits // *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102. Iss. 4. Pp. 3735–3743. DOI 10.3168/jds.2018-15269.

15. Huang M., Liu X., Zhou Y., Summers R. M., Zhang Z. BLINK: a package for the next level of genome-wide association studies with both individuals and markers in the millions // *Gigascience*. 2019. No. 8 (2). Article number giy154. DOI: 10.1093/gigascience/giy154.

16. Pausch H., Schwarzenbacher H., Burgstaller J., Flisikowski K., Wurmser K., Jansen S., Jung S., Schnicke A., Wittek T., Rudy K. Homozygous haplotype deficiency reveals deleterious mutations compromising reproductive and rearing success in cattle // *BMC Genomics*. 2015. No. 16 (1). Article number 312. DOI: 10.1186/S12864-015-1483-7.

17. Wang J., Zhou Z., Zhang Z., Li H., Liu D., Zhang Q., Bradbury P. J., Buckler E. S., Zhang Z. Expanding the BLUP alphabet for genomic prediction adaptable to the genetic architectures of complex traits // *Heredity*. 2018. Vol. 121 (6). Pp. 648–662. DOI: 10.1038/s41437-018-0075-0.

18. Sahana G., Nielsen U. S., Aamand G. P., Lund M. S., Guldbrandtsen B. Novel Harmful Recessive Haplotypes Identified for Fertility Traits in Nordic Holstein Cattle // *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8. Iss. 12. Article number 82909. DOI: 10.1371/journal.pone.0082909.

19. Sugimoto M., Gotoh Y., Kawahara T., Sugimoto Y. Molecular Effects of Polymorphism in the 3'UTR of Unc-5 homolog C Associated with Conception Rate in Holsteins // *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10. Iss. 7. Article number 0131283. DOI: 10.1371/journal.pone.0131283.

20. VanRaden M., Olson K. M., Null D. J., Hutchison J. L. Harmful recessive effects on fertility detected by absence of homozygous haplotypes // *Journal of Dairy Science*. 2011. Vol. 94. Iss. 12. Pp. 6153–6161. DOI: 10.3168/JDS.2011-4624.

#### Authors' information:

Olga A. Bykova<sup>1</sup>, doctor of agricultural sciences, professor of the department of biotechnology and food products, ORCID 0000-0002-0753-1539, AuthorID 663503; +7 950 542-94-34, [olbyk75@mail.ru](mailto:olbyk75@mail.ru)

Olga V. Kostyunina<sup>1</sup>, doctor of biological sciences, professor of the department of biotechnology and food products, ORCID 0000-0001-8206-3221, AuthorID 147325; +7 903 741-56-35, [kostolan@yandex.ru](mailto:kostolan@yandex.ru)

Aleksey V. Stepanov<sup>1</sup>, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of biotechnology and food products, ORCID 0000-0002-8523-5938, AuthorID 694790; +7 912 692-03-31, [alexystepanow@mail.ru](mailto:alexystepanow@mail.ru)

Oleg A. Shevkunov<sup>1</sup>, graduate student of the department of biotechnology and food products, ORCID 0000-0003-2975-0633, AuthorID 956848; +7 953 045-79-94, [xoshin@gmail.com](mailto:xoshin@gmail.com)

<sup>1</sup>Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

## Методы генотипирования крупного рогатого скота для post-GWAS аннотирования SNPs

М. В. Бытов<sup>1</sup>, О. В. Соколова<sup>1</sup>, Н. А. Безбородова<sup>1</sup>, А. С. Красноперов<sup>1</sup>, А. Г. Исаева<sup>1✉</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: isaeva.05@bk.ru

**Аннотация.** Полногеномный анализ ассоциаций является одним из ключевых инструментов для выяснения генетической этиологии различных фенотипов, в том числе заболеваний и степени предрасположенности к ним. В последующем для статистически значимых генетических маркеров необходимо проведение валидационных исследований на независимых выборках. Такие валидационные post-GWAS-исследования позволяют тестировать генетические маркеры, высокая степень ассоциации которых с фенотипом подтверждается независимо от размера выборки, позволяя опровергнуть ложноположительные результаты изначального анализа ассоциаций. При выборе методики генотипирования для валидационных post-GWAS-исследований необходимо учитывать размер выборки и количество генетических маркеров для изучения, поскольку методики различаются по производительности и необходимым финансовым ресурсам. **Цель** данной работы – проведение генотипирования крупного рогатого скота по SNPs rs137396952 и rs134055603, для которых была показана высокая степень ассоциации с развитием кетоза в предыдущих GWAS-исследованиях, и описание современных методов генотипирования в зависимости от их производительности. И использованные **методы** генотипирования включают в себя технологии TaqMan и High-Resolution Melt Analysis. Анализ генотипов проведен с помощью веб-инструмента SNPStats. По полученным **результатам** генотипирования с помощью указанных технологий продемонстрированы особенности аллельной дискриминации методов. Проведено тестирование результатов генотипирования, в результате которого показано, что rs134055603 не подчиняется равновесию Харди – Вайнберга в исследованной выборке животных. **Научная новизна.** Полученные результаты по генотипированию могут быть использованы в дальнейших ассоциативных тестах с физиологически ценными параметрами, в том числе устойчивости к заболеваниям крупного рогатого скота молочного направления.

**Ключевые слова:** GWAS, крупный рогатый скот, генотипирование, SNP, ДНК, ПЦР, электрофорез.

**Для цитирования:** Бытов М. В., Соколова О. В., Безбородова Н. А., Красноперов А. С., Исаева А. Г. Методы генотипирования крупного рогатого скота для post-GWAS аннотирования SNPs // Аграрный вестник Урала. 2023. № 06 (235). С. 67–75. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-67-75.

**Дата поступления статьи:** 14.03.2023, **дата рецензирования:** 10.04.2023, **дата принятия:** 20.04.2023.

### Постановка проблемы (Introduction)

Полногеномные ассоциативные исследования (Genome-Wide Association Study, GWAS) определяют генетические области, которые могут играть важную роль в развитии фенотипов. Аннотирование этих статистически значимых пиков ассоциаций – локусов (Quantitative Trait Loci, QTL) – в виде генов и их функциональных частей, в которых находятся значимые SNPs, является важным шагом в процессе GWAS для проведения связи с тестируемым фенотипом [1]. Однако некоторые из этих пиков могут быть ложноположительными [2]. Для достоверно значимых генетических маркеров необходимо проведение валидационных исследований

на независимых выборках. Такие валидационные исследования позволяют определить генетические маркеры, высокая степень ассоциации которых с фенотипом подтверждается независимо от размера выборки или ложноположительных результатов изначального анализа ассоциаций. При выборе методики генотипирования необходимо учитывать размер выборки и количество генетических маркеров для изучения.

На сегодняшний день для генотипирования организмов исследователями используется ряд методов в различных модификациях, однако их можно объединить в три основные группы: полимеразная цепная реакция (ПЦР), секвенирование, ДНК-

чипы [3]. В свою очередь, каждый из них можно разделить на подгруппы.

Так, генотипирование с помощью ПЦР можно разделить на ПЦР по конечной точке и в режиме реального времени. ПЦР-методы включают ПЦР с использованием аллель-специфичных праймеров (как с детекцией по конечной точке – KASP, так и в режиме реального времени – thAmp), гибридационных зондов (технология TaqMan и другие), а также ферментов рестрикции (ПЦР-ПДРФ). Для использования отдельных методов требуется соответствующее оборудование (например, амплификатор с детекцией в реальном времени для технологии TaqMan [4]). Перечисленные технологии имеют примерно одинаковую производительность, которая ограничена количеством каналов детекции в амплификаторе, а также стоимость. Для проведения функциональной аннотации отдельных SNPs в post-GWAS-исследованиях на большом количестве особей данную группу методов можно считать оптимальной по соотношению цены и производительности.

Секвенирование исторически принято подразделять на секвенирование по Сэнгеру; секвенирование второго поколения, которое является наиболее распространенной технологией и реализовано компаниями Illumina Inc., Thermo Fisher Scientific, GeneMind Biosciences; секвенирование третьего поколения, которое реализовано компаниями MGI Tech, Nanopore Inc., Pacific Biosciences of California Inc. [5]. Для выполнения секвенирования отдельных участков генома на небольшом количестве особей оптимальным можно считать NGS второго поколения.

Использование ДНК-чипов является ключевой технологией в GWAS для поиска новых QTL и SNPs, ассоциированных с фенотипом [6]. Наиболее распространенным вариантом метода можно считать технологию от компании Illumina Inc. Метод позволяет генотипировать особей по SNPs, распределенных по всему геному. Для валидационных исследований необходим выбор конкретных SNPs, для которых была показана высокая степень ассоциации с фенотипом, поэтому для таких целей требуется подробный анализ данных предыдущих GWAS для создания кастомного чипа. Использование ДНК-чипов является оптимальным при генотипировании особей по очень большому количеству полиморфизмов (ДНК-чипы высокой плотности от компании Illumina Inc. способны детектировать до 777 тысяч SNPs).

Стоит отдельно отметить метод генотипирования с помощью MALDI-TOF MS. Эта технология реализована компаниями Agena Bioscience Inc. (ранее Sequenom Inc.) и Hexin Instrument Co. [7]. Данный вид масс-спектрометрии в качестве downstream-анализа после мини-секвенирования

(SBE, single-base extension) оптимально подходит для генотипирования до 30 SNPs одновременно для относительно большого количества особей (до 500).

В 2019 г. группой канадских ученых был проведен полногеномный анализ ассоциаций с уровнем  $\beta$ -гидроксibuтирата в качестве маркера субклинического кетоза крупного рогатого скота молочного направления продуктивности во время первой и последующих лактаций [8]. В результате исследования был выявлен ряд QTL: на 6, 14 и 20 аутосомах. SNPs rs137396952 и rs134055603 в межгенном регионе GC-NPFFR2 показали высокую степень ассоциации с обозначенными фенотипами.

Таким образом, цель нашего исследования – проведение генотипирования крупного рогатого скота по SNPs rs137396952 и rs134055603, описание современных методов генотипирования в зависимости от их производительности.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Экстракция ДНК проведена из цельной крови с помощью Diatom DNA Prep 400 (ООО «Лаборатория Изоген», Россия) в соответствии с указаниями производителя. Концентрацию выделенной ДНК измеряли с помощью набора Qubit 1X dsDNA HS (Thermo Fisher Scientific, США). В дальнейшем для работы использовали только образцы с концентрацией ДНК выше 5 нг/мкл. Было исследовано 240 образцов цельной крови.

Для дизайна олигонуклеотидов было использовано программное обеспечение FastPCR 6.8.12 [9; 10]. ПЦР в реальном времени по технологии TaqMan проводили с помощью наборов с Taq-полимеразой Hot Start (ООО «Диаэм», Россия). Конечный объем реакционной смеси составил 10 мкл, объем ДНК – 1 мкл. Конечная концентрация  $MgCl_2$  – 1,16 мМ, каждого dNTP – 0,2 мМ, Taq-полимеразы – 5 е. а.; 0,35 мкмоль каждого праймера и 0,9 мкмоль каждого зонда. Последовательность олигонуклеотидов (ООО «ДНК-Синтез», Россия) представлена в таблице 1. ПЦР в реальном времени с дальнейшим анализом кривой плавления (High-resolution Melt analysis, HRM) была проведена с 1 мкл продукта амплификации после TaqMan в конечном объеме 10 мкл. Концентрация в конечном объеме  $MgCl_2$  – 1,25 мМ, каждого dNTP – 0,22 мМ, Taq-полимеразы – 6,5 е. а.; Eva488 20x (аналог EvaGreen; производство Lumiprobe RUS Ltd, Россия) – 0,225 мкл; 0,45 мкмоль каждого праймера (последовательности в таблице 1). Длина целевого фрагмента была проверена с помощью гель-электрофореза на агарозной пластине, окрашенной бромистым этидием. Для определения оптимальной температуры отжига праймеров предварительно была выполнена амплификация в температурном градиенте с дальнейшим выбором оптимального протокола. Для проведения HRM-анализа после этапа амплификации был использован следующий

температурный протокол: 95 °C – 5 мин., 50 °C – 2 мин., плавление от 70 °C до 85 °C с инкрементом 0,1 °C в течение 2 с.

Для аллельной дискриминации по технологии TaqMan было использовано ПО Manager Bio-Rad (США). Для анализа HRM было использовано ПО с открытым кодом – hrmR, написанное на языке R [11].

Статистическая проверка результатов генотипирования на соответствие равновесию Харди – Вайнберга проведена с помощью веб-инструмента SNPStats [12].

### Результаты (Results)

Технология TaqMan позволяет проводить генотипирование особей по интересующим SNPs по двум аллельным вариантам сразу. Так, в ходе генотипирования по rs134055603 с помощью аллельной дискриминации в ПО Manager Bio-Rad была определена аллельная частота в исследованной выборке: A\* – 51 %, G\* – 49 %. Генотип A/A составлял 28 %, A/G – 47 %, G/G – 25 %, соответствуя равновесию Харди – Вайнберга по точному критерию Фишера ( $p$ -value = 0,37).

Анализ кривой плавления для rs134055603 показал идентичные результаты с генотипированием по технологии TaqMan. Так, с помощью ПО hrmR было определено, что оптимальное количество кластеров кривых плавления – 3 (рис. 1, а) и соответствует количеству генотипов, обнаруженных по TaqMan. Программа hrmR позволяет работать с изначальными данными по результатам плавления (рис. 1, б), а также проводит нормализацию по одному из образцов для более эффективной визуализации результатов (рис. 1, в). В качестве алгоритма кластеризации выбран метод  $k$ -ближайших соседей.

В ходе генотипирования по rs137396952 с помощью аллельной дискриминации в ПО Manager Bio-Rad была определена аллельная частота в исследованной выборке: T\* – 64 %, C – 36 %. Генотип T/C от общей выборки составлял 71 %, а T/T – 29 %.

Анализ кривых плавления для rs137396952 показал, что оптимальное количество кластеров кривых плавления – 2 (рис. 2, а). По этим данным также проведена нормализация (рис. 2, б).

Таблица 1

### Использованные для генотипирования олигонуклеотиды

Название	Последовательность	Длина ампликона, п. н.
rs137396952_F	ATGCAGCAGAAACAAGGGTTAAA	225
rs137396952_R	GTACAGCCACTGTGCAACAAC	
rs137396952_pT	HEX-GA+TT+CAGCATG+G+T+G+TCAG-BHQ2	
rs137396952_pC	Cy5-GATT+CAGCATG+G+C+G+TCAG-BHQ3	
rs137396952_HRM_F	GCAAGAGGAATAGATTCAGCA	71
rs137396952_HRM_R	ATCTTCATCCTCATGTTTCATAGT	
rs134055603_F	GACAAGGCTTTTGATAGGTGAAA	316
rs134055603_R	CAAAGCAACCACACAATGTTG	
rs134055603_pA	HEX-CAT+TT+TCT+T+A+GA+CT+T+CTG-BHQ1	
rs134055603_pG	Cy5-CATTTTCT+T+G+GA+CT+T+CTG-BHQ3	
rs134055603_HRM_F	ATTCTCAAATAATTTTGGGTTCAA	94
rs134055603_HRM_R	CACAGACTTTGATACTATAAACAC	

Примечание. «+» используется для обозначения LNA модификации следующего нуклеотида.

Table 1  
Oligonucleotides utilized for genotyping

Name	Sequence	Amplicon length, b. p.
rs137396952_F	ATGCAGCAGAAACAAGGGTTAAA	225
rs137396952_R	GTACAGCCACTGTGCAACAAC	
rs137396952_pT	HEX-GA+TT+CAGCATG+G+T+G+TCAG-BHQ2	
rs137396952_pC	Cy5-GATT+CAGCATG+G+C+G+TCAG-BHQ3	
rs137396952_HRM_F	GCAAGAGGAATAGATTCAGCA	71
rs137396952_HRM_R	ATCTTCATCCTCATGTTTCATAGT	
rs134055603_F	GACAAGGCTTTTGATAGGTGAAA	316
rs134055603_R	CAAAGCAACCACACAATGTTG	
rs134055603_pA	HEX-CAT+TT+TCT+T+A+GA+CT+T+CTG-BHQ1	
rs134055603_pG	Cy5-CATTTTCT+T+G+GA+CT+T+CTG-BHQ3	
rs134055603_HRM_F	ATTCTCAAATAATTTTGGGTTCAA	94
rs134055603_HRM_R	CACAGACTTTGATACTATAAACAC	

Note. “+” is used to label LNA modified following nucleotide.

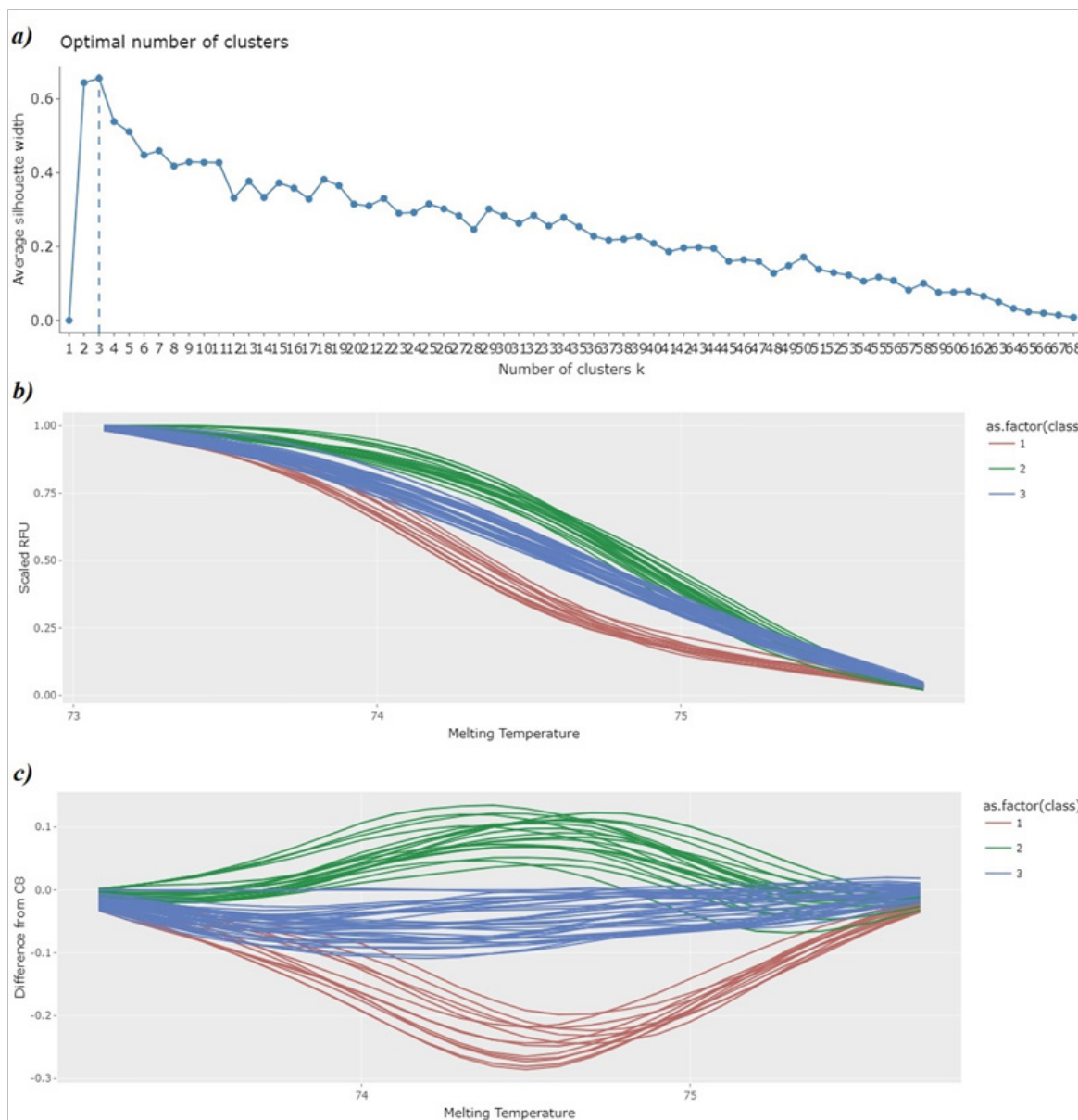


Рис. 1. Анализ кривых плавления для rs134055603:

a) оптимальное количество кластеров, определяемое по расстоянию между членами кластера и соседним кластером; б) исходные данные после кластеризации; в) визуализация нормализованных данных

Fig. 1. rs134055603 melt curve analysis:

a) optimal number of clusters identified by distance between cluster members and neighboring cluster; б) raw data after clusterizations; в) normalized data visualization

Таким образом, результаты анализа HRM подтверждают, что для rs137396952 в исследованной выборке животных гомозигот по аллелю С\* обнаружено не было.

Для rs137396952 обнаружено статистически значимое ( $p < 0,0001$ ) несоответствие равновесию Харди – Вайнберга, поскольку в исследованной выборке не обнаружено гомозигот по одной из аллелей.

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе работы рассмотрены основные технологии генотипирования организмов: ПЦР-методы, секвенирование, ДНК-чипы.

Достигнуты существенные экспериментальные и методологические успехи, которые позволяют изучать гораздо более распространенные геноварианты в больших выборках. Дизайн чипов высокой плотности, использование импутации генотипов и увеличение размеров референтных панелей для импутации позволяют проводить подробный полногеномный анализ полиморфизмов. Разработка инструментов для метаанализа данных упрощает агрегирование результатов GWAS и способствует увеличению размеров выборки генетических исследований. При использовании ДНК-чипов в GWAS-



исследованиях десятилетие назад был общепризнан порог статистической значимости  $p = 5 \times 10^{-8}$ , однако в современных исследованиях используют поправку Бонферрони на множественную проверку гипотез, чтобы избежать ошибки первого рода – ложноположительных ассоциаций [13].

В обзорной статье немецкого исследователя S. Qanbari показано, что неравновесное сцепление у крупного рогатого скота протягивается на промежуток чуть меньше 40 тысяч пар оснований, что немногим больше, чем у человека [14]. Сравнения уровней проводятся не только для межвидовых, но и для межпородных [15] и гибридных [16] особенностей неравновесного сцепления. Успех GWAS с использованием SNP в качестве генетических маркеров частично зависит от неравновесного сцепления конкретных маркеров в популяции. Неравновесное сцепление – это свойство SNP в геномной последовательности, которое обозначает их физическую или адаптивно выгодную при наследовании сцепленность [17].

GWAS позволяют выявить тысячи ассоциаций SNP с признаками по всему геному, связывая генетические вариации с сотнями, если не тысячами сложных заболеваний и признаков. Однако лишь

небольшая часть этих статистических ассоциаций была тщательно исследована, чтобы определить:

- какой вариант или варианты являются причинными (в том числе определение ложноположительных ассоциаций);
- каковы молекулярные функции причинных вариантов (в том числе нарушение кодирующей функции генов);
- какие гены затронуты причинными вариантами (аннотация полиморфизмов);
- как изменения в функции или регуляции причинных генов приводят к изменению риска заболевания [18].

Учитывая все отмеченные ограничения GWAS, крайне важно выполнить анализ GWAS downstream, цель которого состоит в том, чтобы использовать результат ассоциации для выполнения задач:

- возможность экстраполяции предыдущего результата на другие экспериментальные выборки;
- выявление новых значимых функциональных вариантов;
- идентификация новых генов восприимчивости к болезням, ассоциаций «генотип – фенотип» и сети путей передачи биологических сигналов;
- проведение оценки полигенного риска.

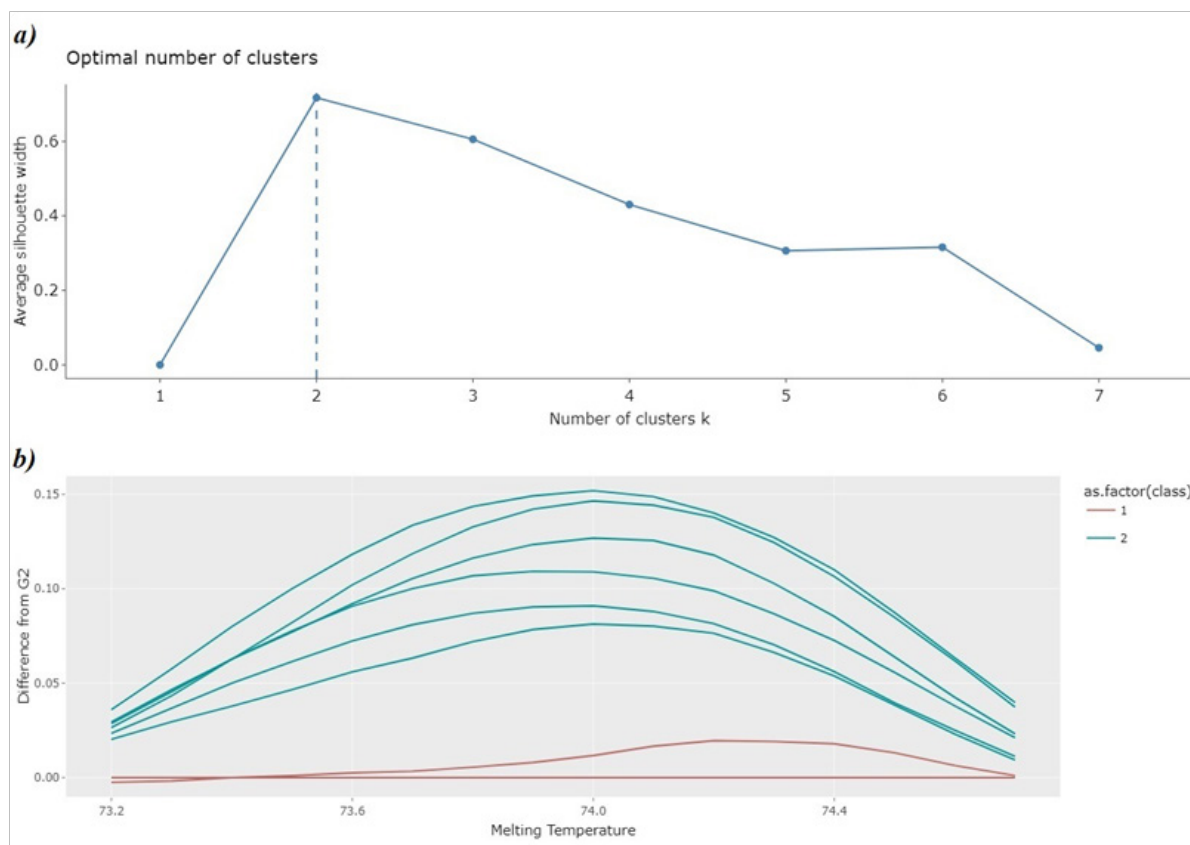


Рис. 2. Анализ кривых плавления для rs137396952:

a) оптимальное количество кластеров, определяемое по расстоянию между членами кластера и соседним кластером; b) визуализация нормализованных данных

Fig. 2. rs137396952 melt curve analysis:

a) optimal number of clusters identified by distance between cluster members and neighboring cluster; b) normalized data visualization

На сегодняшний день наиболее распространенные подходы к выполнению анализа GWAS downstream включают: проведение исследования по отдельным SNP, использование полиморфизма отдельных генов, изучение полиморфизма генов в рамках целых клеточных путей [19].

За последние несколько лет произошел резкий подъем в количестве исследований организации генома в ядре, и в настоящее время существует множество доказательств того, что хромосомы могут изгибаться и образовывать петли в масштабах тысяч и миллионов оснований и что эти петли играют важную роль в регуляции транскрипции. В то время как транскрипция гена запускается на промоторе, энхансеры и другие дистальные регуляторные элементы также влияют на транскрипцию гена, физически взаимодействуя со своими промоторами-мишенями, а часто и друг с другом посредством петлевых пересечений хроматина. Таким образом, физический контакт между дистальными регуляторными элементами и промоторами может рассматриваться как свидетельство регуляторной функции этих элементов. Сочетание методов фиксации конформации хромосом (3C) с высокопроизводительным секвенированием позволило исследовать все дальние контакты в геноме (Hi-C, подход «все против всех»), а также с превосходной глубиной и разрешением все дальние контакты, затрагивающие любую интересующую область, например, промотор гена (4C, подходы «один против всех») [20].

Хотя определение молекулярного механизма, с помощью которого генетический вариант, связанный с фенотипом, влияет на экспрессию гена, важно с точки зрения генетической регуляции, более практический вопрос заключается в том, как небольшие изменения в уровнях экспрессии гена влияют на фенотипы клеток и организма. Несмотря на то что во многих исследованиях сообщалось о генетических вариантах, которые изменяют цис-регуляторную функцию (изменяют участки некодирующей ДНК, которые регулируют транскрипцию соседних генов), механизмы, с помощью которых результирующие изменения в экспрессии генов влияют на риск развития заболевания, часто не исследованы или неизвестны. Некоторые исследования функционально связывают уровни экспрессии причинного гена с соответствующими заболеваниями фенотипами, но многие из этих исследований основываются на неточно контролируемой сверхэкспрессии, нокдауне или нокауте. Повторить различия в экспрессии генов, относящиеся к локусу риска заболевания, сложно по крайней мере по двум причинам: во-первых, сила эффекта eQTL (локусы количественных признаков экспрессии) с точки зрения кратности изменения экспрессии обычно неизвестна, не сообщается или мала; во-вторых, технически сложно количественно точно проконтролировать

сверхэкспрессию или нокдаун гена. Чтобы решить эту проблему, в некоторых исследованиях проводят поиск корреляции между уровнями экспрессии интересующего гена и фенотипами. То есть при обнаружении казуального аллеля заболевания проводят, например, нокдаун ассоциированного с вариантом гена. Таким образом, роль ассоциированного с фенотипом гена доказывается или опровергается. При подтверждении можно предполагать конкретный механизм воздействия аллеля на развитие фенотипа [18].

Основное ограничение рассмотренных выше подходов заключается в том, что они являются корреляционными. Таким образом, для определения фенотипических эффектов аллель-специфических изменений в экспрессии генов редактирование генома может быть лучшим подходом. Путем мутации причинного локуса с одного аллеля на другой результирующие изменения экспрессии генов и клеточных фенотипов:

- 1) с большей вероятностью будут физиологически значимыми, чем наблюдаемые в экспериментах со сверхэкспрессией или нокдауном;
- 2) могут быть напрямую функционально связаны с генетическим полиморфизмом.

Идентификация типов клеток, связанных с заболеванием, предполагает, что значимые SNP представлены в специфически активных патогенных типах клеток. Методы обогащения SNP объединяют результаты GWAS с различными геномными аннотациями и отдают приоритет типам клеток, в которых связанные варианты перекрывают аннотации чаще, чем ожидалось бы при случайном совпадении. Например, специфическая для типа клеток активность геномной области (например, локуса GWAS) может быть определена уровнями экспрессии генов в этой области. Существует подход, который определяет, насколько специфичны для определенного типа клеток те гены, которые имеют высокую экспрессию в отдельных типах клеток по сравнению со всеми другими клетками. Если для данного признака аллельные варианты SNP чрезмерно представлены (обогащены) для генов, специфически экспрессируемых в данном типе клеток, то этот тип клеток имеет приоритет для дальнейшего изучения [21].

Таким образом, мы предполагаем, что повышенное внимание к downstream функциональному анализу уже идентифицированных локусов GWAS, а не к поиску еще большего количества локусов GWAS, скорее всего, принесет больше пользы в понимании физиологических процессов. На данный момент мультиплексная ПЦР или аналоги, а также кастомные ДНК-чипы представляются наиболее оптимальными технологиями для анализа по результатам ранее проведенных GWAS-исследований.

В результате нашей работы отобраны два SNPs, для которых по данным предыдущих GWAS-исследований показана высокая степень ассоциации с развитием субклинического кетоза крупного рогатого скота молочного направления продуктивности. Для данных полиморфизмов разработаны кастомные ПЦР-системы для генотипирования животных. Использовано open-source программное обеспечение для анализа кривой плавления высокого разрешения с целью валидации результатов генотипирования по комплементарной ей технологии – TaqMan. Проведена оценка аллельных частот по каждому локусу на соответствие равновесию

Харди – Вайнберга. Показано соответствие равновесию для rs134055603, а для rs137396952 – несоответствие. Данные будут использованы в ассоциативных тестах с фенотипом «восприимчивость к кетозу» у крупного рогатого скота молочного направления при помощи веб-инструмента SNPStats.

#### Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 22-16-00021 «Изучение ассоциаций молекулярно-генетических маркеров с ценными физиологическими признаками сельскохозяйственных животных с целью направленной селекции для повышения адаптационного потенциала и долголетия».

#### Библиографический список (References)

1. Uffelmann E., Huang Q. Q., Munung N. S., de Vries J., Okada Y., Martin A. R., Martin H. C., Lappalainen T., Posthuma D. Genome-wide association studies // *Nature Reviews Methods Primers*. 2021. Vol. 1. No. 1. Article number 59. DOI: 10.1038/s43586-021-00056-9.
2. Oetting W. S., Jacobson P. A., Israni A. K. Validation Is Critical for Genome-Wide Association Study-Based Associations // *American Journal of Transplantation*. 2017. Vol. 17. No. 2. Pp. 318–319. DOI: 10.1111/ajt.14051.
3. Goodwin S., McPherson J. D., McCombie W. R. Coming of age: ten years of next-generation sequencing technologies // *Nature Reviews Genetics*. 2016. Vol. 17. No. 6. Pp. 333–351. DOI: 10.1038/nrg.2016.49.
4. Kovalchuk S. N., Arkhipova A. L. Development of TaqMan PCR assay for genotyping SNP rs211250281 of the bovine *agpat6* gene // *Animal Biotechnology*. 2022. DOI: 10.1080/10495398.2022.2077742.
5. Heather J. M., Chain B. The sequence of sequencers: The history of sequencing DNA // *Genomics*. 2016. Vol. 107. No. 1. DOI: 10.1016/j.ygeno.2015.11.003.
6. Jiang J., Ma L., Prakapenka D., VanRaden P. M., Cole J. B., Da Y. A Large-Scale Genome-Wide Association Study in U.S. Holstein Cattle // *Frontiers in Genetics*. 2019. Vol. 10. Article number 412. DOI: 10.3389/fgene.2019.00412.
7. Liu Y., Jiao Y., Li P., Zan L. MALDI-TOF-MS-based high throughput genotyping of mutations associated with body measurement traits in cattle // *Mammalian Genome*. 2020. Vol. 31. No. 7-8. Pp. 228–239. DOI: 10.1007/s00335-020-09840-6.
8. Nayeri S., Schenkel F., Fleming A., Kroezen V., Sargolzaei M., Baes C., Canovas A., Squires J., Miglior F. Genome-wide association analysis for beta-hydroxybutyrate concentration in Milk in Holstein dairy cattle // *BMC Genetics*. 2019. Vol. 20. No. 1. Article number 58. DOI: 10.1186/s12863-019-0761-9.
9. Kalendar R., Khassenov B., Ramankulov Y., Samuilova O., Ivanov K. I. FastPCR: An in silico tool for fast primer and probe design and advanced sequence analysis // *Genomics*. 2017. Vol. 109. No. 3-4. Pp. 312–319. DOI: 10.1016/j.ygeno.2017.05.005.
10. Kalendar R., Lee D., Schulman A. H. Java web tools for PCR, in silico PCR, and oligonucleotide assembly and analysis // *Genomics*. 2011. Vol. 98. No. 2. Pp. 137–144. DOI: 10.1016/j.ygeno.2011.04.009.
11. Pavlo H. pavlohrab/hrmR: Pre-release version (v0.1-alpha) // *Zenodo*. 2021. DOI: 10.5281/zenodo.4491296.
12. Sole X., Guino E., Valls J., Iniesta R., Moreno V. SNPStats: a web tool for the analysis of association studies // *Bioinformatics*. 2006. Vol. 22. No. 15. Pp. 1928–1929. DOI: 10.1093/bioinformatics/btl268.
13. Chen Z., Boehnke M., Wen X., Mukherjee B. Revisiting the genome-wide significance threshold for common variant GWAS // *G3 (Bethesda)*. 2021. Vol. 11. No. 2. Article number jkaa056. DOI: 10.1093/g3journal/jkaa056.
14. Qanbari S. On the Extent of Linkage Disequilibrium in the Genome of Farm Animals // *Frontiers in Genetics*. 2019. Vol. 10. Article number 1304. DOI: 10.3389/fgene.2019.01304.
15. Fabbri M. C., Dadousis C., Bozzi R. Estimation of Linkage Disequilibrium and Effective Population Size in Three Italian Autochthonous Beef Breeds // *Animals (Basel)*. 2020. Vol. 10. No. 6. Article number 1034. DOI: 10.3390/ani10061034.
16. Singh A., Kumar A., Mehrotra A., Pandey A. K., Mishra B. P., Dutt T. Estimation of linkage disequilibrium levels and allele frequency distribution in crossbred Vrindavani cattle using 50K SNP data // *PLoS One*. 2021. Vol. 16. No. 11. Article number e0259572. DOI: 10.1371/journal.pone.0259572.
17. Joiret M., Mahachie John J. M., Gusareva E. S., Van Steen K. Confounding of linkage disequilibrium patterns in large scale DNA based gene-gene interaction studies // *BioData Mining*. 2019. Vol. 12. Article number 11. DOI: 10.1186/s13040-019-0199-7.

18. Gallagher M. D., Chen-Plotkin A. S. The Post-GWAS Era: From Association to Function // American Journal of Human Genetics. 2018. Vol. 102. No. 5. Pp. 717–730. DOI: 10.1016/j.ajhg.2018.04.002.
19. Adam Y., Samtal C., Brandenburg J. T., Falola O., Adebisi E. Performing post-genome-wide association study analysis: overview, challenges and recommendations // F1000Research. 2021. Vol. 10. Article number 1002. DOI: 10.12688/f1000research.53962.1.
20. Kempfer R., Pombo A. Methods for mapping 3D chromosome architecture // Nature Reviews Genetics. 2020. Vol. 21. No. 4. Pp. 207–226. DOI: 10.1038/s41576-019-0195-2.
21. Cano-Gamez E., Trynka G. From GWAS to Function: Using Functional Genomics to Identify the Mechanisms Underlying Complex Diseases // Frontiers in Genetics. 2020. Vol. 11. Article number 424. DOI: 10.3389/fgene.2020.00424.

**Об авторах:**

Максим Владимирович Бытов<sup>1</sup>, младший научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных, ORCID 0000-0002-3622-3770, AuthorID 1121043; +7 904 380-41-51, [bytovmaks@mail.ru](mailto:bytovmaks@mail.ru)

Ольга Васильевна Соколова<sup>1</sup>, доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных, ORCID 0000-0002-1169-4090, AuthorID 648613; +7 908 920-84-36, [nauka\\_sokolova@mail.ru](mailto:nauka_sokolova@mail.ru)

Наталья Александровна Безбородова<sup>1</sup>, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных, ORCID 0000-0003-2793-5001, AuthorID 665979; +7 904 981-72-14, [n-bezborodova@mail.ru](mailto:n-bezborodova@mail.ru)

Александр Сергеевич Красноперов<sup>1</sup>, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник отдела экологии и незаразной патологии животных, ORCID 0000-0002-7838-4126, AuthorID 655970; +7 903 083-31-32, [marafon.86@list.ru](mailto:marafon.86@list.ru)

Альбина Геннадьевна Исаева<sup>1</sup>, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биологических технологий отдела ветеринарно-лабораторной диагностики с испытательной лабораторией, ORCID 0000-0001-8395-1247, AuthorID 665717; +7 902 872-89-10, [isaeva.05@bk.ru](mailto:isaeva.05@bk.ru)

<sup>1</sup> Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

## Cattle genotyping methods for post-GWAS annotation of SNPs

M. V. Bytov<sup>1</sup>, O. V. Sokolova<sup>1</sup>, N. A. Bezborodova<sup>1</sup>, A. S. Krasnoperov<sup>1</sup>, A. G. Isaeva<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: [isaeva.05@bk.ru](mailto:isaeva.05@bk.ru)

**Abstract.** Genome-wide association analysis is one of the key tools for elucidating the genetic etiology of various phenotypes, including diseases and the degree of predisposition to them. Subsequently, for statistically significant genetic markers, it is necessary to conduct validation studies on independent cohorts. These post-GWAS validation studies test genetic markers that are strongly associated with the phenotype, regardless of sample size, allowing to identify false-positive results from the initial association analysis. When choosing a genotyping technique for post-GWAS validation studies, consideration should be given to the sample size and the number of genetic markers planned to be studied, since genotyping techniques differ in throughput and cost. **The aim** of this paper is to describe modern methods of genotyping depending on their performance and to carry out genotyping of cattle for the SNPs rs137396952 and rs134055603, for which a high degree of association with the development of ketosis was shown in previous GWAS studies. Utilized genotyping **methods** include TaqMan and High-Resolution Melt Analysis; genotype analysis was performed using the SNPStats web tool. When comparing the **results** of genotyping using these technologies, the specificity of allelic discrimination carried out using these methods was demonstrated. Testing of the genotyping results had shown that rs134055603 does not obey the Hardy-Weinberg equilibrium in the studied cohort of animals. **Scientific novelty.** Obtained genotyping results will be used in further association tests with physiologically valuable parameters of dairy cattle, including resistance to diseases.

**Keywords:** GWAS, cattle, genotyping, SNP, DNA, PCR, electrophoresis.

**For citation:** Bytov M. V., Sokolova O. V., Bezborodova N. A., Krasnoperov A. S., Isaeva A. G. Metody genotipirovaniya krupnogo rogatogo skota dlya post-GWAS annotirovaniya SNPs [Cattle genotyping methods for post-GWAS annotation of SNPs] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 06 (235). Pp. 67–75. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-67-75. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 14.03.2023, **date of review:** 10.04.2023, **date of acceptance:** 20.04.2023.

**Authors' information:**

Maksim V. Bytov<sup>1</sup>, junior researcher of the department of animal genomics and selection, ORCID 0000-0002-3622-3770, AuthorID 1121043; +7 904 380-41-51, [bytovmaks@mail.ru](mailto:bytovmaks@mail.ru)

Olga V. Sokolova<sup>1</sup>, doctor of veterinary sciences, leading researcher of the department of animal genomics and selection, ORCID 0000-0002-1169-4090, AuthorID 648613; +7 908 920-84-36, [nauka\\_sokolova@mail.ru](mailto:nauka_sokolova@mail.ru)

Natalya A. Bezborodova<sup>1</sup>, candidate of veterinary sciences, senior researcher of the department of animal genomics and selection, ORCID 0000-0003-2793-5001, AuthorID 665979; +7 904 981-72-14, [n-bezborodova@mail.ru](mailto:n-bezborodova@mail.ru)

Aleksandr S. Krasnoperov<sup>1</sup>, candidate of veterinary sciences, senior researcher of the department of ecology and animals' noncontagious pathology, ORCID 0000-0002-7838-4126, AuthorID 655970; +7 903 083-31-32, [marafon.86@list.ru](mailto:marafon.86@list.ru)

Albina G. Isaeva<sup>1</sup>, doctor of biological sciences, leading researcher of the laboratory of biological technologies of the department of veterinary laboratory diagnostics with a testing laboratory, ORCID 0000-0001-8395-1247, AuthorID 665717; +7 902 872-89-10, [isaeva.05@bk.ru](mailto:isaeva.05@bk.ru)

<sup>1</sup> Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

## Исследование свойств биоразлагаемых альгинатных пленок с активным компонентом

О. В. Зинина<sup>1✉</sup>, Е. А. Вишнякова<sup>1</sup>, О. П. Неверова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия

<sup>2</sup> Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: zininaov@susu.ru

**Аннотация.** С учетом неблагоприятной экологической обстановки, связанной с накоплением больших объемов перерабатываемых отходов, актуальны разработки биоразлагаемых материалов на основе природных полимеров. Кроме того, наиболее перспективны биоразлагаемые пленки с активными свойствами, позволяющими увеличивать сроки хранения продуктов питания. **Научная новизна** работы заключается в добавлении в основу матрицы пленки из альгината в качестве активного компонента белкового гидролизата в разных концентрациях. **Целью исследований** является установление свойств биоразлагаемых пленок на основе альгината с введением в состав в качестве активного компонента гидролизата сывороточного белка. **Методы исследований.** В опытных образцах пленок определяли внешний вид и прозрачность визуальным, толщину, микроструктуру, антиоксидантную способность методом кулонометрического титрования, растворимость и биоразлагаемость в почве. **Результаты.** Установлено, что при различном добавлении белкового гидролизата (БГ) в состав композиции пленки значительно изменяются ее внешний вид, прозрачность и микроструктура. Оптимальным образцом по данным показателям оказалась пленка с добавлением 1 % БГ – прозрачная, однородная, нелипкая. По толщине пленки значительно не отличались и составили от 0,23 до 0,29 мм. Антиоксидантная способность пленок увеличивалась с повышением содержания БГ, растворимость при этом, наоборот, снижалась. Наиболее растворимым оказался контрольный образец пленки. Также установлено, что все образцы пленок биоразлагаемы, наиболее быстро превратился в биогурус контрольный образец и образец с добавлением 1 % БГ. Таким образом, использование белкового гидролизата в качестве активного компонента в составе композиции пленки показало эффективность с точки зрения антиоксидантных свойств. Кроме того, БГ оказал влияние и на другие важные свойства пленок.

**Ключевые слова:** структурообразователь, пленочное покрытие, гидролизат белка, биоразлагаемость, растворимость.

**Для цитирования:** Зинина О. В., Вишнякова Е. А., Неверова О. П. Исследование свойств биоразлагаемых альгинатных пленок с активным компонентом // Аграрный вестник Урала. 2023. № 06 (235). С. 76–86. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-76-86.

**Дата поступления статьи:** 31.03.2023, **дата рецензирования:** 09.04.2023, **дата принятия:** 12.04.2023.

### Постановка проблемы (Introduction)

Биоразлагаемые пленочные покрытия в последнее время привлекают внимание ученых всего мира. Проблема утилизации полимеров, используемых в основе упаковочных материалов, принимает все более широкие масштабы в связи с губительным воздействием на объекты окружающей среды. Большинство традиционных упаковочных материалов не подлежат вторичной переработке и не являются экологически чистыми. Природные биополимеры в виде белков и полисахаридов являются альтернативными структурообразователями при изготовлении пленочных покрытий. Биополимерная упаковка – это экологически чистая система, которая предотвращает порчу пищевых продуктов

и повышает их качество за счет защиты от газов и влаги [1; 2].

На основе комбинации белков, полисахаридов и/или липидов можно получать композитные пленки и покрытия. Выделяют две категории композитов: многослойные композиты и конгломераты. Многослойные композиты состоят из двух или более слоев в следующих сочетаниях: белок и белок, полисахарид и белок, липид и липид, липид и полисахариды и др. [3]. Структура этих многослойных пленок оптимизирует характеристики конечной пленки или покрытия с заметным улучшением барьерных свойств. Основным недостатком двухслойных пленок и покрытий является трудоемкость процесса изготовления, который включает несколько стадий:

две стадии погружения и две стадии сушки. Кроме того, во время хранения многослойные пленки подвержены образованию трещин и имеют неоднородную структуру. Конгломераты получают смешиванием двух или более биополимеров с получением одного гомогенного слоя. Такая пленка обладает уникальными свойствами, сочетающимися в себе основные свойства каждого компонента [4].

Пленки на основе таких биополимеров, как белки и полисахариды, имеют хорошие механические свойства, но проницаемы для воды из-за их гидрофильных свойств. Наиболее часто для получения пищевых пленок в качестве структурообразователя используют полисахариды морских водорослей – альгинат, агар и каррагинан. Гелеобразующая способность, эмульгирование, пенообразование различных полисахаридов морских водорослей основаны на их уникальной структуре [5]. Указанные гидроколлоиды обладают разной растворимостью в воде и добавляются в биокомпозиции в качестве гелеобразующего агента и загустителя. Также они обладают свойствами эмульгаторов, на что указывает их стабилизирующее воздействие на эмульсии [6].

Благодаря своей химической структуре альгинат обладает уникальными коллоидными свойствами, что способствует стабилизации и утолщению пищевых пленок или покрытий. Также отмечена хорошая пленкообразующая способность с высокой прозрачностью и однородностью, а при взаимодействии с ионами металлов образуются нерастворимые в воде полимеры. Кроме того, альгинат непроницаем для жиров и масел. Однако непосредственно чистый альгинат не может быть использован при изготовлении пленочных материалов из-за слабых механических свойств получаемых изделий. Отмечено, что механические свойства альгинатных пленок могут быть значительно улучшены путем сшивания пленки с  $Ca^{2+}$  и с другими ионами металлов [7] в связи с тем, что альгинат натрия содержит большое количество гидроксильных и карбоксильных групп, что обеспечивает превосходную способность адсорбировать ионы металлов.

В пищевой промышленности альгинат натрия используют в качестве эмульгатора, стабилизатора, загустителя и желеобразующего агента. В списке разрешенных пищевых добавок – альгиновая кислота и ее соли (E400–E404).

Помимо биоразлагаемости, в последние годы внимание ученых сосредоточено на придании упаковочным материалам активных свойств, способствующих увеличению сроков хранения продуктов питания. Для улучшения барьерных характеристик, термических, механических, антиоксидантных и противомикробных свойств продукты переработки морских водорослей сочетают с экстрактами растений, эфирными маслами [8]. Также в качестве активных компонентов используют ионы металлов,

антиоксиданты, бактериоцины, прополис, белковые гидролизаты [9–11]. Натуральные антиоксидантные/противомикробные соединения высоко ценятся потребителями, поскольку они воспринимаются как более безопасные.

Белковые гидролизаты все более широко используются в разных отраслях промышленности, в том числе в изготовлении биоактивных пленочных покрытий. Образующиеся в процессе гидролиза активные пептиды обладают широким спектром свойств, важных для формирования как механических характеристик пленок, так и барьерных свойств относительно окислительных и микробиологических процессов в пищевых продуктах [12–14].

Для предотвращения порчи пищевых продуктов наиболее важными для биоразлагаемых пленок активными компонентами являются биоактивные пептиды с антиоксидантными и антимикробными свойствами. Они, разрывая цепь свободнорадикальных реакций, могут замедлить скорость процессов ферментативного и неферментативного окисления в пищевом сырье и продуктах питания. Биоактивные пептиды и белковые гидролизаты обладают большим потенциалом в качестве антиоксидантных добавок, так как они могут действовать несколькими способами: восстановление гидропероксидов, удаление свободных радикалов, прооксидантное хелатирование металлов и изменение физических свойств продукции. Также благодаря поверхностно-активным свойствам пептиды и белковые гидролизаты могут располагаться на границе раздела фаз масло – вода в пищевых эмульсиях и, таким образом, создавать физический барьер, снижая контакт липидов с окислителями, что способствует снижению перекисного окисления липидов в таких пищевых системах. Другим важным свойством биоактивных пептидов является антимикробная активность. Механизм действия антимикробных пептидов в основном основан на электростатическом взаимодействии их с клеточной мембраной микроорганизмов. Они могут проникать в мембрану, вызывая ее разрушение [15].

Активные пленки с добавлением биоактивных пептидов можно получить тремя способами:

- 1) введение пептида в полимерную матрицу;
- 2) пептидное покрытие на полимерной поверхности;
- 3) иммобилизация пептидов в полимере.

Наиболее широко применим первый способ. При смешивании составных компонентов биокомпозита антимикробные пептиды должны быть совместимы с используемыми растворителями и структурообразующими полимерами. Биополимеры на основе белков и углеводов являются хорошим вариантом получения покрытия, так как они растворимы в воде, этаноле и других растворителях,

совместимы с биоактивными пептидами. Преимуществом этого метода является сохранение активности пептида, так как при производстве пленки не используются высокие температуры.

В связи с тем, что микробное обсеменение пищевых продуктов в основном происходит на поверхности, применение покрытий, содержащих антимикробные пептиды, может быть более эффективным, чем добавление их непосредственно в продукт. Пептиды непрерывно высвобождаются из покрытия на поверхность изделия, тем самым помогая поддерживать эффективные концентрации. Кроме того, использование пептидов в качестве активных ингредиентов пленочных покрытий требует меньших количеств этих веществ по сравнению с непосредственным добавлением ко всему объему продукта [16].

Белковые гидролизаты с биоактивными свойствами получают из разных видов белоксодержащего сырья, в том числе из агропромышленных отходов и побочных продуктов. При переработке сельскохозяйственного сырья образуются большие объемы отходов, содержащих белки, которые могут быть преобразованы методами биотехнологии в белковые гидролизаты и активные пептиды. Биоактивные пептиды могут выделяться из пищевых белков при гидролизе пищеварительными ферментами в пищеварительной системе человека, в процессе брожения за счет протеолитической активности микроорганизмов и в результате ферментативного гидролиза *in vitro*. Для получения биопептидов со специфической активностью для протеолиза используют протеазы с широкой специфичностью действия. Однако выделение чистых пептидов – сложный и дорогостоящий процесс, в связи с чем более актуальным является использование как ак-

тивного компонента белковых гидролизатов с подтвержденной антимикробной и антиоксидантной активностью.

Таким образом, валоризация агропромышленных отходов и побочного сырья в продукты с добавленной стоимостью, используемых для разработки биоразлагаемых активных упаковочных материалов, представляет собой перспективную практику уменьшения экологических проблем с одновременным стимулированием экономики замкнутого цикла и рациональным использованием вторичных сырьевых ресурсов [17]. Важным экологическим аспектом является также то, что для получения некоторых природных полимеров перерабатываются экологически вредные отходы или побочные продукты пищевой промышленности.

Целью исследований является установление свойств биоразлагаемых пленок на основе альгината с введением в состав в качестве активного компонента гидролизата сывороточного белка.

**Методология и методы исследования (Methods)**

Объектами исследования являются пленки с добавлением разных количеств белкового гидролизата (0,5; 1 и 1,5 %) и контрольный образец пленки без добавления белкового гидролизата. В качестве структурообразователя использовали альгинат натрия (ООО «Ингредико», Россия), пластификатор – глицерин (ООО «Йодные технологии и маркетинг», Россия).

Глицерин является одним из пластификаторов, которые можно добавлять в пищевые пленки на основе альгината для улучшения прочности, растворимости и эластичности.

Пленки изготавливали методом отливки по технологии, представленной на рис. 1.



Рис. 1. Технология получения альгинатных пленок

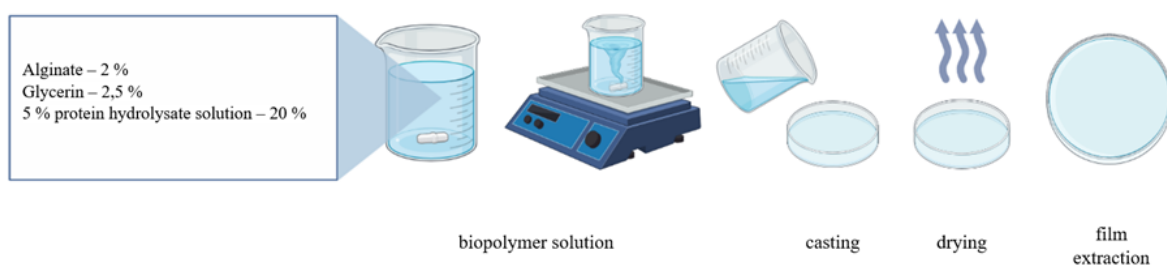


Fig. 1. Technology for obtaining alginate films



У готовых пленок визуально оценивали внешний вид и прозрачность, измеряли толщину, под микроскопом «Микромед» при увеличении  $\times 400$  изучали микроструктуру.

При оценке биоразлагаемости пленок, полученных из природных полимеров, важно определить время деградации материала при воздействии микроорганизмов и ферментов, присутствующих в окружающей среде. Пленка считается биоразлагаемой, когда 90 % материала деградирует под действием биологического действия в срок до 6 месяцев [18]. Оценку биоразлагаемости проводили согласно DIN 54900-2 «Проверка на полную биологическую разложимость полимеров в лабораторном опыте» и DIN 54900-3 «Испытания в практических условиях». Тест проводили в биокомпосте следующим образом: образцы пленок размером  $5 \times 5$  см смешивали с биокомпостом и помещали в мешки. Содержимое мешков анализировали каждую неделю, просеивая содержимое через сито и проверяя оставшиеся части биоматериала. Остатки неразложившихся пленок изучали под микроскопом.

Испытание пленок на растворимость в воде проводили по модифицированному методу Фархана и Хани [19]. Образцы пленок были мелко нарезаны до размера  $2 \times 2$  см и высушены при  $105^\circ\text{C}$  в течение 6 ч перед взвешиванием ( $m_1$ ). Затем каждый образец помещали в колбу на  $100\text{ см}^3$  и добавляли 10 мл дистиллированной воды. Образцы в воде выдерживали в течение 6 ч при комнатной температуре ( $25^\circ\text{C}$ ) и с периодическим перемешиванием с помощью магнитной мешалки при 240 об/мин. Затем содержимое колбы фильтровали, фильтр с нерастворимыми остатками пленки сушили в сушильном шкафу при  $105^\circ\text{C}$  до постоянной массы.

Затем фильтр взвешивали для определения нерастворимого в воде сухого вещества ( $m_2$ ). Растворимость (%) рассчитывали по уравнению (1):

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100. \quad (1)$$

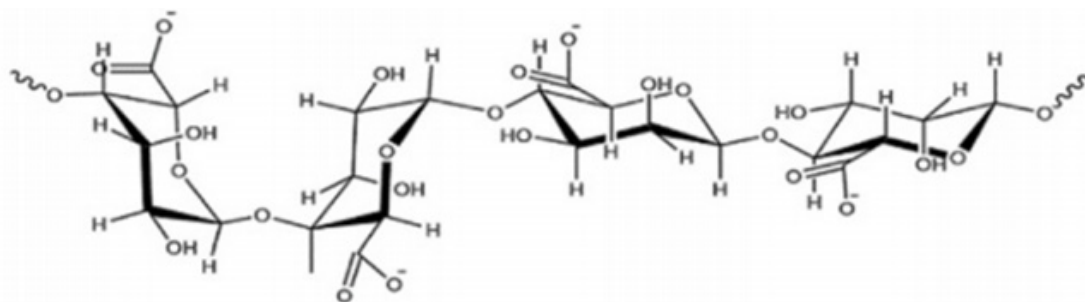


Рис. 2. Химическая структура альгината  
Fig. 2. Chemical structure of alginate

Антиоксидантную способность (АОС) пленок определяли методом кулонометрического титрования на приборе «Эксперт-006» (НПК ООО «Эко-никс-Эксперт», Россия). Перед проведением анализа готовили 1-процентную спиртовую вытяжку из измельченных пленок в течение 24 ч. Для анализа использовали аликвоты по 1 мл. Эталонном при измерениях являлся 0,1-процентный раствор аскорбиновой кислоты. Результаты АОС выражали в мг аскорбиновой кислоты на 1 г пленки.

Результаты исследований пленок сравнивали с требованиями ГОСТ Р 57432-2017 «Упаковка. Пленки из биоразлагаемого материала. Общие технические условия».

### Результаты (Results)

При составлении композиции для получения пленки каждый из компонентов, как и их совокупность, играют важную роль в формировании основополагающих свойств материала.

Свойства альгината зависят от соотношения маннуровой кислоты (М) и гулурановой кислоты (Г) (рис. 2). Когда в структуре альгината большее количество гулурановой кислоты, наблюдается высокая способность к образованию прочных связей. Если уровни гулурановой кислоты низкие, формируется более мягкая и гибкая структура [5].

Источник альгината влияет на соотношение остатков М и Г, что оказывает воздействие на физические и химических свойств альгината, а также на вязкость раствора и толщину пленки.

Внешний вид альгинатных пленок с разным уровнем введения БГ и без его введения, их микроструктура представлены на рис. 3. Пленки с добавлением 1 и 1,5 % БГ оказались прозрачными, нелипкими, без запаха. Менее прозрачная, мягкая и липкая – пленка с добавлением 0,5 % БГ и без добавления БГ, которая оказалась и самой ломкой.

При изучении микроструктуры визуализировались включения в пленках с 0,5 и 1,5 % БГ, у образца с 1 % БГ структура оказалась более однородной. У контрольного образца микроструктура с большими просветами, чем, видимо, вызваны ее высокая растворимость и ломкость (таблица 1).

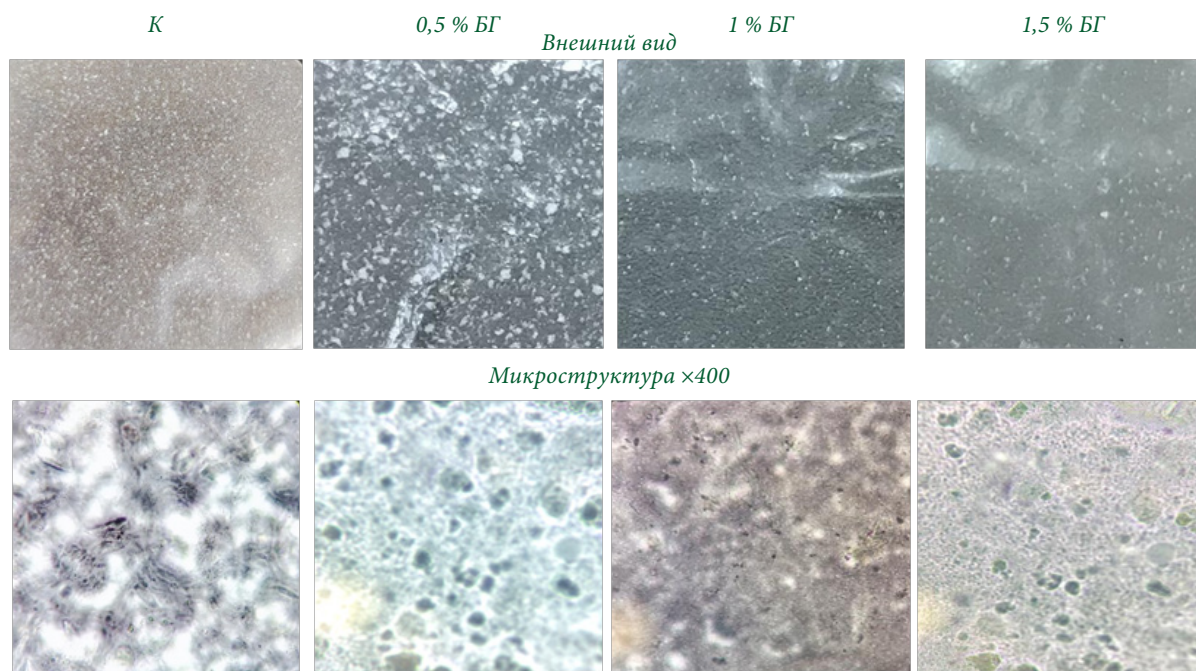


Рис. 3. Структура альгинатных пленок

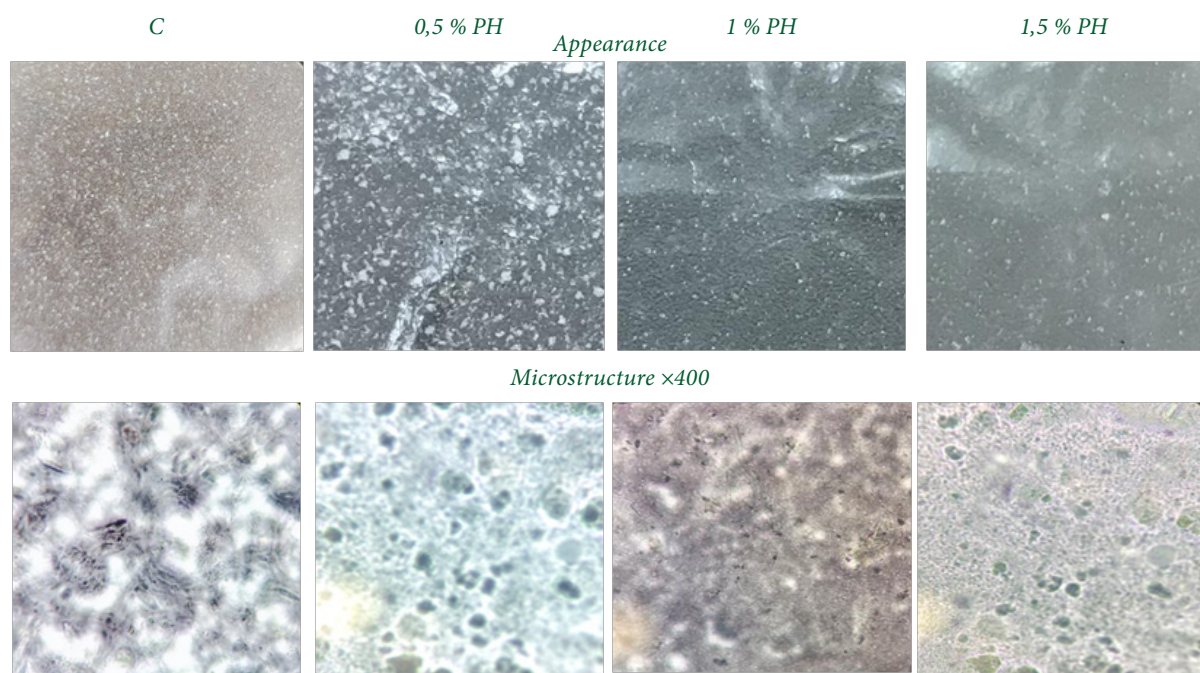


Fig. 3. Structure of alginate films

Таблица 1  
Результаты исследований  
альгинатных пленок

Показатель	Образец пленки			
	Контроль	0,5 % БГ	1 % БГ	1,5 % БГ
Толщина, мм	0,23	0,23	0,24	0,29
Растворимость, %	68,4	58,2	41,7	34,6
Антиоксидантная способность, мг-экв. аскорбиновой кислоты / г	2,814	3,268	3,623	3,901

Table 1  
Results of studies  
of alginate films

Indicator	Sample of the film			
	Control	0,5% PH	1% PH	1,5% PH
Thickness, mm	0,23	0,23	0,24	0,29
Solubility, %	68,4	58,2	41,7	34,6
Antioxidant capacity, mg-eq. ascorbic acid / g	2,814	3,268	3,623	3,901

В таблице 1 приведены толщина и растворимость пленок. Как показывают результаты, при увеличении содержания БГ снижается водорастворимость пленок. Согласно ГОСТ Р 57432-2017 «Упаковка. Пленки из биоразлагаемого материала. Общие технические условия», максимальная толщина пленки составляет 0,5 мм, следовательно, все исследуемые образцы соответствуют данному требованию.

Растворимость является важным показателем для пленок, и в зависимости от их назначения отдается предпочтение композиционным материалам с наименьшей или наибольшей растворимостью. Например, для съедобных пищевых пленок важна высокая растворимость, а для пищевых покрытий, предназначенных для продуктов с высокой влажностью, пленки не должны обладать высокой растворимостью и гигроскопичностью [20]. Хорошо растворимые пленки не подходят для применения в качестве первичной упаковки пищевых продуктов с высокой активностью воды. Однако их можно использовать в виде растворимых пакетиков для приготовления отдельных порций пищи, в качестве активной упаковки для высвобождения антиоксидантных и противомикробных соединений.

Результаты таблицы 1 показывают, что белковый гидролизат значительно влияет на растворимость пленки, с увеличением его содержания пленка становится менее растворимой, хотя сам по себе гидролизат обладает высокой растворимостью (более 90 %).

Альгинат представляет собой линейный полисахарид с умеренным разветвлением, благодаря чему он способен формировать пленки с высокой прочностью при реакции с катионами поливалентных металлов (кальций, магний, марганец, алюминий, железо и др.), которые могут присутствовать в гидролизате белка. Получаемый конгломерат придает пленке более высокую устойчивость к воде [21].

Антиоксидантная способность (АОС) пленок оказалась на высоком уровне для всех трех опытных образцов, с увеличением содержания БГ в составе пленки АОС увеличивается. Однако, не только БГ оказал влияние на высокие значения АОС, сама основа в виде альгината натрия также повлияла на данный показатель. В литературе отмечено, что полисахариды на основе морских водорослей в своем составе могут содержать антиоксиданты [5].

Применение различных комбинаций биополимеров может устранить недостатки однокомпонентных пленок и достичь требуемых барьерных и физико-механических характеристик. Свойства пищевых пленок и покрытий можно изменять по гидрофобно-гидрофильным характеристикам некоторых биополимеров. Гидрофобные молекулы положительно влияют на барьерные свойства для влаги, и, наоборот, гидрофильные молекулы спо-

собствуют получению материалов с повышенными прочностными характеристиками и низкой газопроницаемостью [22].

Альгинаты образуют прозрачные однородные водорастворимые пленки с высокой устойчивостью к жирам и низкой проницаемостью для кислорода. В ряде исследований альгинаты используются как основной компонент биопленок. Например, получены пленки из альгината натрия с глицерином, сшитые хлоридом кальция и лимонной кислотой; из альгината натрия, сшитого с хлоридом кальция; из альгината натрия, пластифицированного глицерином [21; 22].

Тест на биоразлагаемость в почве (рис. 4) показал, что все образцы пленок обладают хорошей биодеградацией, однако прочные связи альгината с частицами белкового гидролизата повышали продолжительность разложения образцов пленок с БГ. Через неделю образцы пленок скомковались и начали покрываться плесенью. Через 2 недели контрольный образец пленки и образец с 1 % БГ превратились в биогумус, образец с 0,5 % БГ стал мягче, но разложился не до конца. Наиболее стойким оказался образец пленки с добавлением 1,5 % БГ: он разложился до биогумуса лишь через 3 недели.

Природные полимеры, являясь питательной средой для почвенных микроорганизмов, подвержены разложению под действием комплекса таких биохимических факторов, как влага, отсутствие кислорода, температура.

Результаты эксперимента показали, что пленочные материалы на основе альгината биоразлагаемы. Уже через 2 недели образовался биогумус из более однородных и пористых образцов пленок, так как при этих условиях реакция разложения происходит быстрее. Грибница плесени, которая образовалась на образцах, для своего роста использует тонкие трещины и поры, при разрастании мицелия происходит механическое разрушение материала. Кроме того, грибы в процессе метаболизма образуют органические кислоты, которые для пленок являются агрессивной средой (рис. 5). Полученные нами данные согласуются с результатами других авторов, которые также установили период разложения альгинатных пленок в земле и песке около 15 дней [23].

Полученные результаты согласуются с более высокой устойчивостью пленок с добавлением белкового гидролизата. Высокая сшивающая способность альгинатных пленок с катионами способствовала большей устойчивости к факторам биодеградации, имеющимся в почве. В любом случае при несколько большей степени биоразлагаемости пленок с белковым гидролизатом все образцы обладают достаточно быстрой биоразлагаемостью и могут рассматриваться как альтернатива синтетическим полимерным материалам.

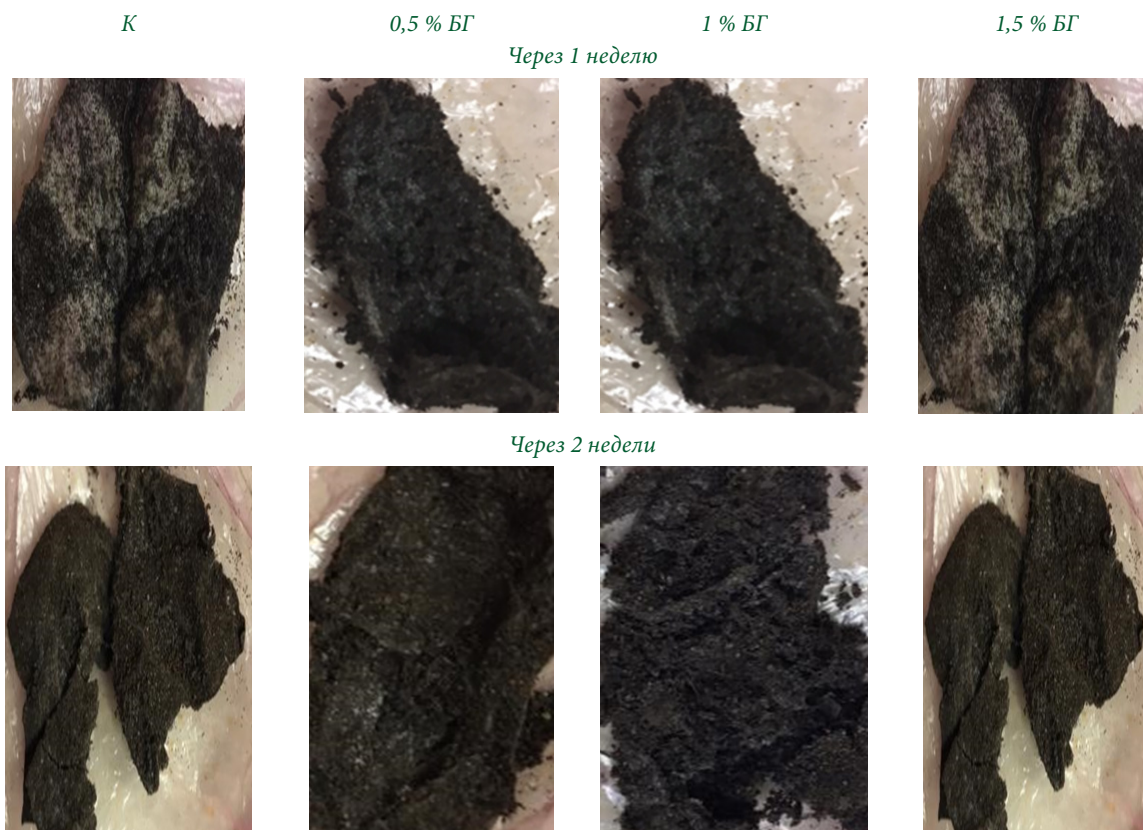


Рис. 4. Биоразлагаемость альгинатных пленок

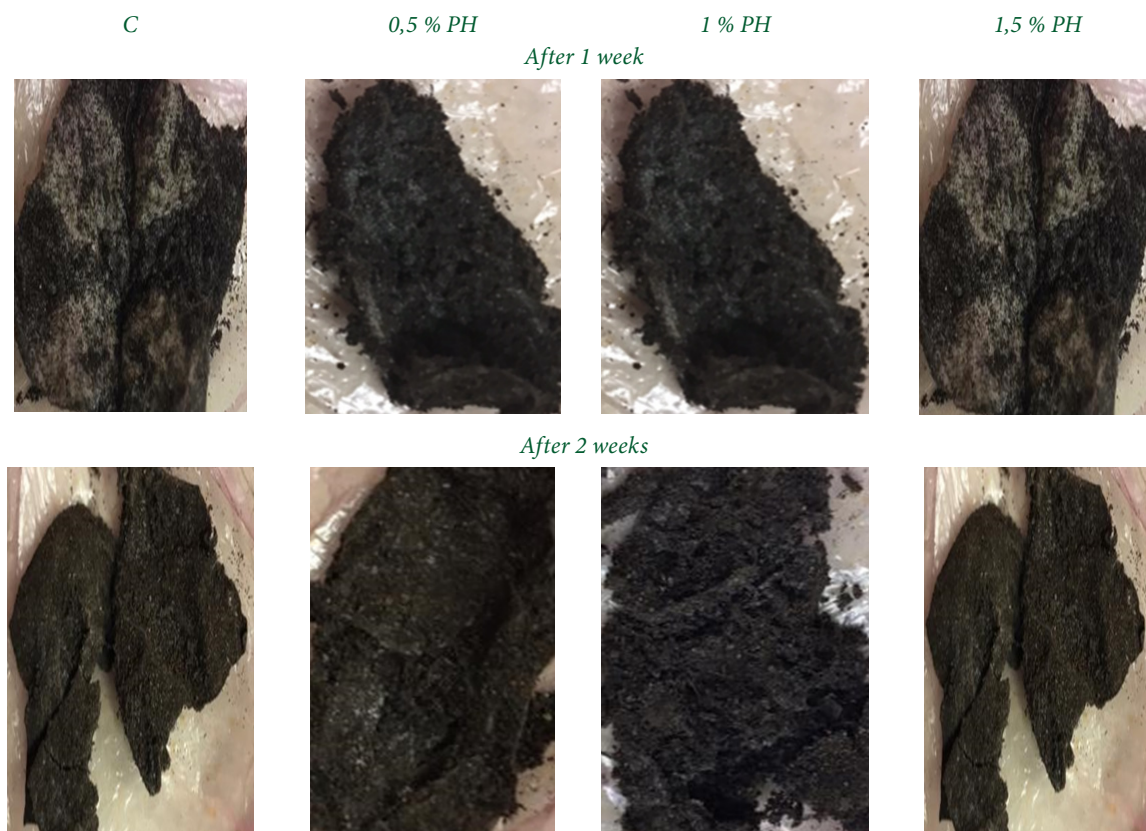


Fig. 4. Biodegradability of alginate films

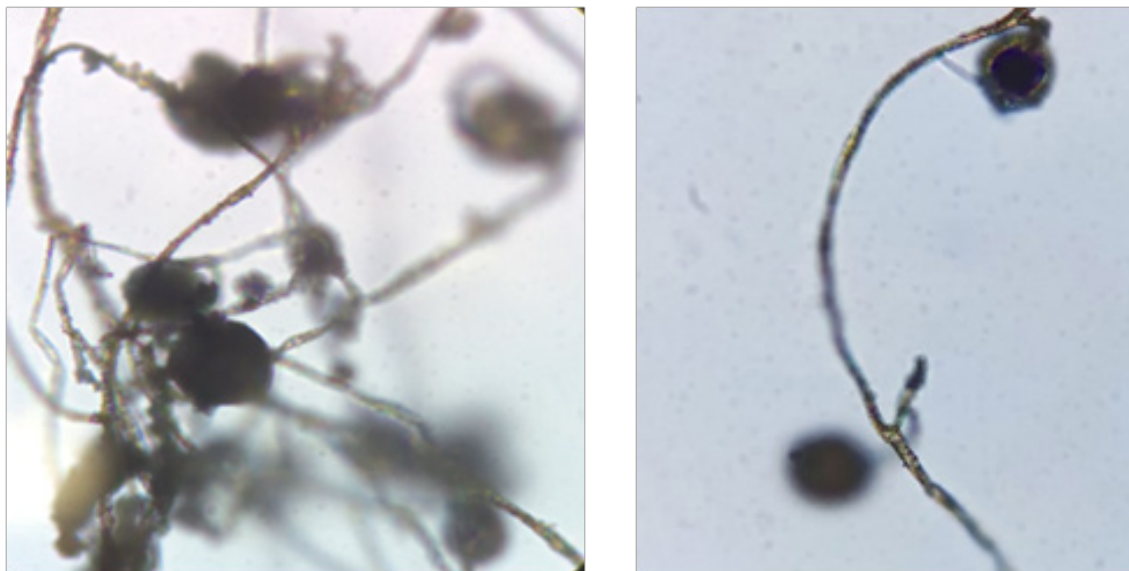


Рис. 5. Микроскопия проросшего мицелия на образцах пленок  
 Fig. 5. Microscopy of germinated mycelium on film samples

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате выполнения работы получено 3 опытных образца альгинатных пленок с добавлением белкового гидролизата и контрольный образец пленки без добавления его. Проведенные исследования показали, что дозировка белкового гидролизата влияет на внешний вид и прозрачность пленки, ее растворимость в воде, биоразлагаемость и антиоксидантные свойства. По совокупности исследуемых показателей оптимальными свойствами обладает образец пленки с добавлением 1 % гидролизата белка.

Результаты исследований показали, что биокомпозит на основе альгината натрия с добавлением белкового гидролизата обладает улучшенными свойствами по сравнению с монокомпонентной пленкой и может являться альтернативой для синтетических полимерных материалов, используемых в качестве упаковочных материалов и пленок.

#### Благодарности (Acknowledgements)

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, номер проекта 23-26-00153.

#### Библиографический список

1. Seyedzade Hashemi S., Khorshidian N., Mohammadi M. An insight to potential application of symbiotic edible films and coatings in food products // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. Article number 875368. DOI: 10.3389/fnut.2022.875368.
2. Сергазиева О. Д., Долганова Н. В. Применение пленок на основе желатина для сохранения качества пищевых продуктов // *Техника и технология пищевых производств*. 2018. Т. 48. № 1. С. 156–163.
3. Abdelhedi O., Nasri R., Jridi M., Kchaou H., Nasreddine B., Karbowiak T., Debeaufort F., Nasri M. Composite bioactive films based on smooth-hound viscera proteins and gelatin: Physicochemical characterization and antioxidant properties // *Food Hydrocolloids*. 2018. Vol. 74. Pp. 176–186.
4. Iñiguez-Moreno M., Ragazzo-Sánchez J. A., Calderón-Santoyo M. An Extensive Review of Natural Polymers Used as Coatings for Postharvest Shelf-Life Extension: Trends and Challenges // *Polymers*. 2021. Vol. 13. No. 13 (19). Article number 3271. DOI: 10.3390/polym13193271.
5. Perera K. Y., Sharma S., Pradhan D., Jaiswal A. K., Jaiswal S. Seaweed Polysaccharide in Food Contact Materials (Active Packaging, Intelligent Packaging, Edible Films, and Coatings) // *Foods*. 2021. Vol. 10 (9). Article number 2088. DOI: 10.3390/foods10092088.
6. Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Ногина А. А. Технология и оценка качества пищевых пленок // *Вестник ВСГУТУ*. 2019. № 1 (72). С. 19–28.
7. Zhang Y., Man J., Li J., Xing Z., Zhao B., Ji M., Xia H., Li J. Preparation of the alginate/carrageenan/shellac films reinforced with cellulose nanocrystals obtained from enteromorpha for food packaging // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. No. 218. Pp. 519–532. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.07.145.
8. Khalil H., Saurabh C. K., Tye Y. Y., Lai T. K., Easa A. M., Rosamah E., Fazita M. R. N., Syakir M. I., Adnan A. S., Fizree H. M. Seaweed based sustainable films and composites for food and pharmaceutical applications: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. No. 77. Pp. 353–362.

9. Praseptiangga D., Ferichani I. P., Mufida N. Development and Characterization of Bioactive Edible Films Based on Semi-Refined Kappa Carrageenan Incorporated with Honey and Kaempferia galanga L. Essential Oil // *Trends in Sciences*. 2022. Vol. 19 (17). Article number 5761. DOI: 10.48048/tis.2022.5761.
10. Da Rocha J., Mustafa S. K., Jagnandan A., Ahmad M. A., Rebezov M., Shariati M. A., Krebs de Souza C. Development of active and biodegradable film of ternary-based for food application // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2023. No.17. Pp. 148–158. DOI: 10.5219/1853.
11. Chen W., Ma S., Wang Q., McClements D. J., Liu X., Ngai T. et al. Fortification of edible films with bioactive agents: a review of their formation, properties, and application in food preservation // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. Pp. 5029–5055. DOI: 10.1080/10408398.2021.1881435.
12. Жамсаранова С. Д., Лебедева С. Н., Болхонов Б. А., Соколов Д. В. Ферментативная конверсия пищевого белка и оценка антиоксидантной активности пептидов // *Вестник ВСГУТУ*. 2021. № 4 (83). С. 5–14.
13. Cui Q., Duan Y., Zhang M., Liang S., Sun Y., Cheng J., Guo M. Peptide profiles and antioxidant capacity of extensive hydrolysates of milk protein concentrate // *Journal of Dairy Science*. 2022. No. 105 (10). Pp. 7972–7985. DOI: 10.3168/jds.2021-21496.
14. Zhi T., Li X., Sadiq F.A., Mao K., Gao J., Mi S., Liu X., Deng W., Chitrakar B., Sang Y. Novel antioxidant peptides from protein hydrolysates of scallop (*Argopecten irradians*) mantle using enzymatic and microbial methods: Preparation, purification, identification and characterization // *LWT – Food Science and Technology*. 2022. Vol. 164. Article number 113636. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113636.
15. Tkaczewska J. Peptides and protein hydrolysates as food preservatives and bioactive components of edible films and coatings – A review // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 106. Pp. 298–311.
16. Woraprayote W., Malila Y., Sorapukdee S., Swetwivathana A., Benjakul S., Visessanguan W. Bacteriocins from lactic acid bacteria and their applications in meat and meat products // *Meat Science*. 2016. Vol. 120. Pp. 118–132.
17. Bhat R. Sustainability challenges in the valorization of agri-food wastes and by-products // *Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products*. Elsevier, 2021. DOI: 10.1016/B978-0-12-824044-1.00022-2.
18. Silva Filipini G. S., Romani V. P., Martins V. G. Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolˆao (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging // *Food Hydrocolloids*. 2020. Vol. 109. Article number 106139. DOI:10.1016/j.foodhyd.2020.106139.
19. Farhan A., Hani N. M. Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol // *Food Hydrocolloids*. 2017. No. 64. Pp. 48–58.
20. Wongphan P., Harnkarnsujarit N. Characterization of starch, agar and maltodextrin blends for controlled dissolution of edible films // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. No. 156. Pp. 80–93.
21. Priyadarshi R., Kim H. J., Rhim J. W. Effect of sulfur nanoparticles on properties of alginate-based films for active food packaging applications // *Food Hydrocolloids*. 2021. Vol. 110. Article number 106155. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106155.
22. Lisitsyn A., Semenova A., Nasonova V., Polishchuk E., Revutskaya N., Kozyrev I., Kotenkova E. Approaches in Animal Proteins and Natural Polysaccharides Application for Food Packaging: Edible Film Production and Quality Estimation // *Polymers*. 2021. Vol. 13. Article number 1592. DOI: 10.3390/polym13101592.
23. Santos L. G., Alves-Silva G. F., Martins V. G. Active-intelligent and biodegradable sodium alginate films loaded with *Clitoria ternatea* anthocyanin-rich extract to preserve and monitor food freshness // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. Vol. 220. Pp. 866–877. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.08.120.

#### Об авторах:

Оксана Владимировна Зинина<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий, ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624; +7 906 871-36-81, [zininaov@susu.ru](mailto:zininaov@susu.ru)

Елена Александровна Вишнякова<sup>1</sup>, лаборант-исследователь УНИД, ORCID 0000-0002-8557-9239, AuthorID 1152986; +7 912 772-15-61, [l\\_vishny@mail.ru](mailto:l_vishny@mail.ru)

Ольга Петровна Неверова<sup>2</sup>, кандидат биологических наук, заведующая кафедрой биотехнологии и пищевых продуктов, ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632; +7 912 634-94-62, [opneverova@mail.ru](mailto:opneverova@mail.ru)

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия

<sup>2</sup> Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

## Study of the properties of biodegradable alginate films with an active component

O. V. Zinina<sup>1</sup>✉, E. A. Vishnyakova<sup>1</sup>, O. P. Neverova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup> Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: zininaov@susu.ru

**Abstract.** Due to the unfavorable environmental situation associated with the accumulation of large volumes of non-recyclable waste, the development of biodegradable materials based on natural polymers is relevant. In addition, the most promising biodegradable films with active properties that allow to increase the shelf life of food. **The novelty** of the work lies in the addition of an alginate film as an active component of the protein hydrolyzate to the base of the matrix in different concentrations. **The purpose** of the research is to establish the properties of biodegradable films based on alginate with the introduction of whey protein hydrolyzate as an active component. **Methods.** In experimental samples of films, the appearance and transparency were determined visually, thickness, microstructure, antioxidant capacity by coulometric titration, solubility and biodegradability in soil. **Results.** It has been determined that with various additions of protein hydrolyzate (PH) to the composition of the film, its appearance, transparency and microstructure change significantly. The film with the addition of 1 % PH turned out to be the optimal sample according to these indicators - transparent, homogeneous, not sticky. The film thickness did not differ significantly and ranged from 0.23 to 0.29 mm. The antioxidant capacity of the films increased with an increase in the content of PH, while the solubility, on the contrary, decreased. The control sample of the film turned out to be the most soluble. It was also found that all film samples are biodegradable, the control sample and the sample with the addition of 1 % PH most quickly turned into biohumus. Thus, the use of a protein hydrolyzate as an active component in the composition of the film showed effectiveness in terms of antioxidant properties. In addition, PH also affected other important properties of the films.

**Keywords:** structurant, film coating, protein hydrolyzate, biodegradability, solubility.

**For citation:** Zinina O. V., Vishnyakova E. A., Neverova O. P. Issledovanie svoystv biorazlagaemykh al'ginatnykh plenok s aktivnym komponentom [Study of the properties of biodegradable alginate films with an active component] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 06 (235). Pp. 76–86. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-76-86. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 31.03.2023, **date of review:** 09.04.2023, **date of acceptance:** 12.04.2023.

### References

1. Seyedzade Hashemi S., Khorshidian N., Mohammadi M. An insight to potential application of symbiotic edible films and coatings in food products // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. Article number 875368. DOI: 10.3389/fnut.2022.875368.
2. Sergazieva O. D., Dolganova N. V. Primenenie plenok na osnove zhelatina dlya sokhraneniya kachestva pishchevykh produktov [The use of gelatin-based films to preserve food quality] // *Food Processing: Techniques and Technology*. 2018. Vol. 48. No. 1. Pp. 156–163. (In Russian.)
3. Abdelhedi O., Nasri R., Jridi M., Kchaou H., Nasreddine B., Karbowiak T., Debeaufort F., Nasri M. Composite bioactive films based on smooth-hound viscera proteins and gelatin: Physicochemical characterization and antioxidant properties // *Food Hydrocolloids*. 2018. Vol. 74. Pp. 176–186.
4. Iñiguez-Moreno M., Ragazzo-Sánchez J. A., Calderón-Santoyo M. An Extensive Review of Natural Polymers Used as Coatings for Postharvest Shelf-Life Extension: Trends and Challenges // *Polymers*. 2021. Vol. 13. No. 13 (19). Article number 3271. DOI: 10.3390/polym13193271.
5. Perera K. Y., Sharma S., Pradhan D., Jaiswal A. K., Jaiswal S. Seaweed Polysaccharide in Food Contact Materials (Active Packaging, Intelligent Packaging, Edible Films, and Coatings) // *Foods*. 2021. Vol. 10 (9). Article number 2088. DOI: 10.3390/foods10092088.
6. Tikhonov S. L., Tikhonova N. V., Nogina A. A. Tekhnologiya i otsenka kachestva pishchevykh plenok [Technology and quality assessment of food films] // *ESSUTM Bulletin*. 2019. No. 1 (72). Pp. 19–28. (In Russian.)
7. Zhang Y., Man J., Li J., Xing Z., Zhao B., Ji M., Xia H., Li J. Preparation of the alginate/carrageenan/shellac films reinforced with cellulose nanocrystals obtained from enteromorpha for food packaging // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. No. 218. Pp. 519–532. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.07.145.

8. Khalil H., Saurabh C. K., Tye Y. Y., Lai T. K., Easa A. M., Rosamah E., Fazita M. R. N., Syakir M. I., Adnan A. S., Fizree H. M. Seaweed based sustainable films and composites for food and pharmaceutical applications: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. No. 77. Pp. 353–362.
9. Praseptianga D., Ferichani I. P., Mufida N. Development and Characterization of Bioactive Edible Films Based on Semi-Refined Kappa Carrageenan Incorporated with Honey and Kaempferia galanga L. Essential Oil // *Trends in Sciences*. 2022. Vol. 19 (17). Article number 5761. DOI: 10.48048/tis.2022.5761.
10. Da Rocha J., Mustafa S. K., Jagnandan A., Ahmad M. A., Rebezov M., Shariati M. A., Krebs de Souza C. Development of active and biodegradable film of ternary-based for food application // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2023. No.17. Pp. 148–158. DOI: 10.5219/1853.
11. Chen W., Ma S., Wang Q., McClements D. J., Liu X., Ngai T. et al. Fortification of edible films with bioactive agents: a review of their formation, properties, and application in food preservation // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. Pp. 5029–5055. DOI: 10.1080/10408398.2021.1881435.
12. Zhamsaranova S. D., Lebedeva S. N., Bolkhonov B. A., Sokolov D. V. Fermentativnaya konversiya pishchevogo belka i otsenka antioksidantnoy aktivnosti peptidov [Enzymatic Conversion of Dietary Protein and Evaluation of the Antioxidant Activity of Peptides] // *ESSUTM Bulletin*. 2021. No. 4 (83). Pp. 5–14. (In Russian.)
13. Cui Q., Duan Y., Zhang M., Liang S., Sun Y., Cheng J., Guo M. Peptide profiles and antioxidant capacity of extensive hydrolysates of milk protein concentrate // *Journal of Dairy Science*. 2022. No. 105 (10). Pp. 7972–7985. DOI: 10.3168/jds.2021-21496.
14. Zhi T., Li X., Sadiq F.A., Mao K., Gao J., Mi S., Liu X., Deng W., Chitrakar B., Sang Y. Novel antioxidant peptides from protein hydrolysates of scallop (*Argopecten irradians*) mantle using enzymatic and microbial methods: Preparation, purification, identification and characterization // *LWT – Food Science and Technology*. 2022. Vol. 164. Article number 113636. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113636.
15. Tkaczewska J. Peptides and protein hydrolysates as food preservatives and bioactive components of edible films and coatings – A review // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 106. Pp. 298–311.
16. Woraprayote W., Malila Y., Sorapukdee S., Swetwathana A., Benjakul S., Visessanguan W. Bacteriocins from lactic acid bacteria and their applications in meat and meat products // *Meat Science*. 2016. Vol. 120. Pp. 118–132.
17. Bhat R. Sustainability challenges in the valorization of agri-food wastes and by-products // *Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products*. Elsevier, 2021. DOI: 10.1016/B978-0-12-824044-1.00022-2.
18. Silva Filipini G. S., Romani V. P., Martins V. G. Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolˆao (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging // *Food Hydrocolloids*. 2020. Vol. 109. Article number 106139. DOI:10.1016/j.foodhyd.2020.106139.
19. Farhan A., Hani N. M. Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol // *Food Hydrocolloids*. 2017. No. 64. Pp. 48–58.
20. Wongphan P., Harnkarnsujarit N. Characterization of starch, agar and maltodextrin blends for controlled dissolution of edible films // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. No. 156. Pp. 80–93.
21. Priyadarshi R., Kim H. J., Rhim J. W. Effect of sulfur nanoparticles on properties of alginate-based films for active food packaging applications // *Food Hydrocolloids*. 2021. Vol. 110. Article number 106155. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106155.
22. Lisitsyn A., Semenova A., Nasonova V., Polishchuk E., Revutskaya N., Kozyrev I., Kotenkova E. Approaches in Animal Proteins and Natural Polysaccharides Application for Food Packaging: Edible Film Production and Quality Estimation // *Polymers*. 2021. Vol. 13. Article number 1592. DOI: 10.3390/polym13101592.
23. Santos L. G., Alves-Silva G. F., Martins V. G. Active-intelligent and biodegradable sodium alginate films loaded with *Clitoria ternatea* anthocyanin-rich extract to preserve and monitor food freshness // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. Vol. 220. Pp. 866–877. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.08.120.

#### **Authors' information:**

Oksana V. Zinina<sup>1</sup>, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of food and biotechnology, ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624; +7 906 871-36-81, [zininaov@susu.ru](mailto:zininaov@susu.ru)  
 Elena A. Vishnyakova<sup>1</sup>, research laboratory assistant at the department of scientific and innovative activities, ORCID 0000-0002-8557-9239, AuthorID 1152986; +7 912 772-15-61, [l\\_vishny@mail.ru](mailto:l_vishny@mail.ru)  
 Olga P. Neverova<sup>2</sup>, candidate of biological sciences, head of the department of biotechnology and food products, ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632; +7 912 634-94-62, [opneverova@mail.ru](mailto:opneverova@mail.ru)

<sup>1</sup> South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup> Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia



## Влияние стимулятора роста на биолого-морфологические параметры многолетних травянистых растений

А. А. Реут<sup>1</sup>✉, И. Н. Аллаярова<sup>1</sup>, А. Р. Биглова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

✉ E-mail: [cvetok.79@mail.ru](mailto:cvetok.79@mail.ru)

**Аннотация.** Цель – изучение эффективности действия препарата «Лигногумат» на рост, развитие и декоративные качества некоторых цветочно-декоративных культур (*Campanula persicifolia* L., *C. carpatica* Jacq., *Phlox paniculata* L.) в условиях лесостепной зоны Башкирского Предуралья. **Методы.** Наблюдения за сезонным ритмом развития растений проводили согласно методике фенологических наблюдений в ботанических садах, оценку декоративных признаков – согласно общепринятой методике государственного сортоиспытания декоративных культур. **Научная новизна.** Впервые в условиях Башкирского Предуралья изучено влияние стимулятора роста «Лигногумат» на декоративные качества некоторых видов цветочных культур коллекции ЮУБСИ УФИЦ РАН. **Результаты.** Проанализированы особенности фенологии, роста, а также декоративные качества растений при фертигации регулятором роста. При оценке декоративности по 100-балльной шкале у *C. persicifolia* выявлено, что «Лигногумат» эффективен для таких декоративных признаков, как количество листьев, обилие цветения и плотность соцветия; также наблюдается сокращение продолжительности периода от отрастания до цветения на 5 суток. У *C. carpatica* улучшились такие морфометрические параметры, как размер цветка и соцветия, обилие и длительность цветения; также препарат способствует увеличению площади горизонтальной проекции цветочного пятна на куст в 2,6 раза по сравнению с контролем. У *Ph. paniculata* «Лигногумат» эффективен для таких декоративных признаков, как размер соцветия, обилие и длительность цветения, также при фертигации в 1,5 раза увеличилась площадь горизонтальной проекции цветочного пятна на куст, тем самым повысились декоративные качества флокса.

**Ключевые слова:** *Campanula persicifolia*, *C. carpatica*, *Phlox paniculata* L., «Лигногумат», декоративные качества, Башкирское Предуралье.

**Для цитирования:** Реут А. А., Аллаярова И. Н., Биглова А. Р. Влияние стимулятора роста на биолого-морфологические параметры многолетних травянистых растений // Аграрный вестник Урала. 2023. № 06 (235). С. 87–97. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-87-97.

**Дата поступления статьи:** 27.01.2023, **дата рецензирования:** 02.03.2023, **дата принятия:** 13.03.2023.

### Постановка проблемы (Introduction)

Использование антистрессовых препаратов как синтетического, так и природного происхождения является важным резервом повышения устойчивости растений к неблагоприятным условиям произрастания [1, с. 4]. В настоящее время широкую популярность приобретают препараты естественного происхождения, получившие название гуминовых удобрений [2, с. 12; 3, с. 37]. Они обладают широким спектром применения, являются высокоэффективными и экологически безопасными. Гуминовые вещества играют одну из важнейших ролей в улучшении физико-химических свойств почвы, активизации микрофлоры, миграции питательных веществ [4, с. 194].

Среди гуминовых препаратов стоит выделить лигногуматы – вещества, полученные в результате окислительно-гидролитической деструкции лигносодержащего сырья; они представляют собой соли щелочных металлов гуминовых и фульвовых кислот [5, с. 131; 6, с. 39].

Специалистами НПО «Реализация Экологических Технологий» разработана принципиально новая технология получения концентрированных экологически чистых солей гуминовых кислот. Продукт этой технологии выпускается на рынок под торговой маркой «Лигногумат». Это эффективное средство для предпосевной обработки посадочного материала, корневых и внекорневых подкормок, ремедиации почвы, приготовления компостов и уси-

литель минеральных удобрений [3, с. 38; 7, с. 289]. «Лигногумат» (далее ЛГ) стимулирует рост и развитие корневой системы, а также растений в целом, снимает стресс при обработке пестицидами, повышает морозостойкость и засухоустойчивость, а также урожайность и качество сельскохозяйственной продукции [8, с. 137].

Цель работы – изучить эффективность действия препарата «Лигногумат» на рост, развитие и декоративные качества некоторых многолетних цветочных культур в условиях лесостепной зоны Башкирского Предуралья.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Объект исследования – многолетние цветочно-декоративные культуры, успешно прошедшие интродукционные испытания на базе Южно-Уральского ботанического сада-института – обособленного структурного подразделения Уфимского федерального исследовательского центра РАН (далее ЮУБСИ УФИЦ РАН): *Campanula persicifolia* L., *C. carpatica* Jacq., *Phlox paniculata* L.

Колокольчик персиколистный (*Campanula persicifolia* L.) – многолетнее растение с волокнистым корнем, прямым и слабовеетвистым стеблем. Цветки собраны в кисть, венчик ширококолокольчатый [9, с. 201]. Применяется в миксбордерах, групповых посадках, на срезку [10, с. 230].

Колокольчик карпатский (*Campanula carpatica* Jacq.) – многолетнее растение с волокнистым корнем и многочисленными облиственными стеблями, образующими компактный кустик. Цветки одиночные, крупные. Венчик ширококолокольчатый. Применяется в бордюрах, групповых посадках, рабатках, миксбордерах, рокариях, горшечной культуре, вертикальном озеленении, миниатюрных букетах [11, с. 44].

Флокс метельчатый (*Phlox paniculata* L.) – многолетнее травянистое растение высотой 35–150 см. Цветы различной окраски, чистых или смешанных тонов, диаметром 2,5–5 см, ароматные, собраны в метельчатые соцветия различного строения и величины. Используется для миксбордеров, клумб и бордюров [12, с. 40].

Работу проводили на базе лаборатории интродукции и селекции цветочных растений ЮУБСИ УФИЦ РАН в вегетационные периоды 2021–2022 гг.

Фертигация растений раствором препарата «Лигногумат» (5 г/10 л) проводилась в четырехкратной повторности с фазы отрастания с интервалом в четыре недели. «Лигногумат» – комплекс гуминовых и фульвовых кислот, обогащенный микроэлементами в хелатной форме. Соли гуминовых веществ 80–90 % от с. в., калий – не менее 9, сера – 3, железо – 0,2, марганец – 0,12, медь – 0,12, цинк – 0,12, молибден – 0,015, селен – 0,005, бор – 0,15, кобальт – 0,12, азот, фосфор, кальций, кремний,

магний – присутствие. Наименование агрохимиката: «Лигногумат» марки АМ.

Для анализа сезонного ритма развития растений использовали методику фенологических наблюдений в ботанических садах [13, с. 132]. Динамику роста определяли путем измерения высоты растений каждые 10 дней. Уровень индивидуальной изменчивости определяли по эмпирической шкале С. А. Мамаева [14, с. 133]. Оценку декоративных признаков растений определяли согласно общепринятой методике государственного сортоиспытания декоративных культур [15, с. 335] и по методике, разработанной в ботаническом саду МГУ [16, с. 31]. Плотность соцветия определяли по соотношению числа одновременно цветущих цветков в соцветии на длину цветоноса в соответствии с методикой А. С. Кашина и др. [14, с. 134].

Математическую обработку экспериментальных данных проводили стандартными методами с использованием статистических пакетов программы Microsoft Excel 2003 и программы Agros 2.13.

#### Результаты (Results)

По результатам наблюдений за сезонным ритмом развития объектов исследований выявлено, что влияние «Лигногумата» на фенологические фазы видоспецифично: у *C. persicifolia* и *Ph. paniculata* наблюдали уменьшение продолжительности периода от отрастания до цветения на 5–7 суток; у *C. carpatica* и *Ph. paniculata* продолжительность цветения увеличилась на 4–11 суток; у *C. carpatica* сократился период созревания семян на 19 суток; у *Ph. paniculata* отмечено более раннее наступление основных фенологических фаз. Эти данные хорошо согласуются с результатами, полученными В. А. Бойко с соавторами [17, с. 34], где применение ЛГ способствовало ускорению процесса созревания, сокращению продуктивного периода плодовых культур. Ускорение роста и развития овощных культур было отмечено и в работах других исследователей [8, с. 139].

Анализ динамики роста изученных таксонов позволил выделить виды с различной интенсивностью роста в разные периоды вегетации:

##### с одним пиком роста:

– при обработке ЛГ и в контроле (К) – в фазу бутонизации (*C. persicifolia*);

##### с двумя пиками роста:

– при ЛГ – в фазы отрастания и бутонизации (*Ph. paniculata*);

– при ЛГ и К – в фазы отрастания и бутонизации (*C. carpatica*);

##### с тремя пиками роста:

– при К – в фазы отрастания и цветения (*Ph. paniculata*) (рис. 1).

Максимальный суточный прирост варьировал от 0,5 (*C. carpatica*) до 3 см (*C. persicifolia*) в контрольном варианте.

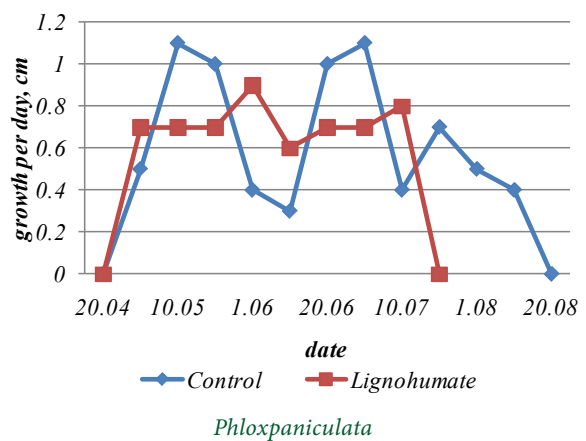
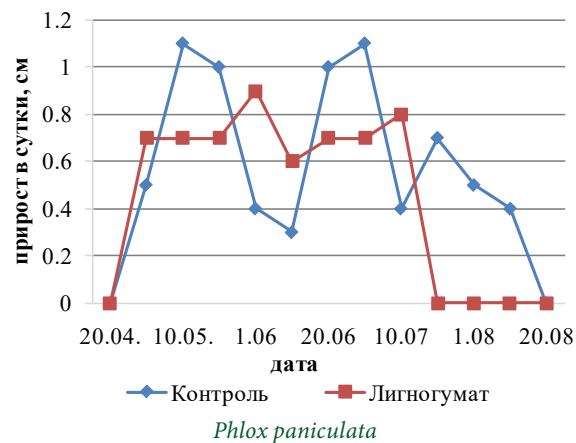
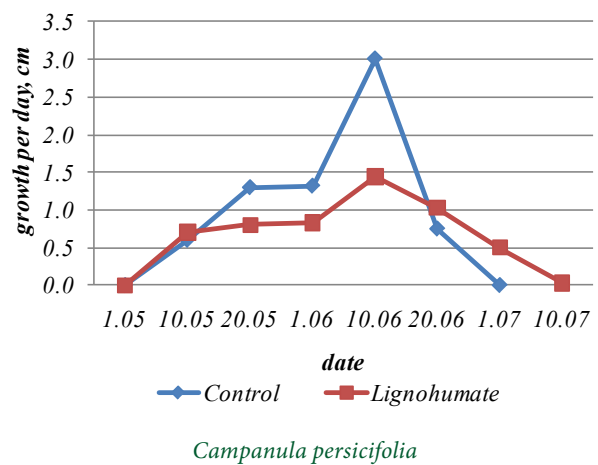
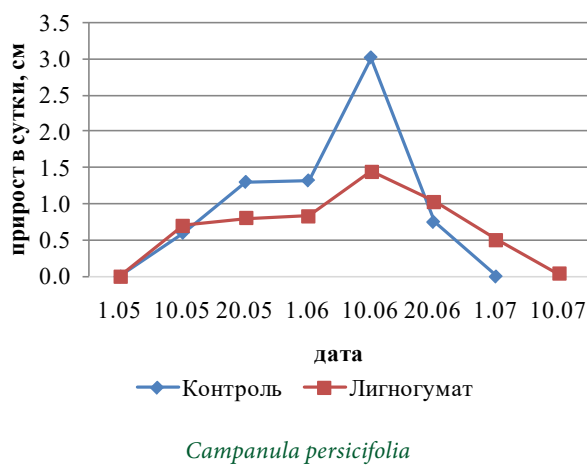
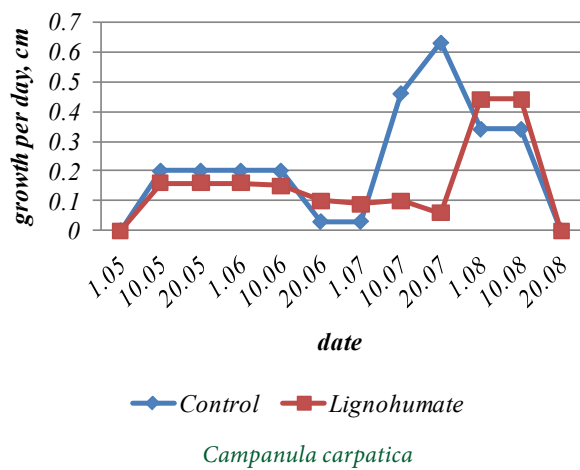
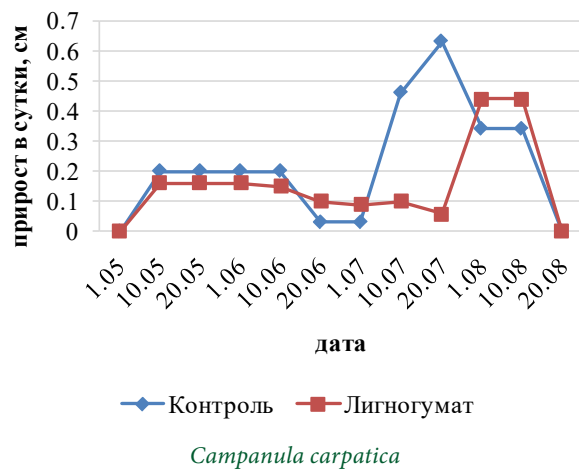


Рис. 1. Динамика роста цветочно-декоративных растений

Fig. 1. Growth dynamics of flower and ornamental plants

Выявлено, что при обработке ЛГ у *C. persicifolia* произошло ингибирование показателей высоты растений и соцветий; длины, ширины и толщины листа (таблица 1); диаметра стебля, количества генеративных побегов, высоты и диаметра цветка (таблица 2). Однако мы наблюдали увеличение количества листьев (в 1,4 раза) и одновременно цветущих цветков в соцветии (в 1,2 раза) по сравнению с контрольным вариантом.

У *C. persicifolia* высокая изменчивость отмечена для количества листьев при обработке ЛГ ( $C_V = 34,8\%$ ). Повышенным уровнем изменчивости обладают такие показатели, как диаметр стебля и количество генеративных побегов в контроле ( $C_V = 21,7-25,9\%$ ). Средний уровень изменчивости установлен в контроле для количества листьев, ширины и толщины листа, высоты соцветия, высоты и диаметра цветка ( $C_V = 13-20,3\%$ ). Число цветков в

соцветии характеризуется средним уровнем изменчивости во всех вариантах опыта. Низкий уровень изменчивости выявлен для ширины листа при ЛГ ( $C_v = 9,16\%$ ). Очень низким уровнем изменчивости при обработке ЛГ обладают такие показатели, как толщина листа, диаметр стебля, количество генеративных побегов, высота и диаметр цветка, высота соцветия ( $C_v = 0-7,2\%$ ); длина листа и высота растений – во всех вариантах опыта.

Выявлено, что у *S. carpatica* ЛГ способствует увеличению количества листьев, генеративных побегов, диаметра стебля, цветков в соцветии; ширины листа, высоты и диаметра цветка; однако ингибирует высоту растений (таблицы 1, 2).

Высокая изменчивость у *S. carpatica* отмечена для количества генеративных побегов во всех вариантах опыта; для количества цветков в соцветии – при ЛГ ( $C_v = 32,7-34,6\%$ ). Повышенным уровнем изменчивости обладают такие показатели, как высота растений во всех вариантах опыта; диаметр стебля, длина и толщина листа, и число цветков в соцветии в контроле ( $C_v = 21,7-25,9\%$ ). Средний уровень изменчивости установлен при ЛГ для длины листа и диаметра стебля ( $C_v = 14,8-16,4\%$ ). Очень низким уровнем изменчивости обладают такие показатели, как высота и диаметр цветка во всех вариантах опыта; толщина листа – при ЛГ.

Таблица 1

Некоторые морфометрические показатели цветочно-декоративных растений

Варианты опыта	Высота растений, см	$C_v\%$	Количество листьев, шт.	$C_v\%$	Длина листа, см	$C_v\%$	Ширина листа, см	$C_v\%$	Толщина листа, мм	$C_v\%$
<i>Campanula persicifolia</i>										
Контроль	69,8 ± 3,54	7,2	116,0 ± 13,61	20,3	14,0 ± 0,58	7,1	2,3 ± 0,17	13,0	0,6 ± 0,06	15,8
Лигногумат	53,3 ± 1,86	6,0	162,7 ± 42,67	34,8	10,3 ± 0,14	2,4	1,7 ± 0,09	9,1	0,5 ± 0,01	4,3
<i>Campanula carpatica</i>										
Контроль	26,3 ± 3,84	25,3	19,0 ± 1,73	15,8	2,8 ± 0,42	25,8	2,5 ± 0,15	9,9	0,37 ± 0,05	22,0
Лигногумат	18,7 ± 2,91	27,0	30,3 ± 2,60	14,9	2,5 ± 0,23	16,4	2,6 ± 0,27	17,5	0,30 ± 0,01	6,7
<i>Phlox paniculata</i>										
Контроль	56,3 ± 0,88	2,7	25,3 ± 4,67	31,9	11,5 ± 1,53	23,2	3,5 ± 0,40	20,0	0,9 ± 0,06	10,8
Лигногумат	64,0 ± 2,31	6,3	18,7 ± 1,76	16,4	13,2 ± 0,99	12,9	4,3 ± 0,18	7,2	0,9 ± 0,06	11,1

Table 1

Some morphometric indicators of flower and ornamental plants

Experience option	Plant height, cm	$C_v\%$	Number of leaves, pcs.	$C_v\%$	Sheet length, cm	$C_v\%$	Sheet width, cm	$C_v\%$	Sheet thickness, mm	$C_v\%$
<i>Campanula persicifolia</i>										
Control	69.8 ± 3.54	7.2	116.0 ± 13.61	20.3	14.0 ± 0.58	7.1	2.3 ± 0.17	13.0	0.6 ± 0.06	15.8
Lignogumat	53.3 ± 1.86	6.0	162.7 ± 42.67	34.8	10.3 ± 0.14	2.4	1.7 ± 0.09	9.1	0.5 ± 0.01	4.3
<i>Campanula carpatica</i>										
Control	26.3 ± 3.84	25.3	19.0 ± 1.73	15.8	2.8 ± 0.42	25.8	2.5 ± 0.15	9.9	0.37 ± 0.05	22.0
Lignogumat	18.7 ± 2.91	27.0	30.3 ± 2.60	14.9	2.5 ± 0.23	16.4	2.6 ± 0.27	17.5	0.30 ± 0.01	6.7
<i>Phlox paniculata</i>										
Control	56.3 ± 0.88	2.7	25.3 ± 4.67	31.9	11.5 ± 1.53	23.2	3.5 ± 0.40	20.0	0.9 ± 0.06	10.8
Lignogumat	64.0 ± 2.31	6.3	18.7 ± 1.76	16.4	13.2 ± 0.99	12.9	4.3 ± 0.18	7.2	0.9 ± 0.06	11.1

Таблица 2

Некоторые морфометрические показатели цветочно-декоративных растений

Вариант опыта	Диаметр стебля, см	$C_v\%$	Количество генеративных побегов, шт.	$C_v\%$	Число цветков в соцветии, шт.	$C_v\%$	Высота цветка, см	$C_v\%$	Диаметр цветка, см	$C_v\%$
<i>Campanula persicifolia</i>										
Контроль	4,3 ± 0,64	25,9	1,3 ± 0,17	21,7	10,0 ± 1,15	20,0	2,5 ± 0,23	16,4	3,4 ± 0,35	17,8
Лигногумат	2,6 ± 0,01	0,8	1,0 ± 0,00	0,0	12,0 ± 1,16	16,7	1,7 ± 0,06	5,9	3,1 ± 0,03	1,9
<i>Campanula carpatica</i>										
Контроль	1,8 ± 0,24	22,7	3,3 ± 0,67	34,6	1,3 ± 0,18	22,9	2,5 ± 0,03	2,3	3,2 ± 0,06	3,1
Лигногумат	2,3 ± 0,20	14,8	4,7 ± 0,88	32,7	3,0 ± 0,58	33,3	2,7 ± 0,04	2,8	3,5 ± 0,06	2,9
<i>Phlox paniculata</i>										
Контроль	6,0 ± 0,95	27,4	4,7 ± 0,67	24,7	85,7 ± 15,67	31,7	2,4 ± 0,03	2,4	3,1 ± 0,18	10,0
Лигногумат	6,7 ± 0,22	5,7	7,3 ± 0,67	15,7	99,0 ± 13,45	23,5	3,5 ± 0,09	4,4	3,2 ± 0,06	3,1

Some morphometric indicators of flower and ornamental plants

Experience option	Stem diameter, cm	C <sub>v</sub> %	Number of generative shoots, pcs.	C <sub>v</sub> %	The number of flowers in the inflorescence, pcs.	C <sub>v</sub> %	Flower height, cm	C <sub>v</sub> %	Flower diameter, cm	C <sub>v</sub> %
<i>Campanula persicifolia</i>										
Control	4.3 ± 0.64	25.9	1.3 ± 0.17	21.7	10.0 ± 1.15	20.0	2.5 ± 0.23	16.4	3.4 ± 0.35	17.8
Lignogumat	2.6 ± 0.01	0.8	1.0 ± 0.00	0.0	12.0 ± 1.16	16.7	1.7 ± 0.06	5.9	3.1 ± 0.03	1.9
<i>Campanula carpatica</i>										
Control	1.8 ± 0.24	22.7	3.3 ± 0.67	34.6	1.3 ± 0.18	22.9	2.5 ± 0.03	2.3	3.2 ± 0.06	3.1
Lignogumat	2.3 ± 0.20	14.8	4.7 ± 0.88	32.7	3.0 ± 0.58	33.3	2.7 ± 0.04	2.8	3.5 ± 0.06	2.9
<i>Phlox paniculata</i>										
Control	6.0 ± 0.95	27.4	4.7 ± 0.67	24.7	85.7 ± 15.67	31.7	2.4 ± 0.03	2.4	3.1 ± 0.18	10.0
Lignogumat	6.7 ± 0.22	5.7	7.3 ± 0.67	15.7	99.0 ± 13.45	23.5	3.5 ± 0.09	4.4	3.2 ± 0.06	3.1

Выявлено, что у *Ph. paniculata* обработка ЛГ способствует увеличению значений высоты растений, длины и ширины листа, диаметра стебля, количества генеративных побегов и цветков в соцветии, высоты и диаметра цветка, высоты соцветия (таблицы 1, 2).

Высокая изменчивость у *Ph. paniculata* отмечена для количества листьев и цветков в соцветии в контроле ( $C_v = 31,7-31,9\%$ ). Повышенным уровнем изменчивости обладают такие показатели, как высота соцветия во всех вариантах опыта; длина листа, диаметр стебля, количество генеративных побегов – в контроле; число цветков в соцветии – при ЛГ ( $C_v = 23,2-28,6\%$ ). Средний уровень изменчивости установлен для ширины листа в контроле; количества листьев и генеративных побегов – при ЛГ ( $C_v = 15,7-20\%$ ). Низкий уровень изменчивости выявлен для толщины листа во всех вариантах опыта; для длины листа – при ЛГ ( $C_v = 10,8-12,9\%$ ). Очень низким уровнем изменчивости обладают такие показатели, как высота растений и цветка во всех вариантах опыта; ширина листа и диаметр стебля – при ЛГ ( $C_v = 2,4-7,2\%$ ).

Для сравнения объективной количественной оценки была вычислена площадь горизонтальной проекции цветочного пятна на куст растения согласно методике, разработанной в ботаническом саду МГУ [16, с. 32]. Для этого использовали данные биометрических показателей декоративности: диаметр и количество цветков. Площадь горизонтальной проекции одного цветка вычисляли по формуле площади круга. Затем полученные значения умножали на количество цветков на одном растении. Результат – площадь проекции цветочного пятна на куст (м<sup>2</sup>). Эти данные наглядно показывают, какую цветочную нагрузку несут растения во время цветения, следовательно, насколько они декоративны.

Установлено, что у *C. persicifolia* обработка ЛГ способствовала увеличению плотности соцветия и

количества одновременно цветущих цветков на побег (таблица 3). На площадь горизонтальной проекции цветочного пятна на побег ЛГ не оказал существенного влияния.

Выявлено, что обработка ЛГ способствовала увеличению площади горизонтальной проекции цветочного пятна на куст у *C. carpatica* в 2,6 раза (таблица 4); у *Ph. paniculata* – в 1,5 раза по сравнению с контролем (таблица 5).

Для определения влияния ЛГ на декоративность растений использовали 100-балльную шкалу. Из декоративных признаков у *C. persicifolia* и *C. carpatica* оценивали окраску цветка (до 20 баллов), размер цветка (до 10), форму цветка (до 5), длину и прочность цветоноса (до 5), соцветие (до 10), обилие цветения (до 10), длительность цветения (до 10), декоративность вегетативной части (до 5), оригинальность (до 5), состояние растений (до 5). Лучшими считаются виды, набравшие не менее 85 баллов. Таким образом, максимальное количество баллов набрали *C. persicifolia* (90 баллов) и *C. carpatica* (95 баллов) при обработке ЛГ (табл. 6).

Таким образом, выявлено, что у *C. persicifolia* при ЛГ наблюдается положительное воздействие на такие декоративные признаки, как обилие цветения и плотность соцветия; у *C. carpatica* – размер цветка и соцветия, обилие и длительность цветения.

Из декоративных признаков по 100-балльной шкале у *Ph. paniculata* оценивались окраска цветка (до 20 баллов), размер цветка (до 5), форма цветка (до 5), соцветие (до 10), аромат (до 5), обилие цветения (до 10), длительность цветения (до 5), устойчивость цветков к неблагоприятным условиям (до 10), куст (до 10), оригинальность (до 15), состояние растений (до 5). Лучшими считаются виды, набравшие не менее 90 баллов (таблица 7). Максимальное количество баллов набрали флоксы при ЛГ (93 балла).

Таблица 3  
Площадь горизонтальной проекции цветочного пятна *Campanula persicifolia*

Варианты опыта	Высота соцветия, см	C <sub>v</sub> %	Плотность соцветия, шт/см	Число одновременно цветущих цветков на побег, шт.	Площадь горизонт. проекции одного цветка, м <sup>2</sup>	Площадь горизонт. проекции цветочного пятна на побег, м <sup>2</sup>
Контроль	34,8 ± 2,01	8,2	0,29	10,0 ± 3,61	0,0009	0,009
Лигногумат	26,3 ± 0,88	5,8	0,46	12,0 ± 3,61	0,0008	0,009

Table 3  
The area of the horizontal projection of the color spot of *Campanula persicifolia*

Experience option	Inflorescence height, cm	C <sub>v</sub> %	Inflorescence density, pcs/cm	The number of simultaneously blooming flowers per shoot, pcs.	Horizon square. projections of one flower, m <sup>2</sup>	Horizon square. projections of the color spot on the shoot, m <sup>2</sup>
Control	34.8 ± 2.01	8.2	0.29	10.0 ± 3.61	0.0009	0.009
Lignogumat	26.3 ± 0.88	5.8	0.46	12.0 ± 3.61	0.0008	0.009

Таблица 4  
Площадь горизонтальной проекции цветочного пятна *Campanula carpatica*

Вариант опыта	Число одновременно цветущих цветков на побег, шт.	Площадь горизонтальной проекции одного цветка, м <sup>2</sup>	Площадь горизонтальной проекции цветочного пятна на куст, м <sup>2</sup>
Контроль	1,3 ± 0,33	0,0008	0,0011
Лигногумат	3,0 ± 0,58	0,0010	0,0029

Table 4  
The area of the horizontal projection of the color spot of *Campanula carpatica*

Experience option	The number of simultaneously blooming flowers per shoot, pcs.	Horizon square. projections of one flower, m <sup>2</sup>	Horizon square. projections of a color spot on a bush, m <sup>2</sup>
Control	1.3 ± 0.33	0.0008	0.0011
Lignogumat	3.0 ± 0.58	0.0010	0.0029

Таблица 5  
Площадь горизонтальной проекции цветочного пятна *Phlox paniculata*

Вариант опыта	Высота соцветия, см	C <sub>v</sub> %	Диаметр соцветия, см	C <sub>v</sub> %	Плотность соцветия, шт./см	Число одновременно цветущих соцветий, шт.	C <sub>v</sub> %	Площадь горизонтальной проекции одного соцветия, м <sup>2</sup>	Площадь горизонтальной проекции цветочного пятна на куст, м <sup>2</sup>
Контроль	13,3 ± 1,86	24,1	13,8 ± 2,32	29,0	6,4	4,7 ± 0,67	24,7	0,015	0,070
Лигногумат	14,0 ± 2,31	28,6	13,7 ± 0,88	11,2	7,1	7,3 ± 0,67	15,7	0,015	0,108

Table 5  
The area of the horizontal projection of the color spot *Phlox paniculata*

Experience option	Inflorescence height, cm	C <sub>v</sub> %	Inflorescence diameter, cm	C <sub>v</sub> %	Inflorescence density, pcs/cm	The number of simultaneously blooming inflorescences, pcs.	C <sub>v</sub> %	Horizon square. projections of one inflorescence, m <sup>2</sup>	Horizon square. projections of a color spot on a bush, m <sup>2</sup>
Control	13.3 ± 1.86	24.1	13.8 ± 2.32	29.0	6.4	4.7 ± 0.67	24.7	0.015	0.070
Lignogumat	14.0 ± 2.31	28.6	13.7 ± 0.88	11.2	7.1	7.3 ± 0.67	15.7	0.015	0.108

Таблица 6

## Оценка декоративных качеств объектов исследований (в баллах)

Вариант опыта	Окраска цветка	Размер цветка	Форма цветка	Цветонос	Соцветие	Аромат	Обилие цветения	Длительность цветения	Устойчивость цветков к неблагоприятным условиям	Куст	Оригинальность	Состояние растений	Итого
<i>Campanula persicifolia</i>													
Контроль	20	7	5	5	8	3	8	10	10	4	4	5	89
Лигногумат	20	6	5	5	10	3	10	9	10	4	4	4	90
<i>Campanula carpatica</i>													
Контроль	20	8	5	5	9	3	9	8	10	5	5	4	91
Лигногумат	20	9	5	5	10	3	10	9	10	5	5	4	95

Table 6

## Assessment of decorative qualities (in points)

Experience option	Flower coloring	Flower Size	Flower Shape	Peduncle	Inflorescence	Smell	Abundance of flowering	Duration of flowering	Resistance of flowers to unfavorable conditions	Bush	Originality	Plant condition	Total
<i>Campanula persicifolia</i>													
Control	20	7	5	5	8	3	8	10	10	4	4	5	89
Lignogumat	20	6	5	5	10	3	10	9	10	4	4	4	90
<i>Campanula carpatica</i>													
Control	20	8	5	5	9	3	9	8	10	5	5	4	91
Lignogumat	20	9	5	5	10	3	10	9	10	5	5	4	95

Таблица 7

Оценка декоративных качеств *Phlox paniculata* (в баллах)

Вариант опыта	Окраска цветка	Размер цветка	Форма цветка	Соцветие	Аромат	Обилие цветения	Длительность цветения	Устойчивость цветков к неблагоприятным условиям	Куст	Оригинальность	Состояние растений	Итого
Контроль	20	5	5	7	5	6	4	8	10	12	4	86
Лигногумат	20	5	5	8	5	9	5	8	10	12	4	91

Table 7

Assessment of decorative qualities of *Phlox paniculata* (in points)

Experience option	Flower coloring	Flower Size	Flower Shape	Inflorescence	Smell	Abundance of flowering	Duration of flowering	Resistance of flowers to unfavorable conditions	Bush	Originality	Plant condition	Total
Control	20	5	5	7	5	6	4	8	10	12	4	86
Lignogumat	20	5	5	8	5	9	5	8	10	12	4	91

Таким образом, выявлено, что у *Ph. paniculata* ЛГ положительно воздействовал на такие декоративные признаки, как соцветие, обилие и длительность цветения.

Полученные результаты показали эффективность применения регулятора роста «Лигногумат» для повышения декоративности *Ph. paniculata*, *C. persicifolia* и *C. carpatica*. Полученные данные согласуются с результатами других исследователей, которые изучали влияние физиологически активных веществ на рост, развитие и урожайность душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.) [18, с. 4].

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, выявлено, что влияние «Лигногумата» на фенологические фазы видоспецифично. Анализ динамики роста показал, что фертигация растений ЛГ ингибировала прирост растений в сутки.

При оценки декоративных качеств по 100-балльной шкале у *C. persicifolia* выявлено, что ЛГ эф-

фективен для таких декоративных признаков, как количество листьев, обилие цветения и плотность соцветия; у *C. carpatica* – размер цветка и соцветия, обилие и длительность цветения; также способствует увеличению площади горизонтальной проекции цветочного пятна на куст в 2,6 раза; у *Ph. paniculata* – размеры соцветия, обилие и длительность цветения. Также ЛГ способствовал увеличению площади горизонтальной проекции цветочного пятна на куст в 1,5 раза, тем самым повышая декоративные качества флокса.

#### Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Биоразнообразие природных систем и растительные ресурсы России: оценка состояния и мониторинг динамики, проблемы сохранения, воспроизводства, увеличения и рационального использования» и в рамках государственного задания ЮУБСИ УФИЦ РАН по теме № 122033100041-9.

#### Библиографический список

1. Газданова И. О., Гериева Ф. Т., Моргоев Т. А. Эффективность применения биостимуляторов «Эпин-экстра» и «Циркон» на посадках картофеля в агроэкологических условиях РСО-Алания // Аграрный вестник Урала. 2020. № 8 (199). С. 2–8. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-199-8-2-8.
2. Polyakov V. I., Chegodaeva N. A., Abakumov E. V. Molecular and elemental composition of humic acids isolated from selected soils of the Russian Arctic // Tomsk State University Journal of Biology. 2019. No. 47. Pp. 6–21. DOI: 10.17223/19988591/47/1.
3. Федотов Г. Н., Федотова М. Ф., Шалаев В. С., Батырев Ю. П., Демин В. В. Уточнение представлений о механизме биологической активности гуминовых препаратов // Лесной вестник. 2018. Т. 22. № 1. С. 36–42. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-36-42.
4. Смольникова Я. В., Величко Н. А., Бопп В. Л. и др. Влияние обработки препаратами, содержащими гуминовые кислоты, на масличность и жирнокислотный состав семян *Brassica napus* L. // Химия растительного сырья. 2021. № 1. С. 191–196. DOI: 10.14258/jcprm.2021018894.
5. Симонович Е. И. Применение биологических активизаторов почвенного плодородия под различными культурами // Актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства: теория и практика: Материалы Третьей Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) и I Всероссийской конференции молодых ученых АПК. Ростов-на-Дону – Рассвет, 2019. С. 130–133.
6. Захаренко К. А., Казюлин Л. Ф. Действие гуминового удобрения «Лигногумат АМ» на агрохимическое состояние чернозема Красноярской лесостепи // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых. Красноярск, 2020. С. 38–41.
7. Братишко К. А., Зыкова М. В., Иванов В. В. [и др.] Гуминовые кислоты торфа – перспективные биологически активные вещества с антиоксидантной активностью для разработки протекторных средств // Химия растительного сырья. 2021. № 1. С. 287–298. DOI: 10.14258/jcprm.2021018784.
8. Луценко И. О. Влияние лигногумата на урожайность подсолнечника // Энтузиасты аграрной науки: Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященная 100-летию со дня рождения ученых агрохимиков Коренькова Дмитрия Александровича и Тонконоженко Евгения Васильевича. Краснодар, 2020. С. 136–139.
9. Абрамова Л. М., Анищенко И. Е., Вафин Р. В., Голованов Я. М., Жигунов О. Ю., Зарипова А. А., Кашаева Г. Г., Лебедева М. В., Полякова Н. В., Реут А. А., Шигапов З. Х. Растения Южно-Уральского ботанического сада-института УФИЦ РАН. Уфа: Мир печати, 2019. 304 с.
10. Белоусова Н. Л. Опыт экспонирования декоративных растений природной флоры в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси // Hortus bot. 2022. Т. 17. С. 228–235. DOI: 10.15393/j4.art.2022.7865.
11. Аллярова И. Н., Реут А. А. Биологические особенности редкого вида *Campanula carpatica* Jacq. в условиях культуры // Аграрная Россия. 2019. № 1. С. 42–48. DOI 10.30906/1999-5636-2019-1-42-48.



12. Васильева О. Ю., Вышегуров С. Х. Использование цифровой фенотеки травянистых растений в декоративном растениеводстве // Аграрный вестник Урала. 2022. № 4 (219). С. 37–47. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-219-04-37-47.
13. Реут А. А., Аллаярова И. Н., Биглова А. Р. Изучение биоэкологических особенностей редких и мало-распространенных видов рода *Fritillaria* (Liliaceae) в лесостепной зоне Южного Урала // Вестник ИрГСХА. 2022. № 111. С. 130–141.
14. Богослов А. В., Кашин А. С., Пархоменко А. С., Куликова Л. В., Шилова И. В., Князева А. К. Виталитетная структура популяций *Colchicum bulbocodium* subsp. *Versicolor* (Colchicaceae, Liliopsida) в условиях Нижнего Поволжья // Поволжский экологический журнал. 2021. № 2. С. 127–145. DOI: 10.35885/1684-7318-2021-2-127-145.
15. Асташина С. И., Семизельникова О. А. Методика изучения декоративных признаков травянистых культур в условиях Курганской области // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник статей по материалам V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курган, 2021. С. 332–337.
16. Реут А. А., Бекшенева Л. Ф. Интродукция карликовых бородатых ирисов в Южно-Уральском ботаническом саду-институте // Садоводство и виноградарство. 2019. № 1. С. 29–35. DOI: 10.31676/0235-2591-2019-1-29-35.
17. Бойко В. А., Левченко С. В., Белаш Д. Ю. Разработка системы применения препарата «Лигногумат» и оценка её влияния на показатели продуктивности и качества винограда и плодовых культур // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2019. Т. 21. № 1 (107). С. 31–35.
18. Абрамчук А. В., Карпухин М. Ю., Сапарклычева С. Е. Влияние физиологически активных веществ на эффективность возделывания душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.) // Аграрный вестник Урала. 2018. № 8 (175). С. 4–9.

#### Об авторах:

Антонина Анатольевна Реут<sup>1</sup>, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-4809-6449, AuthorID 625318; +7 917 465-18-89, [cvetok.79@mail.ru](mailto:cvetok.79@mail.ru)

Ирина Нагимовна Аллаярова<sup>1</sup>, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-4575-7301, AuthorID 908455; +7 937 317-86-78, [AllayarovaIrina@yandex.ru](mailto:AllayarovaIrina@yandex.ru)

Айгуль Радиковна Биглова<sup>1</sup>, инженер I категории лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-5729-8261, AuthorID 961279; +7 987 146-81-86, [ajgul.biglova@mail.ru](mailto:ajgul.biglova@mail.ru)

<sup>1</sup> Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

## Influence of a growth stimulator on the biological and morphological parameters of perennial herbaceous plants

A. A. Reut<sup>1</sup>✉, I. N. Allayarova<sup>1</sup>, A. R. Biglova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> South-Ural Botanical Garden-Institute of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

✉E-mail: [cvetok.79@mail.ru](mailto:cvetok.79@mail.ru)

**Abstract. Purpose** is to study the effectiveness of the “Lignogumat” drug on the growth, development and decorative qualities of some flower and ornamental crops (*Campanula persicifolia* L., *C. carpatica* Jacq., *Phlox paniculata* L.) in the forest-steppe zone of the Bashkir Cis-Ural. **Methods.** Observations of the seasonal rhythm of plant development were carried out according to the method of phenological observations in botanical gardens, the assessment of ornamental features was carried out according to the generally accepted method of state variety testing of ornamental crops. **Scientific novelty.** For the first time in the conditions of the Bashkir Cis-Ural, the influence of the growth stimulator “Lignogumat” on the decorative qualities of some types of flower crops of the collection of the SUBGI UFRC RAS was studied. **Results.** The features of phenology, growth, as well as the decorative qualities of plants during fertigation with a growth regulator are analyzed. When evaluating decorativeness on a 100-point scale in *C. persicifolia*, it was found that “Lignogumat” is effective for such decorative features as

the number of leaves, the abundance of flowering and the density of the inflorescence; there is also a reduction in the duration of the period from regrowth to flowering by 5 days. In *C. carpatica*, such morphometric parameters as flower and inflorescence size, abundance and duration of flowering have improved; also, the drug helps to increase the area of the horizontal projection of the color spot on the bush by 2.6 times compared to the control. *Ph. paniculata* “Lignogumat” is effective for such decorative features as the size of the inflorescence, the abundance and duration of flowering, also during fertigation, the area of the horizontal projection of the color spot on the bush increased by 1.5 times, thereby increasing the decorative qualities of the phlox.

**Keywords:** *Campanula persicifolia* L., *C. carpatica* Jacq., *Phlox paniculata* L., “Lignogumat”, decorative qualities, Bashkir Urals.

**For citation:** Reut A. A., Allayarova I. N., Biglova A. R. Vliyanie stimulyatora rosta na biologo-morfologicheskie parametry mnogoletnikh travyanistykh rasteniy [Influence of a growth stimulator on the biological and morphological parameters of perennial herbaceous plants] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 06 (235). Pp. 87–97. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-87-97. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 27.01.2023, **date of review:** 02.03.2023, **date of acceptance:** 13.03.2023.

### References

1. Gazdanova I. O., Geriyeva F. T., Morgoyev T. A. Effektivnost' primeneniya biostimulyatorov “Epin-ekstra” i “Tsirkon” na posadkakh kartofelya v agroekologicheskikh usloviyakh RSO-Alaniya [The effectiveness of the use of biostimulants “Epin-extra” and “Zircon” on potato plantations in agro-ecological conditions of North Ossetia-Alania] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 8 (199). Pp. 2–8. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-199-8-2-8. (In Russian.)
2. Polyakov V. I., Chegodaeva N. A., Abakumov E. V. Molecular and elemental composition of humic acids isolated from selected soils of the Russian Arctic // Tomsk State University Journal of Biology. 2019. No 47. Pp. 6–21. DOI: 10.17223/19988591/47/1. (In English.)
3. Fedotov G. N., Fedotova M. F., Shalayev V. S., Batyrev Yu. P., Demin V. V. Utochneniye predstavleniy o mekhanizme biologicheskoy aktivnosti guminovykh preparatov [Refinement of ideas about the mechanism of biological activity of humic preparations] // Forestry Bulletin. 2018. Vol. 22. No. 1. Pp. 36–42. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-36-42. (In Russian.)
4. Smol'nikova Ya. V., Velichko N. A., Bopp V. L. et al. Vliyanie obrabotki preparatami, sodержashchimi guminovye kisloty, na maslichnost' i zhirmokislennyi sostav semyan *Brassica napus* L. [Effect of treatment with preparations containing humic acids on the oil content and fatty acid composition of *Brassica napus* L.] // Chemistry of plant raw material. 2021. No. 1. Pp. 191–196. DOI: 10.14258/jcprm.2021018894. (In Russian.)
5. Simonovich E. I. Primeneniye biologicheskikh aktivizatorov pochvennogo plodorodiya pod razlichnymi kul'turami [The use of biological activators of soil fertility under various crops] // Aktual'n'yye voprosy razvitiya otrasley sel'skogo khozyaystva: teoriya i praktika: Materialy Tret'yey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiyem) i I Vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh APK. Rostov-on-Don – Rassvet, 2019. Pp. 130–133. (In Russian.)
6. Zakharenko K. A., Kazyulin L. F. Deystviye guminovogo udobreniya “Lignogumat AM” na agrokhimicheskoye sostoyaniye chernozema Krasnoyarskoy lesostepi [The effect of humic fertilizer “Lignohumate AM” on the agrochemical state of the chernozem of the Krasnoyarsk forest-steppe] // Innovatsionnyye tendentsii razvitiya Rossiyskoy nauki: Materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. Krasnoyarsk, 2020. Pp. 38–41. (In Russian.)
7. Bratishko K. A., Zykova M. V., Ivanov V. V. et al. Guminovye kisloty torfa – perspektivnye biologicheski aktivnye veshchestva s antioksidantnoy aktivnost'yu dlja razrabotki protektonnykh sredstv [Peat humic acids-prospective biologically active substances with antioxidant activity for the development of protective agents] // Chemistry of plant raw material. 2021. No. 1. Pp. 287–298. DOI: 10.14258/jcprm.2021018784. (In Russian.)
8. Lutsenko I. O. Vliyaniye lignogumuta na urozhaynost' podsolnechnika [Effect of lignohumut on sunflower yield] // Entuziasty agrarnoy nauki: Sbornik statey po materialam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennaya 100-letiyu so dnya rozhdeniya uchenykh agrokhimikov Koren'kova Dmitriya Aleksandrovicha i Tonkonozhenko Evgeniya Vasil'yevicha. Krasnodar, 2020. Pp. 136–139. (In Russian.)
9. Abramova L. M., Anishchenko I. E., Vafin R. V., Golovanov Ya. M., Zhigunov O. Yu., Zaripova A. A., Kashayeva G. G., Lebedeva M. V., Polyakova N. V., Reut A. A., Shigapov Z. Kh. Rasteniya Yuzhno-Ural'skogo botanicheskogo sada-instituta UFITS RAN [Plants of the South-Ural Botanical Garden-Institute of the Ural Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences]. Ufa: Mir pechati, 2019. 304 p. (In Russian.)

10. Belousova N. L. Opyt eksponirovaniya dekorativnykh rasteniy prirodnoy flory v Tsentral'nom botanicheskom sadu NAN Belarusi [The experience of exhibiting ornamental plants of native flora in the Central Botanical Garden of the NAS of Belarus] // Hortus bot. 2022. Vol. 17. Pp. 228–235. DOI: 10.15393/j4.art.2022.7865. (In Russian.)
11. Allayarova I. N., Reut A. A. Biologicheskie osobennosti redkogo vida *Campanula carpatica* Jacg. v usloviyakh kul'tury [Biological features of rare species *Campanula carpatica* Jacg. under the conditions of culture] // Agrarian Russia. 2019. No. 1. Pp. 42–48. DOI: 10.30906/1999-5636-2019-1-42-48. (In Russian.)
12. Vasil'eva O. Yu., Vyshegurov S. Kh. Ispol'zovanie tsifrovoy fenoteki travyanistykh rasteniy v dekorativnom rastenievodstve [The use of a digital phenological library of herbaceous plants in ornamental plant growing] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 4 (219). Pp. 37–47. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-219-04-37-47. (In Russian.)
13. Reut A. A., Allayarova I. N., Biglova A. R. Izucheniye bioekologicheskikh osobennostey redkikh i malorasprostranennykh vidov roda *Fritillaria* (Liliaceae) v lesostepnoy zone Yuzhnogo Urala [The study of bioecological features of rare and rare species of the genus *Fritillaria* (Liliaceae) in the forest-steppe zone of the Southern Urals] // Vestnik IrGSKHA. 2022. No. 111. Pp. 130–141. (In Russian.)
14. Bogoslov A. V., Kashin A. S., Parkhomenko A. S., Kulikova L. V., Shilova I. V., Knyazeva A. K. Vitalitetnaya struktura populyatsiy *Colchicum bulbocodium subsp. versicolor* (Colchicaceae, Liliopsida) v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya [The vitality structure of populations of *Colchicum bulbocodium subsp. versicolor* (Colchicaceae, Liliopsida) in the Lower Volga region] // Povolzhskiy Journal of Ecology. 2021. No. 2. Pp. 127–145. DOI: 10.35885/1684-7318-2021-2-127-145. (In Russian.)
15. Astashina S. I., Semizel'nikova O. A. Metodika izucheniya dekorativnykh priznakov travyanistykh kul'tur v usloviyakh Kurganskoj oblasti [Methodology for studying the decorative features of herbaceous crops in the conditions of the Kurgan region] // Aktual'n-yye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya: sbornik statey po materialam V Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. Kurgan, 2021. Pp. 332–337. (In Russian.)
16. Reut A. A., Beksheneva L. F. Introduktsiya karlikovykh borodatykh irisov v Yuzhno-Ural'skom botanicheskom sadu-institute [Introduction of dwarf bearded irises in the South Ural Botanical Garden-Institute] // Horticulture and viticulture. 2019. No. 1. Pp. 29–35. DOI: 10.31676/0235-2591-2019-1-29-35. (In Russian.)
17. Boyko V. A., Levchenko S. V., Belash D. Yu. Razrabotka sistemy primeneniya preparata “Lignogumat” i otsenka ee vliyaniya na pokazateli produktivnosti i kachestva vinograda i plodovykh kul'tur [Development of a system for application of “Lignohumate” preparation, and its impact assessment on productivity and quality indices of grapes and fruit crops] // Magarach. Viticulture and winemaking. 2019. Vol. 21. No. 1 (107). Pp. 31–35. (In Russian.)
18. Abramchuk A. V., Karpukhin M. Yu., Saparklycheva S. E. Vliyaniye fiziologicheskii aktivnykh veshchestv na effektivnost' vzdelyvaniya dushitsy obyknovennoy (*Origanum vulgare* L.) [Influence of physiologically active substances on the efficiency of cultivation of oregano (*Origanum vulgare* L.)] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2018. No. 8 (175). Pp. 1–4.

#### Authors' information:

Antonina A. Reut<sup>1</sup>, candidate of biological sciences, leading researcher, head of the laboratory of introduction and selection of flower plants, ORCID 0000-0002-4809-6449, AuthorID 625318; +7 917 465-18-89, [cvetok.79@mail.ru](mailto:cvetok.79@mail.ru)

Irina N. Allayarova<sup>1</sup>, candidate of biological sciences, junior researcher at the laboratory of introduction and selection of flower plants, ORCID 0000-0002-4575-7301, AuthorID 908455; +7 937 317-86-78, [AllayarowaIrina@yandex.ru](mailto:AllayarowaIrina@yandex.ru)

Aygul R. Biglova<sup>1</sup>, junior researcher at the laboratory of introduction and selection of flower plants, ORCID 0000-0002-5729-8261, AuthorID 961279; +7 987 146-81-86, [ajgul.biglova@mail.ru](mailto:ajgul.biglova@mail.ru)

<sup>1</sup> South-Ural Botanical Garden-Institute of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

## Дифференциация этапов трансформации в сельском хозяйстве

Л. Б. Винничек<sup>1</sup>, Н. Л. Смелик<sup>1✉</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург – Пушкин, Россия

✉ E-mail: smeliknl@mail.ru

**Аннотация.** *Цель* – исследование параметров этапов трансформации капиталовложений в сельское хозяйство Российской Федерации. *Методы.* На основе данных Росстата составлены временные ряды показателей сельского хозяйства России за 1995–2021 гг. и рассчитаны цепные темпы роста. Проведена периодизация длинных динамических рядов инвестиций в основной капитал сельского хозяйства Российской Федерации на основе преобладания собственных и привлеченных средств организаций (1995–2005 гг. – преобладание собственных средств, 2006–2013 гг. – преобладание привлеченных средств, 2014–2021 гг. – преобладание собственных средств). В рамках каждого этапа рассчитаны и проанализированы средние темпы роста; определены параметры трансформации. *Результаты.* Исходя из цепной динамики показателей сельского хозяйства России, на основе научно обоснованных подходов и экспертных оценок выявлены критерий и параметры трансформации в сельском хозяйстве. Критерием трансформации в сельском хозяйстве выступает смена преобладающей доли собственных или привлеченных средств в финансовой структуре капиталовложений. Выделены три этапа трансформации. На этапе преобладания привлеченных средств средний темп увеличивался для посевных площадей зерновых и зернобобовых культур, валового сбора сахарной свеклы, семян подсолнечника, картофеля, а также поголовья свиней, овец и коз, производства скота и птицы на убой (в убойном весе), яиц и шерсти. Эффективность трансформации оценивается средним темпом урожайности зерновых и зернобобовых культур, сахарной свеклы, семян подсолнечника и картофеля. Коэффициент эластичности для ряда показателей также может использоваться как параметр трансформации. **Научная новизна** заключается в новом методическом подходе для периодизации трансформации капиталовложений в сельском хозяйстве на основе предложенного критерия для выявления параметров.

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, трансформация, финансовая структура капиталовложений, критерий, этапы, параметры, средний темп роста, эффекты.

**Для цитирования:** Винничек Л. Б., Смелик Н. Л. Дифференциация этапов трансформации в сельском хозяйстве // Аграрный вестник Урала. 2023. № 06 (235). С. 98–110. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-98-110.

**Дата поступления статьи:** 06.01.2023, **дата рецензирования:** 06.04.2023, **дата принятия:** 12.04.2023.

### Постановка проблемы (Introduction)

Важными аспектами исследования трансформации являются объем понятия и количественные критерии этого процесса. В содержание трансформации включаются технологические, ресурсные, организационно-поведенческие, институциональные структурные сдвиги [1; 2]. Трансформация рассматривается как процесс перехода к доминированию рыночных начал [3].

К процессам, посредством которых реализуется трансформация, относятся интеграция (моделей бизнеса), персонализация (взаимодействий продавцов и покупателей), реализация способности человека к труду [4; 5].

В понятие цифровой трансформации также включаются различные изменения структуры экономики, конкурентоспособности, эффекты от цифровизации, тип экономики, траектория роста после пандемии и др. [6–8].

Глобальная трансформация определяется как процесс смены укладов (технологических и мирохозяйственных) [9].

К структурной трансформации относят изменения структуры (секторов экономики) с учетом географических направлений (экспорта) [10]. Структурная трансформация также фрагментируется в некоторых работах. Так, J. Y. Lin и H. Hing рассматривают эндогенные структурные трансформации в

рыночных механизмах на основе социального планирования в статических, динамических и структурных моделях [11]. Отдельный период (с марта 2022 г.) определяется как трансформационный структурный кризис [12].

Проблема измерения трансформации связывается с изменением уровня, темпа, индекса. Так, P. Bustos, J. M. C. Vincenzi, J. M. C. Monras and J. Ponticelli в эндогенных моделях структурной трансформации в сельском хозяйстве использовали показатель эластичности (относительного спроса на высококвалифицированных и низкоквалифицированных рабочих) [13]. Для оценки прогресса в трансформации используется модифицированный индекс экономической сложности с применением А. В. Мартынов выделяет координацию снижения темпа экономического роста Китая и сдвига от экспорта и инвестиций к потреблению и повышению качества жизни [14]. В анализе цифровой трансформации учитывается появление новых элементов качества жизни, изменение темпа роста Российского регионального индекса цифровой составляющей жизни населения (РРИЦКЖН), коэффициентов эластичности (реального душевого ВРП по индексу РРИЦКЖН) [15].

Важной проблемой является выделение внешних факторов и их влияния на процессы трансформации в сельском хозяйстве. К макроэкономическим факторам трансформации сельского хозяйства относятся уровень и структура инвестиций в основной капитал [16]. Кроме того, остается в недостаточной степени разработанным вопрос использования фактора долгосрочного характера как критерия периодизации процесса трансформации в сельском хозяйстве. Цель данного исследования состоит в выявлении параметров этапов трансформации капиталовложений в сельское хозяйство РФ. Задачи исследования включают в себя выявление периодизации трансформации в структуре инвестиций в основной капитал сельского хозяйства по источникам финансирования; расчет средних темпов роста экономических показателей и коэффициентов эластичности для каждого этапа; выделение на их основе параметров трансформации; определение направлений государственного регулирования.

#### **Методология и методы исследования (Methods)**

На основе данных Росстата составлены *временные* ряды инвестиций в основной капитал сельского хозяйства Российской Федерации по источникам финансирования и показателей сельского хозяйства за период 1995–2021 гг. Авторы в качестве критерия трансформации использовали смену преобладающей доли собственных или привлеченных средств организаций в финансовой структуре капиталовложений в сельское хозяйство, что позволило выделить качественно различные периоды, в рамках ко-

торых возможно установление тенденций параметров. В динамических рядах были рассчитаны цепные темпы роста экономических показателей сельского хозяйства и средние темпы роста для каждого этапа трансформации. Коэффициент эластичности рассчитан как отношение относительных приростов показателей в абсолютном выражении.

#### **Результаты (Results)**

На основе данных Росстата за исследуемый период в трансформации капиталовложений в сельское хозяйство Российской Федерации выделяются два этапа (1995–2005 гг. и 2014–2021 гг.) с преобладанием собственных средств и один этап – с преобладанием привлеченных средств организаций (2006–2013 гг.). Известно, что в период 2014–2021 гг. были введены экономические санкции, что привело к сокращению внешнего заимствования.

Для разных этапов трансформации выделяются несколько параметров, которые объединены в четыре группы – с тенденцией снижения (1-я), роста среднего темпа показателей за весь период наблюдений (2-я), наибольшего (3-я) и наименьшего (4-я) среднего темпа на втором этапе трансформации (преобладания привлеченных средств). Показатели растениеводства по этапам трансформации капиталовложений представлены в таблице 1.

Первая группа показателей включает в себя устойчивую по всем этапам трансформации тенденцию снижения среднего темпа роста для продукции сельского хозяйства и растениеводства, а также валового сбора зерна, льноволокна и посевных площадей овощей.

Вторая группа показателей представлена стабильной тенденцией роста среднего темпа. Так, для посевных площадей всех сельскохозяйственных культур и валового сбора плодов и ягод имеет место рост среднего темпа на протяжении всего динамического ряда. Таким образом, показатели первой и второй групп не могут использоваться в качестве параметров рассматриваемой трансформации.

В третью группу показателей включены наибольшие значения средних темпов в период преобладания привлеченных средств для таких показателей, как посевные площади зерновых и зернобобовых культур (100,66 %), сахарной свеклы (103,61 %), подсолнечника (105,78 %), картофеля (96,42 %). В эту же группу входит и средний темп роста валового сбора сахарной свеклы (113,74 %), семян подсолнечника (109,88 %), картофеля (105,96 %) и овощей (103,70 %).

При этом наименьшие значения среднего темпа для перечисленных показателей данной группы на обоих этапах преобладания собственных средств позволяют оценить их как параметры рассматриваемой трансформации.

Таблица 1

Средние темпы роста показателей растениеводства по этапам трансформации в капиталовложениях сельского хозяйства в хозяйствах всех категорий, %

Экономика

№ Группы	Показатель	Этапы трансформации		
		1995–2005 гг.	2006–2013 гг.	2014–2021 гг.
1	Продукция сельского хозяйства	123,56	113,51	109,82
	Продукция растениеводства	123,77	115,36	111,42
	Валовой сбор зерна (в весе после доработки)	111,14	109,15	102,75
	Валовой сбор льноволокна	108,17	98,47	96,21
	Посевные площади овощей	98,65	98,63	98,29
2	Посевные площади всех сельскохозяйственных культур	97,04	100,38	100,38
	Валовой сбор плодов и ягод	102,19	102,90	105,31
3	Посевные площади зерновых и зернобобовых культур	97,91	100,66	100,33
	Посевные площади сахарной свеклы	97,40	103,61	101,79
	Посевные площади подсолнечника	104,52	105,78	103,88
	Посевные площади картофеля	96,39	96,42	95,33
	Валовой сбор сахарной свеклы	102,65	113,74	103,57
	Валовой сбор семян подсолнечника	107,83	109,88	106,97
	Валовой сбор картофеля	97,04	105,96	94,24
	Валовой сбор овощей	100,48	103,70	99,07
4	Посевные площади льна-долгунца	94,76	93,98	96,54

Источник: рассчитано авторами по данным Росстата.

Table 1

Average growth rates of crop production indicators by stages of transformation in agricultural investments in farms of all categories, %

Group No.	Indicator	Stages of transformation		
		1995–2005 гг.	2006–2013 гг.	2014–2021 гг.
1	Agricultural products	123.56	113.51	109.82
	Crop production	123.77	115.36	111.42
	Gross grain harvest (in weight after completion)	111.14	109.15	102.75
	Gross flax fiber harvest	108.17	98.47	96.21
	Acreage of vegetables	98.65	98.63	98.29
2	Acreage of all agricultural crops	97.04	100.38	100.38
	Gross harvest of fruits and berries	102.19	102.90	105.31
3	Acreage of grain and leguminous crops	97.91	100.66	100.33
	Acreage of sugar beet	97.40	103.61	101.79
	Sunflower acreage	104.52	105.78	103.88
	Potato acreage	96.39	96.42	95.33
	Gross sugar beet harvest	102.65	113.74	103.57
	Gross harvest of sunflower seeds	107.83	109.88	106.97
	Gross potato harvest	97.04	105.96	94.24
	Gross harvest of vegetables	100.48	103.70	99.07
4	Acreage of flax	94.76	93.98	96.54

Source: calculated by the authors according to Rosstat data.

Четвертая группа показателей включает в себя наименьшие значения в период преобладания привлеченных средств для такого показателя, как посевные площади льна-долгунца (93,98 %) и одновременно наибольшие значения в период преобладания собственных средств (соответственно 94, % и 96,54 %). Следовательно, средний темп посевных площадей льна-долгунца может рассматриваться как параметр трансформации.

Показатели производства животноводческой отрасли также скомпонованы в три группы (таблица 2). Первая группа показателей с устойчивой тенденцией снижения среднего темпа включает в себя продукцию животноводства в хозяйствах всех категорий.

## Средние темпы роста показателей животноводства по этапам трансформации в капиталовложениях сельского хозяйства в хозяйствах всех категорий, %

№ Группы	Показатель	Этапы трансформации		
		1995–2005 гг.	2006–2013 гг.	2014–2021 гг.
1	Продукция животноводства	123,75	112,19	108,01
2	Поголовье крупного рогатого скота	94,19	98,58	98,91
	Производство молока	97,76	99,78	100,74
3	Поголовье свиней	95,56	104,23	104,12
	Поголовье овец и коз	96,50	103,37	98,28
	Производство скота и птицы на убой (в убойном весе)	98,66	106,96	103,62
	Производство яиц	100,97	101,36	101,06
	Производство шерсти	94,43	101,41	98,50

Источник: рассчитано авторами по данным Росстата.

Table 2

## Average growth rates of livestock indicators by stages of transformation in agricultural investments in farms of all categories, %

Group No.	Indicator	Stages of transformation		
		1995–2005 гг.	2006–2013 гг.	2014–2021 гг.
1	Livestock products	123.75	112.19	108.01
2	Number of cattle	94.19	98.58	98.91
	Milk production	97.76	99.78	100.74
3	Number of pigs	95.56	104.23	104.12
	Number of sheep and goats	96.50	103.37	98.28
	Production of livestock and poultry for slaughter (in slaughter weight)	98.66	106.96	103.62
	Egg production	100.97	101.36	101.06
	Wool production	94.43	101.41	98.50

Source: calculated by the authors according to Rosstat data.

Вторая группа представлена стабильным ростом среднего темпа по поголовью крупного рогатого скота и производству молока в хозяйствах всех категорий.

Третья группа представляет наибольший интерес, поскольку включает в себя показатели с наибольшим средним темпом в период преобладания привлеченных средств – поголовье свиней, овец и коз, а также производство скота и птицы на убой (в убойном весе), яиц и шерсти в хозяйствах всех категорий.

Следовательно, в качестве параметров трансформации капиталовложений может использоваться средний темп роста поголовья свиней, овец и коз, а также производство скота и птицы на убой (в убойном весе), яиц и шерсти, которое возрастает в период преобладания привлеченных средств.

Эффекты трансформации в сельском хозяйстве представлены двумя группами показателей урожайности (таблица 3).

Одна группа характеризуется стабильным снижением среднего темпа на протяжении всего динамического ряда и включает в себя урожайность льна-долгунца, что не позволяет считать его параметром трансформации.

Другая группа включает в себя наибольшее значение среднего темпа на этапе преобладания привлеченных средств в капиталовложениях сельского хозяйства для урожайности зерновых и зернобобовых культур (103,43 %), сахарной свеклы (108,50 %), подсолнечника (104,57 %), овощей (103,14 %) и картофеля (103,76 %), что согласуется с наибольшими значениями в этот период посевных площадей перечисленных культур и их валового сбора, за исключением зерновых и зернобобовых культур. Таким образом, эффективность трансформации в сельском хозяйстве на этапе преобладания привлеченных средств можно оценивать с помощью среднего темпа роста урожайности исследуемых культур.

Эффективность трансформации в сельскохозяйственных организациях проявляется следующим образом (таблица 4).

Тенденцию роста среднего темпа имеет показатель внесения минеральных удобрений на 1 га посева сельскохозяйственных культур.

Стабильно снижается средний темп средней годовой яйценоскости кур-несушек в сельскохозяйственных организациях.

Таблица 3

**Средние темпы роста урожайности сельскохозяйственных культур по этапам трансформации в капиталовложениях сельского хозяйства в хозяйствах всех категорий, %**

Показатель	Этапы трансформации		
	1995–2005 гг.	2006–2013 гг.	2014–2021 гг.
Зерновые и зернобобовые культуры	103,25	103,43	102,81
Лен-долгунец	108,62	104,09	98,02
Сахарная свекла	105,40	108,50	100,65
Подсолнечник	104,45	104,57	99,22
Картофель	102,60	103,76	100,22
Овощи	101,59	103,14	101,58

Источник: рассчитано авторами по данным Росстата.

Table 3

**Average growth rates of crop yields by stages of transformation in agricultural investments in farms of all categories, %**

Indicator	Stages of transformation		
	1995–2005	2006–2013	2014–2021
Grain and leguminous crops	103.25	103.43	102.81
Flax	108.62	104.09	98.02
Sugar beet	105.40	108.50	100.65
Sunflower	104.45	104.57	99.22
Potatoes	102.60	103.76	100.22
Vegetables	102.75	102.42	94.99

Source: calculated by the authors according to Rosstat data.

Таблица 4

**Средние темпы роста показателей эффективности в сельскохозяйственных организациях по этапам трансформации в капиталовложениях сельского хозяйства, %**

Показатель	Этапы трансформации		
	1995–2005 гг.	2006–2013 гг.	2014–2021 гг.
Внесение минеральных удобрений на один гектар посева сельскохозяйственных культур	101,51	102,43	108,20
Надой молока на одну корову	105,06	104,11	105,64
Средняя годовая яйценоскость кур-несушек	103,58	100,17	100,13
Средний годовой настриг шерсти с одной овцы	100,55	97,92	100,88
Расход кормов в расчете на одну условную голову крупного скота	100,22	99,11	100,28

Источник: рассчитано авторами по данным Росстата.

Table 4

**Average growth rates of efficiency indicators in agricultural organizations by stages of transformation in agricultural investments, %**

Indicator	Stages of transformation		
	1995–2005	2006–2013	2014–2021
Application of mineral fertilizers per hectare of agricultural crops	101.51	102.43	108.20
Milk yield per cow	105.06	104.11	105.64
Average annual egg production of laying hens	103.58	100.17	100.13
Average annual shearing of wool from one sheep	100.55	97.92	100.88
Feed consumption per conditional head of cattle	100.22	99.11	100.28

Source: calculated by the authors according to Rosstat data.

В период преобладания привлеченных средств в сельскохозяйственных организациях наименьший средний темп характерен для расхода кормов в расчете на одну условную голову крупного рогатого скота (99,11 %), надоя молока на одну корову (104,11 %), среднего годового настрига шерсти с одной овцы (97,92 %). Следовательно, эффективность

трансформации отчетливо проявляется в сельскохозяйственных организациях, причем в периодах преобладания собственных средств в сторону роста среднего темпа, что позволяет считать эти показатели параметрами рассматриваемого процесса.



Средние значения абсолютного коэффициента эластичности по этапам трансформации капиталовложений показывают различную реакцию урожайности сельскохозяйственных культур по посевным площадям соответствующих культур (таблица 5).

В период преобладания привлеченных средств возрастает эластичность для урожайности озимой ( $E = 7,61$ ) и яровой пшеницы ( $E = 7,61$ ), семян подсолнечника ( $E = 17,42$ ). Однако стоит отметить, что только для урожайности озимой пшеницы характерно снижение эластичности в обоих периодах преобладания собственных средств, тогда как сни-

жение коэффициента эластичности для урожайности яровой пшеницы отмечается только во втором периоде преобладания собственных средств.

Следовательно, параметром трансформации капиталовложений выступает эластичность урожайности озимой пшеницы, которая возрастает в период преобладания привлеченных средств и снижается в период преобладания собственных средств.

Эластичность урожайности сахарной свеклы более чем в 3 раза, а овощей – более чем в 30 раз увеличилась на третьем этапе трансформации капиталовложений в сельское хозяйство.

Таблица 5

**Средние коэффициенты эластичности урожайности сельскохозяйственных культур по соответствующим посевным площадям**

Показатель	Этапы трансформации		
	1995–2005 гг.	2006–2013 гг.	2014–2020 гг.
Зерновые и зернобобовые	12,27	6,84	6,92
Пшеница озимая	2,02	7,61	2,07
Пшеница яровая	7,10	7,61	2,07
Картофель	14,34	3,59	1,38
Овощи	0,85	1,93	26,97
Сахарная свекла	1,29	1,26	4,73
Семена подсолнечника	1,14	17,42	6,69

Источник: рассчитано авторами по данным Росстата.

Table 5

**Average coefficients of elasticity of crop yields for the corresponding acreage**

Indicator	Stages of transformation		
	1995–2005	2006–2013	2014–2020
Cereals and legumes	12.27	6.84	6.92
Winter wheat	2.02	7.61	2.07
Spring wheat	7.10	7.61	2.07
Potato	14.34	3.59	1.38
Vegetables	0.85	1.93	26.97
Sugar beet	1.29	1.26	4.73
Sunflower seeds	1.14	17.42	6.69

Source: calculated by the authors according to Rosstat data.

Таблица 6

**Средние коэффициенты эластичности производства в сельском хозяйстве по бюджетным средствам**

Показатель	Этапы трансформации		
	1995–2005 гг.*	2006–2013 гг.	2014–2020 гг.
Производство скота и птицы на убой в убойном весе	0,07	0,33	0,13
Производство крупного рогатого скота на убой в убойном весе	3,14	0,09	0,03
Производство свиней на убой в убойном весе	3,38	0,33	0,22
Производство овец и коз на убой в убойном весе	4,72	0,12	0,10
Производство птицы на убой в убойном весе	3,27	0,63	0,12
Производство молока	1,68	0,06	0,06
Производство яиц	0,40	0,10	0,04
Надой молока на одну корову в сельскохозяйственных организациях	0,16*	0,12	0,12
Средний годовой настриг шерсти с одной овцы в сельскохозяйственных организациях	0,23*	0,11	0,22

Источник: рассчитано авторами по данным Росстата.

\* Рассчитано за 1998–2005 гг.

Table 6  
Average coefficients of elasticity of production in agriculture by budget funds

Indicator	Stages of transformation		
	1995–2005*	2006–2013	2014–2020
Production of livestock and poultry for slaughter in slaughter weight	0.07	0.33	0.13
Production of cattle for slaughter in slaughter weight	3.14	0.09	0.03
Production of pigs for slaughter in slaughter weight	3.38	0.33	0.22
Production of sheep and goats for slaughter in slaughter weight	4.72	0.12	0.10
Production of poultry for slaughter in slaughter weight	3.27	0.63	0.12
Milk production	1.68	0.06	0.06
Egg production	0.40	0.10	0.04
Milk yield per cow in agricultural organizations	0.16*	0.12	0.12
Average annual shearing of wool from one sheep in agricultural organizations	0.23*	0.11	0.22

Source: calculated by the authors according to Rosstat data.

\* Calculated for 1998–2005.

Таблица 7  
Средние коэффициенты эластичности производства в сельском хозяйстве по федеральным бюджетным средствам

Показатель	Этапы трансформации		
	1995–2005 гг.*	2006–2013 гг.	2014–2020 гг.
Производство скота и птицы на убой в убойном весе	0,14	0,20	0,15
Производство крупного рогатого скота на убой в убойном весе	0,14	0,05	0,05
Производство свиней на убой в убойном весе	0,16	0,19	0,30
Производство овец и коз на убой в убойном весе	2,10	0,06	0,03
Производство птицы на убой в убойном весе	0,22	0,39	0,07
Производство молока	0,07	0,03	0,07
Производство яиц	0,04	0,07	0,02
Надой молока на одну корову в сельскохозяйственных организациях	0,07*	0,08	0,17
Средний годовой настриг шерсти с одной овцы в сельскохозяйственных организациях	0,23*	0,11	0,22

Источник: рассчитано авторами по данным Росстата.

\* Рассчитано за 1998–2005 гг.

Table 7  
Average coefficients of elasticity of production in agriculture by federal budget funds

Indicator	Stages of transformation		
	1995–2005 *	2006–2013	2014–2020
Production of livestock and poultry for slaughter in slaughter weight	0.14	0.20	0.15
Production of cattle for slaughter in slaughter weight	0.14	0.05	0.05
Production of pigs for slaughter in slaughter weight	0.16	0.19	0.30
Production of sheep and goats for slaughter in slaughter weight	2.10	0.06	0.03
Production of poultry for slaughter in slaughter weight	0.22	0.39	0.07
Milk production	0.07	0.03	0.07
Egg production	0.04	0.07	0.02
Milk yield per cow in agricultural organizations	0.07*	0.08	0.17
Average annual shearing of wool from one sheep in agricultural organizations	0.23*	0.11	0.22

Source: calculated by the authors according to Rosstat data.

\* Calculated for 1998–2005.

Эластичность урожайности зерновых и зернобобовых, а также картофеля была максимальной на первом этапе трансформации и в дальнейшем снижается. Следовательно, эластичность урожайности как зерновых и зернобобовых, так и картофеля не может служить параметром трансформации капиталовложений.

Анализ эластичности за период 1995–2020 гг. показывает слабое реагирование производства животноводческой продукции на изменение объема бюджетных средств (таблица 6).

Эластичность по бюджетным средствам проявлялась только на первом этапе трансформации в производстве крупного рогатого скота, свиней, овец

и коз, а также птицы на убой в убойном весе и в производстве молока.

По объему федеральных бюджетных средств на первом этапе трансформации эластичным являлось только производство овец и коз на убой в убойном весе (таблица 7). Для остальных изученных показателей характерна неэластичность по объему федеральных бюджетных средств.

Анализ эластичности для продукции сельского хозяйства в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах по бюджетным средствам показывает эластичность для показателей крестьянских (фермерских) хозяйств, за исключением продукции животноводства (таблица 8).

Таблица 8  
**Средние коэффициенты эластичности производства сельского хозяйства по бюджетным средствам в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах**

Показатель	Этапы трансформации		
	1995–2005 гг.*	2006–2013 гг.	2014–2020 гг.
Продукция сельского хозяйства в сельскохозяйственных организациях	0,64	0,53	0,36
Продукция растениеводства в сельскохозяйственных организациях	0,65	0,17	0,05
Продукция животноводства в сельскохозяйственных организациях	0,51	0,60	0,32
Валовой сбор зерна в сельскохозяйственных организациях	0,50	0,17	0,04
Валовой сбор картофеля в сельскохозяйственных организациях	0,49	1,04	0,25
Продукция сельского хозяйства в крестьянских (фермерских) хозяйствах	1,18	0,82	0,47
Продукция растениеводства в крестьянских (фермерских) хозяйствах	1,39	1,02	0,54
Продукция животноводства в крестьянских (фермерских) хозяйствах	0,88	0,82	0,36
Валовой сбор зерна в крестьянских (фермерских) хозяйствах	5,01	19,53	16,78
Валовой сбор картофеля в крестьянских (фермерских) хозяйствах	0,68	1,10	0,32

Источник: рассчитано авторами по данным Росстата.

\* Рассчитано за 1998–2005 гг.

Table 8  
**Average coefficients of elasticity of agricultural production by budget funds in agricultural organizations and peasant (farmer) farms**

Indicator	Stages of transformation		
	1995–2005*	2006–2013	2014–2020
Agricultural products in agricultural organizations	0.64	0.53	0.36
Crop production in agricultural organizations	0.65	0.17	0.05
Livestock products in agricultural organizations	0.51	0.60	0.32
Gross grain harvest in agricultural organizations	0.50	0.17	0.04
Gross potato harvest in agricultural organizations	0.49	1.04	0.25
Agricultural products in peasant (farm) farms	1.18	0.82	0.47
Crop production in peasant (farm) farms	1.39	1.02	0.54
Livestock products in peasant (farm) farms	0.88	0.82	0.36
Gross grain harvest in peasant (farm) farms	5.01	19.53	16.78
Gross potato harvest in peasant (farm) farms	0.68	1.10	0.32

Source: calculated by the authors according to Rosstat data.

\* Calculated for 1998–2005.

Таблица 9

**Средние коэффициенты эластичности производства сельского хозяйства по федеральным бюджетным средствам в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах**

ЭКОНОМИКА

Показатель	Этапы трансформации		
	1996–2005 гг.*	2006–2013 гг.	2014–2020 гг.
Продукция сельского хозяйства в сельскохозяйственных организациях	0,40	0,22	0,44
Продукция растениеводства в сельскохозяйственных организациях	0,52	0,47	0,53
Продукция животноводства в сельскохозяйственных организациях	0,34	0,34	0,36
Валовой сбор зерна в сельскохозяйственных организациях	0,30	0,58	0,65
Валовой сбор картофеля в сельскохозяйственных организациях	0,20	0,71	0,22
Продукция сельского хозяйства в крестьянских (фермерских) хозяйствах	0,62	0,36	0,47
Продукция растениеводства в крестьянских (фермерских) хозяйствах	0,77	0,50	0,53
Продукция животноводства в крестьянских (фермерских) хозяйствах	0,47	0,41	0,25
Валовой сбор зерна в крестьянских (фермерских) хозяйствах	0,38	0,60	0,71
Валовой сбор картофеля в крестьянских (фермерских) хозяйствах	0,25	0,66	0,55

Источник: рассчитано авторами по данным Росстата.

\* Рассчитано за 1998–2005 гг.

Table 9

**Average coefficients of elasticity of agricultural production by federal budget funds in agricultural organizations and peasant (farmer) farms**

Indicator	Stages of transformation		
	1996–2005*	2006–2013	2014–2020
Agricultural products in agricultural organizations	0.40	0.22	0.44
Crop production in agricultural organizations	0.52	0.47	0.53
Livestock products in agricultural organizations	0.34	0.34	0.36
Gross grain harvest in agricultural organizations	0.30	0.58	0.65
Gross potato harvest in agricultural organizations	0.20	0.71	0.22
Agricultural products in peasant (farm) farms	0.62	0.36	0.47
Crop production in peasant (farm) farms	0.77	0.50	0.53
Livestock products in peasant (farm) farms	0.47	0.41	0.25
Gross grain harvest in peasant (farm) farms	0.38	0.60	0.71
Gross potato harvest in peasant (farm) farms	0.25	0.66	0.55

Source: calculated by the authors according to Rosstat data.

\* Calculated for 1998–2005.

Среди показателей крестьянских (фермерских) хозяйств параметрами трансформации капиталовложений можно считать коэффициент эластичности валового сбора зерна и картофеля по бюджетным средствам, который возрастает в период преобладания привлеченных средств и снижается в оба периода преобладания собственных средств.

Продукция сельского хозяйства в сельскохозяйственных организациях неэластична по бюджетным средствам на всех этапах трансформации капиталовложений, кроме валового сбора картофеля, коэффициент эластичности которого  $E > 1$  в период

преобладания привлеченных средств и  $E < 1$  в периоды преобладания собственных средств. Следовательно, для сельскохозяйственных организаций параметром трансформации может являться коэффициент эластичности для валового сбора картофеля по бюджетным средствам.

С федеральными бюджетными субсидиями изученные показатели производства сельского хозяйства сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств не проявляют эластичность (таблица 9).

**Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)**

На основании проведенных исследований можно сделать некоторые выводы:

1. Критерием трансформации капиталовложений в сельское хозяйство является смена преобладающей доли в финансовой структуре капиталовложений в сельское хозяйство.

2. Сравнительная оценка различных показателей по рассмотренным этапам позволила выделить параметры этапов трансформации капиталовложений в сельское хозяйство. Снижаются в периодах преобладания собственных средств и возрастают в период преобладания привлеченных средств средние темпы посевных площадей зерновых и зернобобовых культур, валового сбора сахарной свеклы, подсолнечника, картофеля, а также поголовья свиней, овец и коз, производства скота и птицы на убой (в убойном весе), яиц и шерсти. При этом средний темп для посевных площадей льна-долгунца в период преобладания привлеченных средств снижается.

3. Имеет место нейтральность экономических процессов сельского хозяйства по отношению к этапам трансформации, которая проявляется как устойчивая тенденция снижения или роста показателей. Стабильно снижается средний темп продукции сельского хозяйства и растениеводства, посевных площадей и урожайности льна-долгунца, а также валового сбора зерна и льноволокна. Однако постоянно возрастает средний темп посевных площадей всех сельскохозяйственных культур, валового сбора плодов и ягод, а также производства молока в хозяйствах всех категорий.

4. В изученных временных рядах динамики проявляется эффективность трансформации в период преобладания привлеченных средств как рост среднего темпа урожайности зерновых и зернобобовых культур, сахарной свеклы, семян подсолнечника и картофеля. В период преобладания собственных средств в сельскохозяйственных организациях воз-

растает средний темп надоя молока на одну корову и годового настрига шерсти с одной овцы.

5. В качестве параметра трансформации можно использовать коэффициент эластичности для урожайности озимой пшеницы по посевной площади, который в периодах преобладания собственных средств в капиталовложениях сельского хозяйства снижается и возрастает в период преобладания привлеченных средств. Во втором периоде преобладания собственных средств (2014–2020 гг.) значительно выросла эластичность урожайности по посевной площади для сахарной свеклы и овощей.

6. Для сельскохозяйственных организаций параметром трансформации может являться коэффициент эластичности для валового сбора картофеля по бюджетным средствам. Для крестьянских (фермерских) хозяйств параметром трансформации выступает валовой сбор зерна и картофеля по бюджетным средствам, который возрастает в период преобладания привлеченных средств и снижается в оба периода преобладания собственных средств.

Таким образом, предлагаемый подход создает основу для количественной дифференциации этапов трансформации в сельском хозяйстве на основе смены преобладающей доли собственных или привлеченных средств в инвестициях в основной капитал сельского хозяйства Российской Федерации по источникам финансирования как внешнего фактора развития отрасли. В настоящий санкционный период с преобладанием собственных средств в структуре инвестиций в основной капитал сельского хозяйства Российской Федерации по источникам финансирования необходимо увеличение государственной поддержки производства овощей, картофеля, подсолнечника, а также сельскохозяйственных организаций. Требуют дальнейшего исследования реализующиеся несимметричные тенденции роста посевных площадей всех сельскохозяйственных культур и льна-долгунца при снижении темпа продукции растениеводства и валового сбора льноволокна.

**Библиографический список**

1. Мартынов А. В. К вопросу об универсальной теории экономической системной трансформации // Общество и экономика. 2018. № 4. С. 5–30.
2. Шелегеда Б. Г., Корнев М., Погоржельская Н. В. Концептуальное обоснование исследования структурного развития экономических систем // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. 2018. № 3. С. 386–405.
3. Баранов Э. Ф., Бессонов В. А. Взгляд на российскую экономическую трансформацию // Вопросы экономики. 2018. № 11. С. 142–158.
4. Литвинцева Г. П., Петров С. П. Теоретические основы взаимодействия цифровой трансформации и качества жизни // Журнал экономической теории. 2019. Т. 16. № 3. С. 414–427. DOI: 10.31063/2073-6517/2019.16-3.10.
5. Рощина И. В. Трансформация форм реализации способности человека к труду // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2022. № 58. С. 138–167. DOI: 10.17223/19988648/58/9.
6. Кобзев В. В., Бабкин А. В., Скоробогатов А. С. Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях новой реальности // n-ECONOMY. 2022. Т. 15. № 5. С. 7–27. DOI: 10.18721/JE.15501.

7. Винничек Л. Б., Малышев А. А., Коробкова Н. А., Ильясова А. В. Управление социально-экономическими системами в условиях трансформации экономики: монография. Москва: Московский университет им. С. Ю. Витте, 2021. 125 с.
8. Звонова Е. А. Трансформация мировой экономики и пандемия // Экономика. Налоги. Право. 2020. Т. 13. № 4. С. 6–19. DOI: 10.26794/1999-849X-2020-13-4-6-19.
9. Глазьев С. Ю. Глобальная трансформация через призму смены технологических и мирохозяйственных укладов // ALTERECONOMICS. 2022. Т. 19. № 1. С. 93–115. DOI: 10.31063/AlterEconomics/2022.19-1.6.
10. Любимов И. Л., Якубовский И. В. Структурная трансформация и отраслевая производительность: учет направлений экспорта в индексе экономической сложности // Журнал Новой экономической ассоциации. 2020. № 3 (47). С. 12–39. DOI: 10.31737/2221-2264-2020-47-3-1.
11. Lin J. Y., Hing H. Endogenous Structural Transformation in Economic Development [e-resource] // arxiv. 2018. Article number 036952. URL: <https://arxiv.org/abs/2011.03695> DOI: 10.48550/arXiv.2011.03695 (date of reference: 15.12.2022).
12. Зубаревич Н. В. Регионы России в новых экономических условиях // Журнал Новой экономической ассоциации. 2022. № 3 (55). С. 226–234. DOI: 10.31737/2221-2264-2022-55-3-15.
13. Bustos P., Vincenzi J. M. C., Monras J., Ponticelli J. Structural Transformation, Industry Specialization, and Endogenous Growth. 2021. DOI: 10.3386/w25871.
14. Мартынов А. В. Сопоставление системной трансформации в Китае и России в современный период: конвергенция или дивергенция? // Общество и экономика. 2019. № 8. С. 96–113. DOI: 10.31857/S020736760006130-2.
15. Литвинцева Г. П., Карелин И. Н. Эффекты цифровой трансформации экономики и качества жизни населения в России // Terra Economicus. 2020. Т. 18. №. 3. С. 53–71. DOI: 10.18522/2073-6606-2020-18-3-53-71.
16. Smelik N. L., Vinnichек L. B. Macroeconomic factors of structural changes in the agroindustrial complex // AIP Conference Proceeding. 2022. Article number 020011. DOI: 10.1063/5.0111620.

**Об авторах:**

Любовь Борисовна Винничек<sup>1</sup>, доктор экономических наук, декан факультета экономики и управления в АПК, ORCID 0000-0002-6127-7201, AuthorID 288383; +7 905 016-46-68, [l\\_vinnichек@mail.ru](mailto:l_vinnichек@mail.ru)

Надежда Леонидовна Смелик<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры прикладной информатики, статистики и математики, ORCID 0000-0002-3851-8425, AuthorID 438295; +7 904 612-00-79, [smeliknl@mail.ru](mailto:smeliknl@mail.ru)

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург – Пушкин, Россия

## Differentiation of the transformation stages in agriculture

L. B. Vinnichек<sup>1</sup>, N. L. Smelik<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg – Pushkin, Russia

✉ E-mail: [smeliknl@mail.ru](mailto:smeliknl@mail.ru)

**Abstract.** The aim is the study of the parameters of the influence of the structure of investments in fixed assets of agriculture of the Russian Federation by sources of financing as an external factor in the development of the industry. **Methods.** Based on Rosstat data, time series of indicators of agriculture in Russia for 1995–2021 have been compiled and chain growth rates have been calculated. The periodization of long dynamic series of investments in fixed assets of agriculture in Russia based on the predominance of own and attracted funds of organizations (1995–2005 – the predominance of own funds, 2006–2013 – predominance of attracted funds, 2014–2021 – predominance of own funds). Within each stage, average growth rates are calculated and analyzed; transformation parameters are determined. **Results.** Based on the chain dynamics of indicators of agriculture in Russia, on the basis of scientifically based approaches and expert assessments, the criteria and parameters of transformation in agriculture have been identified. The criterion of transformation in agriculture is the change of the predominant share of own or borrowed funds in the financial structure of capital investments. Three stages of transformation are highlighted. At the stage of the predominance of attracted funds, the average rate increased for the sown areas of grain and leguminous crops, the gross harvest of sugar beet, sunflower seeds, potatoes, as well as the number of pigs, sheep and goats, the production of livestock and poultry for slaughter (in slaughter weight), eggs and wool. The efficiency of transformation is estimated by the average rate of yield of grain and leguminous crops, sugar beet, sunflower seeds and potatoes. The elasticity coefficient for a number of indicators can also be used as

a transformation parameter. **The scientific novelty** lies in a new methodological approach for the periodization of the transformation of investments in agriculture based on the proposed criterion for identifying parameters.

**Keywords:** agriculture, transformation, financial structure of investments, criterion, stages, parameters, average growth rate, effects.

**For citation:** Vinnichuk L. B., Smelik N. L. Differentsiatsiya etapov transformatsii v sel'skom khozyaystve [Differentiation of the transformation stages in agriculture] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 06 (235). Pp. 98–110. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-98-110. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 06.01.2023, **date of review:** 06.04.2023, **date of acceptance:** 12.04.2023.

### References

1. Martynov A. V. K voprosu ob universal'noy teorii ekonomicheskoy sistemnoy transformatsii [On the question of the universal theory of economic system transformation] // Society and Economics. 2018. No. 4. Pp. 5–30. (In Russian.)
2. Shelegeda B. G., Kornev M., Pogorzhel'skaya N. V. Kontseptual'noe obosnovanie issledovaniya strukturnogo razvitiya ekonomicheskikh system [Conceptual Justification of Research of Structural Development of Economic Systems] // Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management. 2018. Vol. 17. No. 3. Pp. 386–405. (In Russian.)
3. Baranov E. F., Bessonov V. A. Vzglyad na rossiyskuyu ekonomicheskuyu transformatsiyu [A view at the Russian economic transformation] // Voprosy Ekonomiki. 2018. No. 11. Pp. 142–158. (In Russian.)
4. Litvintseva G. P., Petrov S. P. Teoreticheskie osnovy vzaimodeystviya tsifrovoy transformatsii i kachestva zhizni [Theoretical foundations of digital transformation of economy and people's quality of life] // Journal of Economic Theory. 2019. Vol. 16. No. 3. Pp. 414–427. DOI: 10.31063/2073-6517/2019.16-3.10. (In Russian.)
5. Roshchina I. V. Transformatsiya form realizatsii sposobnosti cheloveka k trudu [Transformation of implementations of a person's ability to work] // Tomsk State University Journal of Economics. 2022. No. 58. Pp. 138–167. DOI: 10.17223/19988648/58/9. (In Russian.)
6. Kobzev V. V., Babkin A. V., Skorobogatov A. S. Tsifrovaya transformatsiya promyshlennykh predpriyatiy v usloviyakh novoy real'nosti [Digital transformation of industrial enterprises in the new reality] // n-ECONOMY. 2022. Vol. 15. No. 5. Pp. 7–27. DOI: 10.18721/JE.15501. (In Russian.)
7. Vinnichuk L. B., Malyshev A. A., Korobkova N. A., Il'yasova A. V. Upravlenie sotsial'no-ekonomicheskimi sistemami v usloviyakh transformatsii ekonomiki: monografiya [Management of socio-economic systems in the context of economic transformation: a monograph]. Moscow: Moskovskiy universitet im. S. Yu. Vitte, 2021. 125 p. (In Russian.)
8. Zvonova E. A. Transformatsiya mirovoy ekonomiki i pandemiya [Transformation of the world economy and the pandemic] // Ekonomika. Nalogi. Pravo. 2020. Vol. 13. No. 4. Pp. 6–19. DOI: 10.26794/1999-849X-2020-13-4-6-19. (In Russian.)
9. Glaz'ev S. Yu. Global'naya transformatsiya cherez prizmu smeny tekhnologicheskikh i mirokhozaystvennykh ukладov [Global Transformation from the Perspective of changing Technological and Economic World Order Change] // ALTERECONOMICS. 2022. Vol. 19. No. 1. Pp. 93–115. DOI: 10.31063/AlterEconomics/2022.19-1.6. (In Russian.)
10. Lyubimov I. L., Yakubovskiy I. V. Strukturnaya transformatsiya i otraslevaya proizvoditel'nost': uchet napravleniy eksporta v indekse ekonomicheskoy slozhnosti [How to make economic complexity index more complex: Taking export geography into account] // Journal of the New Economic Association. 2020. No. 3 (47). Pp. 12–39. DOI: 10.31737/2221-2264-2020-47-3-1. (In Russian.)
11. Lin J. Y., Hing H. Endogenous Structural Transformation in Economic Development [e-resource] // arxiv. 2018. Article number 036952. URL: <https://arxiv.org/abs/2011.03695> DOI: 10.48550/arXiv.2011.03695 (date of reference: 15.12.2022).
12. Zubarevich N. V. Regiony Rossii v novykh ekonomicheskikh usloviyakh [Regions of Russia in the new economic realities] // Journal of the New Economic Association. 2022. No. 3 (55). Pp. 226–234. DOI: 10.31737/2221-2264-2022-55-3-15. (In Russian.)
13. Bustos P., Vincenzi J. M. C., Monras J., Ponticelli J. Structural Transformation, Industry Specialization, and Endogenous Growth. 2021. DOI: 10.3386/w25871.
14. Martynov A. V. Sopostavlenie sistemnoy transformatsii v Kitae i Rossii v sovremenny period: konvergentsiya ili divergentsiya? [Comparison of systemic transformation in China and Russia in the modern period: convergence

or divergence?] // Society and Economics. 2019. No. 8. Pp. 96–113. DOI: 10.31857/S020736760006130-2. (In Russian.)

15. Litvintseva G. P., Karelin I. N. Effekty tsifrovoy transformatsii ekonomiki i kachestva zhizni naseleniya v Rossii [Effects of digital transformation of the economy and quality of life in Russia] // Terra Economicus. 2020. Vol. 18. No. 3. Pp. 53–71. DOI: 10.18522/2073-6606-2020-18-3-53-71. (In Russian.)

16. Smelik N. L., Vinnichek L. B. Macroeconomic factors of structural changes in the agroindustrial complex // AIP Conference Proceeding. 2022. Article number 020011. DOI: 10.1063/5.0111620.

**Authors' information:**

Lyubov B. Vinnichek<sup>1</sup>, doctor of economics, dean of the faculty of economics and management in agriculture, ORCID 0000-0002-6127-7201, AuthorID 288383; +7 905 016-46-68, [l\\_vinnichek@mail.ru](mailto:l_vinnichek@mail.ru)

Nadezhda L. Smelik<sup>1</sup>, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of applied informatics, statistics and mathematics, ORCID 0000-0002-3851-8425, AuthorID 438295; +7 904 612-00-79, [smeliknl@mail.ru](mailto:smeliknl@mail.ru)

<sup>1</sup>Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg – Pushkin, Russia



## Стратегические прогнозы частичного равновесия физической и экономической доступности продукции

Д. Ю. Самыгин<sup>1✉</sup>, А. А. Иванов<sup>2</sup>, Е. В. Губанова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>2</sup> Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

<sup>3</sup> Калужский филиал Финуниверситета, Калуга, Россия

✉ E-mail: vekont82@mail.ru

**Аннотация.** Цель. Подготовка моделей прогнозирования, позволяющих описать равновесие отечественного производства и внутреннего потребления продукции с учетом новой миссии стратегического планирования агропродовольственного сектора, связанной с обеспечением физической и экономической доступности на уровне рациональных норм потребления для каждого гражданина страны. В основе реализации миссии лежит научное положение о продовольственной независимости в процессе решения продовольственных задач. На современном этапе наблюдается значительный потенциал для увеличения производства и потребления продукции на душу населения до уровня рациональных норм, рекомендованных Минздравом России. Принципиальная сложность в решении задачи обусловлена отсутствием сбалансированности темпов формирования физической и экономической доступности. **Методы.** Научно-теоретическое обобщение имитационных возможностей западноевропейских моделей прогнозирования, эконометрическое описание физической доступности в зависимости от экономической доступности по основным видам продукции. Информационным обеспечением явился свод общероссийских данных по ресурсам и их использованию по видам продукции за период 1990–2021 гг., подготовленных на основе авторской методики стратегического планирования продовольственного баланса. **Научная новизна** заключается в разработке функциональных моделей частичного равновесия конъюнктуры агропродовольственного рынка, показывающих зависимость физической доступности от экономической доступности по основным видам продукции. **Результаты.** Результаты расчетов свидетельствуют, что стимулирование физической доступности за счет формирования экономической доступности приведет к улучшению и стабилизации ситуации по самообеспеченности рациональных норм потребления. Полученные модели могут быть использованы участниками стратегического планирования и органами управления в качестве инструментов поддержки принятия стратегических решений по определению уровня сформированности физической доступности продукции при достижении уровня потребления рациональных норм и внесения на этой основе корректировок в стратегические документы по развитию АПК.

**Ключевые слова:** модели прогнозирования, агропродовольственный сектор, продовольственная безопасность, физическая доступность, экономическая доступность, рациональные нормы потребления, внутреннее потребление, отечественное производство.

**Для цитирования:** Самыгин Д. Ю., Иванов А. А., Губанова Е. В. Стратегические прогнозы частичного равновесия физической и экономической доступности продукции // Аграрный вестник Урала. 2023. № 06 (235). С. 111–120. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-111-120.

**Дата поступления статьи:** 21.04.2023, **дата рецензирования:** 12.05.2023, **дата принятия:** 19.05.2023.

### Постановка проблемы (Introduction)

С 2020 года миссия стратегического планирования в сфере обеспечения продовольственной безопасности заключается в обеспечении физической и экономической доступности продукции на уровне рациональных норм ее потребления. Это достаточно амбициозная, но вместе с тем методологически правильная постановка продовольственной задачи. Для ее достижения потребуются уравновесить

спрос и предложение на уровне, покрывающем физиологические потребности человека в здоровом питании. Поэтому медицинские нормы питания, утвержденные приказом Минздрава<sup>1</sup> становятся стратегическим ориентиром для новой точки равновесия на рынке агропродовольственной продукции.

<sup>1</sup>Приказ Минздрава России от 19.08.2016 № 614 (ред. от 01.12.2020) «Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания».

Принципиальная сложность современной задачи в сфере продовольственной безопасности заключается в том, что ее нельзя решить за счет снижения уровня производства и потребления отдельных видов продукции на душу населения, в отличие от прежних установок по обеспечению пороговых значений самообеспеченности, указанных в редакции Доктрины от 2010 года. Проведенное ранее исследование [1] показало, что обеспечить покрытие внутреннего спроса на основе отечественного производства можно разным путем. Так, например, по молоку уровень самообеспеченности увеличился с 81 % в 2011 г. до 85 % в 2019 г. при одновременном снижении за этот период уровня потребления на человека в год с 267 кг до 254 кг. Аналогично по рыбе и рыбной продукции рост самообеспеченности за 2011–2019 гг. на 43 % (с 122 % до 165 %) сопровождался уменьшением потребления на 4 кг на человека в год (с 25 кг до 21 кг).

Для целей настоящего исследования авторы понимают:

- под *физической доступностью* – объем продовольственных ресурсов в стране, покрывающий рациональные нормы потребления основных видов продукции для каждого гражданина страны;

- под *экономической доступностью* – объем внутреннего потребления, покрывающий рациональные нормы питания по основным видам продукции для каждого гражданина страны.

В отличие от ряда ученых [2; 3] считаем, что в современных условиях беспрецедентных санкций высокая зависимость от импорта при формировании физической доступности продукции для нашей страны является существенной угрозой продовольственной безопасности. Если не будет обеспечена физическая доступность, то не удастся обеспечить и экономическую доступность. Даже страны с высокой импортной зависимостью (Саудовская Аравия, Бахрейн, Кувейт, Оман, Катар, ОАЭ и др.) на фоне отсутствия плодородных земель и естественного увлажнения стремятся реализовывать такую политику, которая позволит достигнуть максимально высокого уровня самообеспечения страны продовольствием [4].

Поэтому авторы статьи придерживаются мнения специалистов [5–10] о необходимости новых подходов к продовольственной независимости, где в основе лежит самообеспеченность рациональных норм потребления продукции. Это вытекает из необходимости встраивания научных положений в сфере обеспечения национальной продовольственной безопасности в систему государственного стратегического планирования и прогнозирования агропродовольственного сектора.

Прогнозная картина развития аграрного производства поможет определить вектор необходимых

изменений государственного регулирования [11], вызванных целесообразностью использования подходов форсайт в процессе прогнозирования развития АПК [12]. Суть данных утверждений, на взгляд авторов, заключается в том, что в условиях, когда показатели сформированности физической и экономической доступности продукции еще не достигли нужного уровня, прогнозирование целесообразно осуществлять по принципу «от желаемого».

Изучение показателей сформированности физической и экономической доступности продукции показало, что в 2021 году среди определяемых рацион продуктов питания, указанных в приказе Минздрава России, сформированность наблюдалась только по физической доступности картофеля и яиц и по экономической доступности мяса.

Как показывает настоящее исследование, темпы формирования физической доступности по основным видам продукции не всегда прямо пропорциональны темпам формирования экономической доступности, в некоторых случаях наблюдается их разная полярность (рис. 1).

На основе данных рис. 1 можно увидеть, что произошло снижение сформированности в 2021 г. по сравнению с 2019 г.:

- физической доступности фруктов (с 28 % до 27 %), овощей (с 77 % до 66 %), мяса (с 101 % до 99 %);

- экономической доступности картофеля (с 58 % до 99 %), овощей (с 72 % до 86 %), яиц (с 110 % до 90 %).

В целом пока не наблюдается положительной тенденции в формировании как физической, так и экономической доступности. Оценка общей сформированности показателей, рассчитанных по функции среднего геометрического показывает, что в среднем по совокупности основных видов продукции сформированность физической доступности снизилась с 81 % в 2019 г. до 76 % в 2021 г., а экономической доступности – с 88 % до 81 %. Из этого вытекает принципиальная сложность задачи, поставленной перед стратегическим планированием в сфере обеспечения продовольственной безопасности. Поэтому научная проблема связана с необходимостью понимать поведение производства и потребления в процессе их уравнивания по новым координатам, в связи с чем целью работы является подготовка моделей, позволяющих описать конъюнктуру агропродовольственного рынка и оценить поведение предложения в зависимости от спроса с учетом новых продовольственных задач. Конкретные научные результаты связаны с прогнозным уровнем физической доступности продукции, который сформируется при условии формирования экономической доступности на уровне рациональных норм потребления.

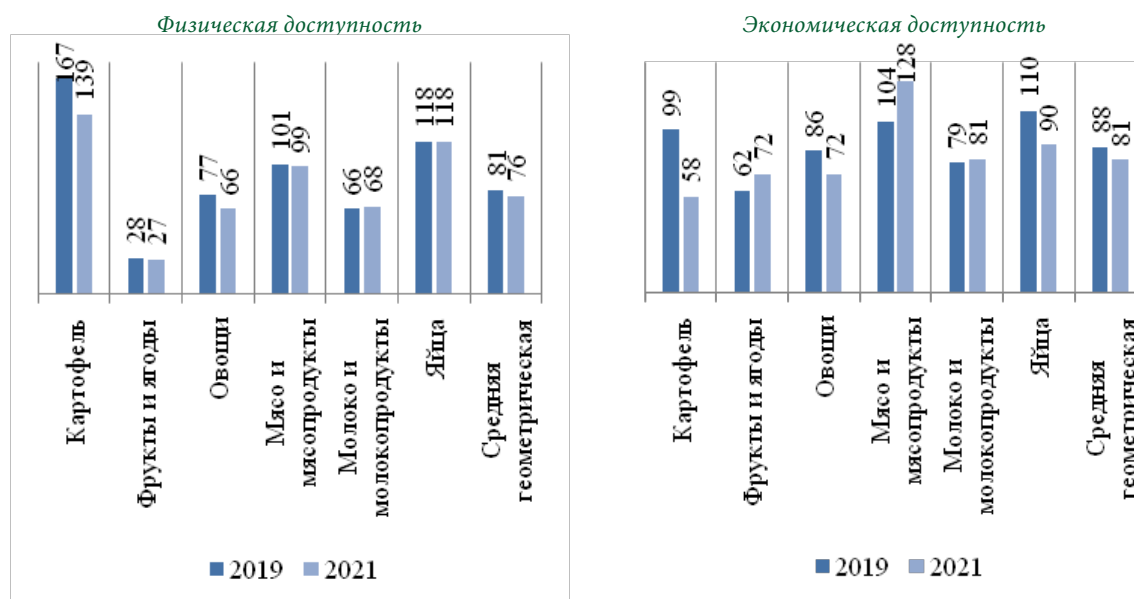


Рис. 1. Сформированность физической и экономической доступности по отдельным видам продукции в 2019 и 2021 гг., %.

Источник: составлено авторами на основе источников<sup>2</sup>

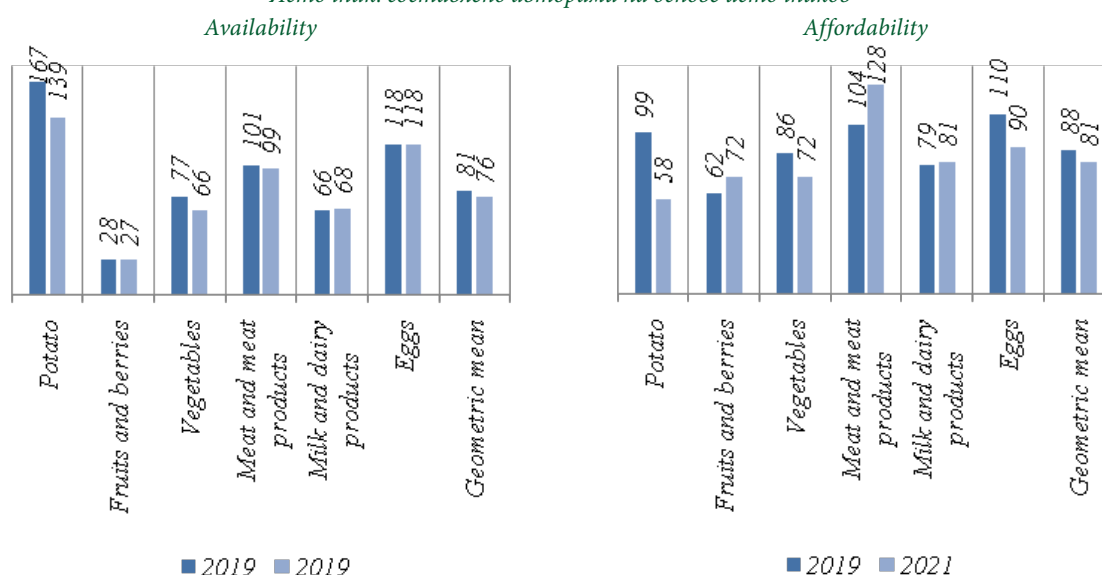


Fig. 1. Formation of physical and economic accessibility for certain types of products in 2019 and 2021, %

Source: compiled by the authors

### Методология и методы исследования (Methods)

В западноевропейской системе прогнозирования конъюнктуры агропродовольственных рынков используются такие модели, как EPACIS, RATSIM, MAGALI, DESPA, AGLINK-COSIMO. Последняя получила особо широкое применение в странах организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР).

Научное обобщение [13] сильных и слабых сторон названных моделей позволило заключить, что имитационные возможности моделей, в принципе

позволяют избежать неоправданных общественных издержек, опасных социальных последствий. Западноевропейские модели прогнозирования агропродовольственного сектора относятся к инструментам оценки возможных последствий от проводимой в стране аграрной политики. Основное назначение моделей – сохранение достигнутого уровня продовольственной безопасности и недопущение рисков его снижения. Учитывая, что в нашей стране стратегические цели в агропродовольственной сфере еще не достигнуты, использование

<sup>2</sup> Потребление продуктов питания в домашних хозяйствах. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13292> (дата обращения: 01.09.2022); Приказ Минздрава России от 19.08.2016 № 614 (ред. от 01.12.2020) «Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_LAW\\_204200/6d6b93b520567b6e785aeb028d00b9d345e78701/](http://www.consultant.ru/document/cons_LAW_204200/6d6b93b520567b6e785aeb028d00b9d345e78701/) (дата обращения: 10.09.2022).

подобных инструментов частичного равновесия не будет способствовать принятию эффективных управленческих решений по стратегированию физической и экономической доступностью продукции.

В отечественной практике стратегического прогнозирования широкое распространение получил подход к построению перспективных тенденций на основе копирования сложившейся динамики. Опасность злоупотребления данным подходом вызвана тем, что модели отталкиваются от достигнутого уровня, который, как известно, пока еще далек от «желаемого» развития.

В современных реалиях экономики, находящейся под всевозможными международными санкциями, система стратегического планирования в сфере обеспечения национальной продовольственной безопасности должна исходить из целесообразности формирования физической доступности на основе отечественного производства, а формирование экономической доступности продукции должно осуществляться в приоритетном порядке перед экспортом. Как говорится в одном из посланий Президента Федеральному собранию, необходимо «...обеспечить внутренний рынок отечественным продовольствием...»<sup>3</sup>. Учитывая рыночные каноны о том, что спрос рождает предложение, возможно описать изменение конъюнктуры на рынке агропродовольственной продукции через следующую функциональную зависимость:

$$(C) \text{ ФДП} = F((C) \text{ ЭДП}), \quad (1)$$

где (C)ФДП – (сформированность) физическая доступность продукции; (C)ЭДП – (сформированность) экономическая доступность продукции.

Физическая (экономическая) доступность продукции характеризуется уровнем ее производства (потребления) на душу населения. Сформированность физической (экономической) доступности характеризует процентное соотношение уровня производства (потребления) продукции на душу населения с рациональными нормами.

Известные ученые в области эконометрических исследования заявляют, что значительная часть ключевых связей в контексте социально-экономического развития являются нелинейными [14]. Причем наибольшее распространение в исследованиях спроса и потребления получил вид уравнения производственного типа [15]. В то же время линейные модели дают наиболее понятное описание и легко интерпретируются.

В данном исследовании авторы исходят из того, что по мере роста платежеспособного спроса и формирования на этой основе экономической доступности, будет происходить рост производства и

формирования на этой основе физической доступности продукции. Поэтому предлагается подготовить модели зависимости физической от экономической доступности в процессе их формирования. Общий вид моделей выглядит следующим образом:

$$(C) \text{ ФДП} = a * (C) \text{ ЭДП}^b, \quad (2)$$

где  $a$  – свободный коэффициент уравнения;

$b$  – параметр эластичности, показывающий изменение (сформированности) физической доступности при изменении (сформированности) экономической на 1 %.

Особенность предлагаемых моделей заключается как раз том, что физическая и экономическая доступность является отражением собственного производства и внутреннего (производственное и личное) потребления продукции, в отличие от имеющихся моделей и учитывающих в целом общий спрос (включая экспорт) и предложение (включая импорт) на агропродовольственном рынке.

Информационным обеспечением настоящего исследования явился свод общероссийских данных Федеральной службы госстата по ресурсам и использованию по видам продукции на душу населения за период 1990–2021 гг., подготовленных на основе методики стратегического планирования продовольственного баланса [16]. Проверка рядов данных показала их однородность и отсутствие экстремальных значений.

### Результаты (Results)

Имитационные возможности полученных моделей позволяют описать конъюнктуру агропродовольственного рынка и показывают функциональную зависимость физической от экономической доступности в процессе их формирования до уровня рациональных норм потребления по ключевым для питания видам агропродовольственной продукции (таблица 1).

На основе данных таблицы 1 следует отметить высокое качество моделей линейного и степенного тренда. Во всех случаях (кроме фруктов и ягод) экономическая доступность с высокой долей вероятности определяет физическую доступность. Согласно степенной зависимости, спрос на картофель описывает 89 % предложения, на рыбу – 72 %, на молоко – 95 %, на мясо – 91 %, на овощи – 90 %, на яйца – 99 %. По фруктам ситуация выглядит таким образом, что спрос на них не стимулирует внутреннее производство, а влечет дополнительный ввоз продукции из-за рубежа. Такой вывод сделан на основе дополнительного корреляционно-регрессионного исследования зависимости импорта от внутреннего потребления. В рамках степенной функции спрос на фрукты описывает импорт на 92 %. Это объясняется консервативностью аграрного производства, особенно фруктов, которое в отличие от импорта не может быстро реагировать на меняющийся спрос.

<sup>3</sup> Послание Президента Федеральному Собранию от 3 декабря 2015 года. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/messages/50864> (дата обращения: 28.01.2023).

Таблица 1

**Функциональные зависимости физической доступности (y) от экономической доступности (x) по основным видам продукции**

Вид продукции	Модели	Коэффициент детерминации
Картофель	$y = 1,090 * x - 13,518$	0,894
	$y = 0,655 * x^{1,084}$	0,893
Фрукты и ягоды	$y = 0,163 * x + 12,335$	0,332
	$y = 5,464 * x^{0,337}$	0,302
Рыба и рыбопродукты	$y = -0,796 * x + 50,923$	0,703
	$y = 194,400 * x^{0,571}$	0,721
Молоко	$y = 0,977 * x - 35,028$	0,952
	$y = 0,375 * x^{1,145}$	0,950
Мясо	$y = 1,367 * x - 36,169$	0,900
	$y = 0,040 * x^{1,714}$	0,913
Овощи	$y = 0,979 * x + 0,025$	0,905
	$y = 1,080 * x^{0,978}$	0,905
Яйца	$y = 0,958x + 7,200$	0,993
	$y = 1,121 * x^{0,977}$	0,993

Источник: составлено авторами.

Table 1

**Functional dependences of availability (y) on affordability (x) by main types of products**

Product type	Models	Coefficient of determination
Potato	$y = 1.090 * x - 13.518$	0.894
	$y = 0.655 * x^{1.084}$	0.893
Fruits and berries	$y = 0.163 * x + 12.335$	0.332
	$y = 5.464 * x^{0.337}$	0.302
Fish and fish products	$y = -0.796 * x + 50.923$	0.703
	$y = 194.400 * x^{0.571}$	0.721
Milk	$y = 0.977 * x - 35.028$	0.952
	$y = 0.375 * x^{1.145}$	0.950
Meat	$y = 1.367 * x - 36.169$	0.900
	$y = 0.040 * x^{1.714}$	0.913
Vegetables	$y = 0.979 * x + 0.025$	0.905
	$y = 1.080 * x^{0.978}$	0.905
Eggs	$y = 0.958x + 7.200$	0.993
	$y = 1.121 * x^{0.977}$	0.993

Source: compiled by the authors.

Оценка эластичности степенных моделей указывает на наличие благоприятной конъюнктуры в равновесии агропродовольственного рынка. Модели зависимости предложения от спроса показывают хорошую «реакцию» уровня производства по всем видам продукции (кроме фруктов и рыбы) на изменение уровня внутреннего потребления. Так, по картофелю, повышение сформированности экономической доступности на 1 % простимулирует формирование физической доступности на 1,08 %, по молоку – 1,15 %, по мясу – на 1,71 %, по овощам – на 0,98 %, по яйцам – тоже на 0,98 %. По рыбе увеличение потребления на 1 % ведет к уменьшению ее вылова почти на 0,6 %. Путем дополнительных эконометрических расчетов выявлено, что увеличение вылова рыбы стимулируется за счет экспорта продукции, а рост внутреннего потребления ведет к увеличению импорта. Ранее схожие результаты

были получены и другими ведущими учеными России [17], которые тоже отмечают высокую экспортную ориентацию российских рыбопроизводителей.

Для описания зависимости физической доступности от экономической и разработки на этой основе стратегических прогнозов по всем видам продукции (кроме фруктов), наряду со степенными, также можно применять и линейные модели. Они описывают функциональную связь производства и потребления на душу населения в пределах 70–99 % в зависимости от вида продукции. Интерпретация коэффициентов регрессии показывает абсолютное изменение физической при изменении экономической доступности продукции. Так, к примеру, рост уровня потребления картофеля на 1 кг/чел в год ведет к росту уровня производства на 1,09 кг/чел в год.

Таблица 21

**Оценка значимости направлений использования ресурсов для стимулирования производства сельхозпродукции по критерию Стьюдента**

Вид продукции	Производственное потребление	Потери	Экспорт	Личное потребление
Картофель	0,574	0,013	0,218	0,001
Молоко	0,000	0,138	0,149	0,000
Мясо	0,462	0,231	0,062	0,000
Овощи	0,081	0,976	0,934	0,001
Яйца	0,000	0,000	0,076	0,000

Источник: разработано авторами.

Table 2

**Estimation of the significance of the use of resources to stimulate agricultural production by Student's test**

Product type	Production Consumption	Losses	Exports	Personal consumption
Potato	0.574	0.013	0.218	0.001
Milk	0.000	0.138	0.149	0.000
Meat	0.462	0.231	0.062	0.000
Vegetables	0.081	0.976	0.934	0.001
Eggs	0.000	0.000	0.076	0.000

Таблица 3

**Прогнозная оценка формирования физической в зависимости от экономической доступности основных видов продукции по степенным моделям частичного равновесия**

Вид продукции	Экономическая доступность, кг/чел.	Физическая доступность, кг/чел.	Самообеспеченность рациональных норм потребления, %
Картофель	90	86	95,6
Молоко	325	282	86,8
Мясо	73	62	84,9
Овощи	140	136	97,1
Яйца, шт/чел	260	256	98,5

Источник: разработано авторами.

Table 3

**Predictive assessment of the formation of availability, depending on affordability of the main types of products according to the power models of partial equilibrium**

Product type	Affordability, kg/person	Availability, kg/person	Self-sufficiency of rational consumption norms, %
Potato	90	86	95.6
Milk	325	282	86.8
Meat	73	62	84.9
Vegetables	140	136	97.1
Eggs, pcs/person	260	256	98.5

Source: compiled by the authors.

В развитие линейных и степенных моделей описания конъюнктуры агропродовольственного рынка проведена эконометрическая оценка значимости спроса для предложения по видам использования ресурсов (таблица 2).

Оценка направлений использования ресурсов по критерию Стьюдента показывает, что наиболее распространенным стимулом для развития производства является личное потребление, которое значимо для всех видов продукции. Производственное потребление значимо только для выпуска молока и яиц, экспорт по рассматриваемым видам продукции вообще не значим для увеличения уровня их производства.

Особняком при формировании физической доступности продукции стоит вопрос потерь. Как ни

странно, этот фактор являются значимым для производства картофеля и яиц. Поэтому его целесообразно включать в модель описания производства данных видов продукции в зависимости от направлений использования продовольственных ресурсов. Известно, что вопрос сокращения продовольственных потерь является одной из главных задач при достижении целей устойчивого развития сельского хозяйства [18]. Сохранение продовольствия стало глобальной инициативой ФАО ООН [19].

Экспериментальные расчеты на основе полученных степенных моделей частичного равновесия по всем видам продукции показывают отклонение физической доступности от экономической в процессе ее формирования до уровня рациональных норм потребления (таблица 3).

Так, если при обеспечении потребления на душу населения яиц до уровня рациональных норм (260 шт/чел в год) уровень производства достигнет отметки 256 шт/чел в год (отклонение около  $-1,6\%$ ), то уже по молоку уровень производства составит только 282 кг/чел в год при достижении уровня потребления до значений рациональных норм 325 кг/чел в год. То есть возрастание спроса на продукцию не спровоцирует мгновенного увеличения необходимого уровня производства, что подтверждает многократные выводы ученых об объективных особенностях отсутствия системы саморегулирования на агропродовольственном рынке.

Стимулирование физической доступности за счет формирования экономической доступности приведет к улучшению и стабилизации ситуации по самообеспеченности рациональных норм потребления в пределах 85–98 % в зависимости от видов продукции.

#### **Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)**

Обобщая научные результаты проведенного исследования, следует отметить, что сегодня в нашей стране имеется огромный потенциал увеличения производства и потребления продукции до уровня рациональных норм питания, рекомендованных Минздравом России. Одна из проблем реализации этого потенциала – несбалансированность темпов формирования физической и экономической доступности. По некоторым видам продукции импорт продолжает формировать значительную часть продовольственных ресурсов, особенно там, где отечественное производство не может быстро отреагировать на меняющийся спрос. Все это в определенной степени согласуется с выводами ученых о том, что

удовлетворение спроса при резком его увеличении пойдет за счет роста импорта, а не за счет увеличения отечественного производства [20]. Например, повышение спроса на говядину в отдельные периоды компенсировалось не ростом ее производства в России, а закупками в Латинской Америке [21].

Для обоснования новых сбалансированных координат точки равновесия спроса и предложения при формировании физической и экономической доступности важны соответствующие инструменты поддержки принятия стратегических решений. Применение западноевропейских моделей прогнозирования в российской практике ограничивается их общей направленностью на контроль рисков перепроизводства сельхозтоваров. Значит, прогнозы по ним пригодны только в условиях достигнутой продовольственной безопасности. Поэтому авторами предложены модели описания уровня отечественного производства от уровня внутреннего потребления на душу населения. Они показывают степень формирования физической доступности продукции в зависимости от сформированности экономической доступности.

Полученные модели вполне могут быть использованы участниками стратегического планирования и органами управления для определения уровня сформированности физической доступности продукции при достижении уровня потребления рациональных норм и внесения на этой основе корректировок в стратегические документы по развитию АПК.

#### **Благодарности (Acknowledgements)**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-10277 и бюджета Пензенской области.

#### **Библиографический список**

1. Самыгин Д. Ю. Концепция стратегического планирования в сфере продовольственной безопасности // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2021. № 2. С. 14–20.
2. Афонцев С. А. Проблемы экономической безопасности России в контексте рыночной трансформации // Социально-экономическая трансформация в России: научные доклады Московского общественного научного фонда. 2001. Вып. 131. С. 15–42.
3. Гумеров Р. Р. Продовольственная безопасность: новые подходы к анализу содержания и оценке // Проблемы прогнозирования. 2020. № 5 (182). С. 133–141. DOI: 10.1134/S107570072005007X.
4. Keleinkova S. V., Imyarekov S. M., Kataikina N. N. et al. Diagnostics and optimization of the vegetable market // Ponte. 2017. Vol. 73, No. 3. Pp. 270–283.
5. Закшевский В. Г., Богомолова И. П., Родионова Н. С., Шайкин Д. В. Реализация проектов в сфере продуктовой диверсификации как фактор повышения экономического потенциала отраслевого предприятия // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2022. № 7. С. 26–34. DOI: 10.31442/0235-2494-2022-0-7-26-34.
6. Семин А. Н., Курдюмов А. В., Мещерягина В. А. Продовольственная безопасность: социально-экономические эффекты в условиях распространения коронавирусной инфекции // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 10. С. 2–7. DOI: 10.32651/2210-2.
7. Сутыгина А. И. Национальная продовольственная независимость в условиях кризиса // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 6. С. 2–8. DOI: 10.32651/206-2.
8. Гурьянова Н. М., Позубенкова Э. И., Сологуб Н. Н., Рассыпнова Ю. Ю. Оценка уровня физической доступности продовольствия Пензенской области по отдельным видам сельскохозяйственной продукции // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (69). С. 234–239.

9. Сбитнев Н. А., Чернов С. А. Стратегическое планирование развития АПК в обеспечении экономико-продовольственной безопасности России // Аграрный вестник Урала. 2022. Спецвыпуск «Экономика». С. 80–89. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-228-13-80-89.
10. Kozhakhmetova G. A., Lashkareva O. V., Taipov T. A. Food security as a priority of agricultural policy / G. A. Kozhakhmetova // Problems of AgriMarket. 2018. No. 2. Pp. 43–49.
11. Исаева О. В. Современное состояние и прогнозная модель развития аграрной структуры отечественного АПК // Аграрный вестник Урала. 2022. № 06 (221). С. 78–87. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-78-87.
12. Gusmanov R., Salimova G., Stovba E., Paptsov A., Gusmanov N. Scenario Forecasting of the Agri-Food Sphere in Rural Territories Development in the Conditions of Digital Economy Formation // Journal of Industrial Integration and Management: Innovation and Entrepreneurship. 2022. Vol. 7. No. 2. Pp. 257–272. DOI: 10.1142/S2424862222500063.
13. Самыгин Д. Ю., Барышников Н. Г., Мизюркина Л. А. Модели сценарного прогнозирования развития сельского хозяйства региона // Экономика региона. 2019. Т. 15. № 3. С. 865–879. DOI: 10.17059/2019-3-18.
14. Aivazian S., Afanasiev M., Kudrov A. Indicators of Regional Development Using Differentiation Characteristics // Montenegrin Journal of Economics. 2018. Vol. 14. Iss. 3. Pp. 7–22. DOI: 10.14254/1800-5845/2018.14-3.1.
15. Karelina M. G., Mkhitarian V. S. Econometric approach to classification of branches of the Russian economy at the corporate integration level // Приложение математики в экономических и технических исследованиях. 2019. № 1 (9). С. 45–48.
16. Самыгин Д. Ю. Методика стратегического планирования продовольственного баланса: направления совершенствования и результаты апробации // Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. 2021. Т. 16. № 3. С. 291–302. DOI: 10.17072/1994-9960-2021-3-291-302.
17. Korneiko O. V., Rogaleva N. L. The threats to food security // Amazonia Investiga. 2018. Vol. 7. No. 16. Pp. 232–242.
18. ФАО представила международный опыт по сокращению потерь продовольствия и пищевых отходов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org/russian-federation/news/detail-events/ru/c/1178597> (дата обращения: 25.04.2022).
19. Глобальная инициатива ФАО SAVE FOOD. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.save-food.org> (дата обращения: 11.07.2022).
20. Крылатых Э., Белова Т. Импортозамещение в контексте гармонизации агропродовольственной сферы России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2016. № 1. С. 58–64.
21. Ученые выяснили, как развал колхозов повлиял на выбросы парниковых газов [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rfbr.ru/rffi/ru/science\\_news/o\\_2089988](https://www.rfbr.ru/rffi/ru/science_news/o_2089988) (дата обращения: 08.04.2023).

**Об авторах:**

Денис Юрьевич Самыгин<sup>1</sup>, доктор экономических наук, профессор, ORCID 0000-0002-5715-1227, AuthorID 3772-7798; +7 906 398-59-32, [vekонт82@mail.ru](mailto:vekонт82@mail.ru)

Александр Александрович Иванов<sup>2</sup>, кандидат экономических наук, доцент, ORCID 0000-0002-0445-3301, AuthorID 1010109; +7 906 158-60-12, [aaivanov58@mail.ru](mailto:aaivanov58@mail.ru)

Елена Витальевна Губанова<sup>3</sup>, кандидат экономических наук, доцент, ORCID 0000-0001-7922-8400, AuthorID 8710-5253; +7 920 617-60-05, [el-gubanova@yandex.ru](mailto:el-gubanova@yandex.ru)

<sup>1</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>2</sup> Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

<sup>3</sup> Калужский филиал Финансового университета, Калуга, Россия

## Strategic forecasts of partial equilibrium of the products physical and economic accessibility

D. Yu. Samygin<sup>1</sup>✉, A. A. Ivanov<sup>2</sup>, E. V. Gubanova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Penza State University, Penza, Russia

<sup>2</sup> Penza State Agrarian University, Penza, Russia

<sup>3</sup> Kaluga branch of the Financial University, Kaluga, Russia

✉ E-mail: [vekонт82@mail.ru](mailto:vekонт82@mail.ru)

**Abstract. Purpose.** Preparation of forecasting models to describe the balance of domestic production and domestic consumption of products, taking into account the new mission of strategic planning of the agri-food sector, related



to ensuring physical and economic accessibility at the level of rational consumption rates for every citizen of the country. The implementation of the mission is based on the scientific position on food independence in the process of solving food problems. At the present stage, there is a significant potential for increasing the production and consumption of products per capita to the level of rational norms recommended by the Russian Ministry of Health. The fundamental difficulty in solving the problem is due to the lack of balance between the pace of formation of physical and economic accessibility. **Methods.** Scientific and theoretical generalization of the simulation capabilities of Western European forecasting models, econometric description of physical accessibility depending on economic accessibility for the main types of products. Information support was a set of all-Russian data on resources and their use by types of products for the period 1990–2021, prepared on the basis of the author's methodology for strategic planning of the food balance. **Scientific novelty** lies in the development of functional models of partial equilibrium of the agri-food market, showing the dependence of physical accessibility on economic accessibility for the main types of products. **Results.** The calculation results show that the stimulation of physical accessibility through the formation of economic accessibility will lead to improvement and stabilization of the situation in terms of self-sufficiency of rational consumption rates. The resulting models can be used by the participants of strategic planning and management bodies as tools to support the adoption of strategic decisions to determine the level of formation of the physical availability of products when the level of consumption of rational norms is reached and, on this basis, to make adjustments to the strategic documents for the development of the agro-industrial complex. **Keywords:** forecasting models, agri-food sector, food security, physical accessibility, economic accessibility, rational consumption rates, domestic consumption, domestic production.

**For citation:** Samygin D. Yu., Ivanov A. A., Gubanova E. V. Strategicheskie prognozy chastichnogo ravnovesiya fizicheskoy i ekonomicheskoy dostupnosti produktsii [Strategic forecasts of partial equilibrium of the products physical and economic accessibility] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 06 (235). Pp. 111–120. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-111-120. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 21.04.2023, **date of review:** 12.05.2023, **date of acceptance:** 19.05.2023.

#### References

1. Samygin D. Yu. Kontseptsiya strategicheskogo planirovaniya v sfere prodovol'stvennoy bezopasnosti [The concept of strategic planning for food security] // Economy of agricultural and processing enterprises. 2021. No. 2. Pp. 14–20. (In Russian.)
2. Afontsev S. A. Problemy ekonomicheskoy bezopasnosti Rossii v kontekste rynochnoy transformatsii [Problems of economic security of Russia in the context of market transformation] // Sotsial'no-ekonomicheskaya transformatsiya v Rossii: nauchnye doklady Moskovskogo obshchestvennogo nauchnogo fonda. 2001. Vol. 131. Pp. 15–42. (In Russian.)
3. Gumerov R. R. Prodovol'stvennaya bezopasnost': novye podhody k analizu sodержaniya i otsenke [Food security: new approaches to content analysis and evaluation] // Studies on Russian Economic Development. 2020. No. 5 (182). Pp. 133–141. DOI: 10.1134/S107570072005007X. (In Russian.)
4. Keleinikova S. V., Imyarekov S. M., Kataikina N. N. et al. Diagnostics and optimization of the vegetable market // Ponte. 2017. Vol. 73, No. 3. Pp. 270–283.
5. Zakshevskiy V. G., Bogomolova I. P., Rodionova N. S., Shaykin D. V. Realizatsiya proektov v sfere produktovoy diversifikatsii kak faktor povysheniya ekonomicheskogo potentsiala otraslevogo predpriyatiya [Implementation of projects in the field of product diversification as a factor in increasing the economic potential of an industry enterprise] // Economy of agricultural and processing enterprises. 2022. No. 7. Pp. 26–34. DOI: 10.31442/0235-2494-2022-0-7-26-34. (In Russian.)
6. Semin A. N., Kurdyumov A. V., Meshcheryagina V. A. Prodovol'stvennaya bezopasnost': sotsial'no-ekonomicheskie efekty v usloviyakh rasprostraneniya koronavirusnoy infektsii [Food security: socio-economic effects in the context of the spread of coronavirus infection] // Economics of Agriculture of Russia. 2022. No. 10. Pp. 2–7. DOI: 10.32651/2210-2. (In Russian.)
7. Sutygina A. I. Natsional'naya prodovol'stvennaya nezavisimost' v usloviyakh krizisa [National food independence in the context of the crisis] // Economics of Agriculture of Russia. 2020. No. 6. Pp. 2–8. DOI: 10.32651/206-2. (In Russian.)
8. Gur'yanova N. M., Pozubenkova E. I., Sologub N. N., Rassypnova Yu. Yu. Otsenka urovnya fizicheskoy dostupnosti prodovol'stviya Penzenskoy oblasti po otdel'nym vidam sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Assessment of the level of physical availability of food in the Penza region for certain types of agricultural products] // Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2022. No. 2 (69). Pp. 234–239. (In Russian.)

9. Sbitnev N. A., Chernov S. A. Strategicheskoe planirovanie razvitiya APK v obespechenii ekonomiko-prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii [Strategic planning for the development of the agro-industrial complex in ensuring the economic and food security of Russia] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Special issue "Economy". Pp. 80–89. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-228-13-80-89 (In Russian).
10. Kozhakhmetova G. A., Lashkareva O. V., Taipov T. A. Food security as a priority of agricultural policy / G. A. Kozhakhmetova // Problems of AgriMarket. 2018. No. 2. Pp. 43–49.
11. Isaeva O. V. Sovremennoe sostoyanie i prognoznaya model' razvitiya agrarnoy struktury otechestvennogo APK [The current state and predictive model for the development of the agrarian structure of the domestic agro-industrial complex] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 06 (221). Pp. 78–87. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-78-87. (In Russian.)
12. Gusmanov R., Salimova G., Stovba E., Paptsov A., Gusmanov N. Scenario Forecasting of the Agri-Food Sphere in Rural Territories Development in the Conditions of Digital Economy Formation // Journal of Industrial Integration and Management: Innovation and Entrepreneurship. 2022. Vol. 7. No. 2. Pp. 257–272. DOI: 10.1142/S2424862222500063.
13. Samygin D. Yu., Baryshnikov N. G., Mizyurkina L. A. Modeli stsenarnogo prognozirovaniya razvitiya sel'skogo khozyaystva regiona [Models of scenario forecasting for the development of agriculture in the region] // Economy of regions. 2019. Vol. 15. No. 3. Pp. 865–879. DOI: 10.17059/2019-3-18. (In Russian.)
14. Aivazian S., Afanasiev M., Kudrov A. Indicators of Regional Development Using Differentiation Characteristics // Montenegrin Journal of Economics. 2018. Vol. 14. Iss. 3. Pp. 7–22. DOI: 10.14254/1800-5845/2018.14-3.1.
15. Karelina M. G., Mkhitarian V. S. Econometric approach to classification of branches of the Russian economy at the corporate integration level // Prilozhenie matematiki v ekonomicheskikh i tekhnicheskikh issledovaniyakh. 2019. No. 1 (9). Pp. 45–48.
16. Samygin D. Yu. Metodika strategicheskogo planirovaniya prodovol'stvennogo balansa: napravleniya sovershenstvovaniya i rezul'taty aprobatsii [Methods of strategic planning of food balance: directions of improvement and results of approbation] // Perm University Herald. Series "Economy". 2021. Vol. 16. No. 3. Pp. 291–302. DOI: 10.17072/1994-9960-2021-3-291-302. (In Russian.)
17. Korneiko O. V., Rogaleva N. L. The threats to food security // Amazonia Investiga. 2018. Vol. 7. No. 16. Pp. 232–242.
18. FAO predstavila mezhdunarodnyy opyt po sokrashcheniyu poter' prodovol'stviya i pishchevykh otkhodov [FAO presented international experience on reduction of food losses and food waste] [e-resource]. URL: <http://www.fao.org/russian-federation/news/detail-events/ru/c/1178597> (date of reference: 25.04.2022). (In Russian.)
19. Global'naya initsiativa FAO "SAVE FOOD" [FAO's SAVE FOOD Global Initiative] [e-resource]. URL: <https://www.save-food.org> (date of reference: 11.07.2022).
20. Krylatykh E., Belova T. Importozameshchenie v kontekste garmonizatsii agroprodovol'stvennoy sfery Rossii [Import substitution in the context of harmonization of the agro-food sector in Russia] // International Agricultural Journal. 2016. No. 1. Pp. 58–64. (In Russian.)
21. Uchenye vyyasnili, kak razval kolkhozov povliyal na vybrosy parnikovyykh gazov [Scientists have found out how the collapse of collective farms affected greenhouse gas emissions] [e-resource]. URL: [https://www.rfbr.ru/rffi/ru/science\\_news/o\\_2089988](https://www.rfbr.ru/rffi/ru/science_news/o_2089988) (date of reference: 08.07.2022). (In Russian.)

#### **Authors' information:**

Denis Yu. Samygin<sup>1</sup>, doctor of economic sciences, professor, ORCID 0000-0002-5715-1227, AuthorID 3772-7798; +7 906 398-59-32, [vekont82@mail.ru](mailto:vekont82@mail.ru)

Aleksandr A. Ivanov<sup>2</sup>, candidate of economic sciences, associate professor, ORCID 0000-0002-0445-3301, AuthorID 1010109; +7 906 158-60-12, [aaivanov58@mail.ru](mailto:aaivanov58@mail.ru)

Elena V. Gubanova<sup>3</sup>, candidate of economic sciences, associate professor, ORCID 0000-0001-7922-8400, AuthorID 8710-5253; +7 920 617-60-05, [el-gubanova@yandex.ru](mailto:el-gubanova@yandex.ru)

<sup>1</sup> Penza State University, Penza, Russia

<sup>2</sup> Penza State Agrarian University, Penza, Russia

<sup>3</sup> Kaluga branch of the Financial University, Kaluga, Russia

**Учредитель и издатель:**

**Уральский государственный аграрный университет**

**Адрес учредителя, издателя и редакции:**

**620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42**



**Уральский государственный  
аграрный университет**

**Founder and publisher:**

**Ural State Agrarian University**

**Address of founder, publisher and editorial board:**

**620075, Russia, Ekaterinburg, 42 K. Liebkecht str.**

**Подписной индекс 16356 в объединенном каталоге «Пресса России»**

**Редакция журнала:**

*A. V. Ручкин* – кандидат социологических наук, шеф-редактор

*O. A. Багрецова* – ответственный редактор

*A. V. Ерофеева* – редактор

*N. A. Предеина* – верстка, дизайн

**Editorial:**

*A. V. Ruchkin* – candidate of sociological sciences, chief editor

*O. A. Bagretsova* – executive editor

*A. V. Erofeeva* – editor

*N. A. Predeina* – layout, design

Учредитель и издатель: Уральский государственный аграрный университет.

Адрес учредителя, издателя и редакции: 620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Ответственный редактор: факс (343) 350-97-49.

*E-mail:* [agro-ural@mail.ru](mailto:agro-ural@mail.ru) (для материалов).

Издание зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Все публикуемые материалы проверяются в системе «Антиплагиат».

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12831 от 31 мая 2002 г.

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве Уральского аграрного университета.

620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Отпечатано в ООО Издательский Дом «Ажур».

620075, г. Екатеринбург, ул. Восточная, д. 54.

Дата выхода в свет: 01.06.2023 г. Усл. печ. л. 14,0. Авт. л. 10,3.

Тираж: 2000 экз. Цена: в розницу свободная.

