

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

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS

2021
№02 (205)

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)
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)
Б. А. Воронин, Уральский ГАУ (Екатеринбург, Россия)
Э. Д. Джавадов, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт птицеводства (Ломоносов, Россия)
Л. И. Дроздова, Уральский ГАУ (Екатеринбург, Россия)
А. С. Донченко, академик РАН, Институт экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока (Новосибирск, 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. Мырнин, ОАО «Уралплемцентр» (Екатеринбург, Россия)
М. С. Норов, Таджикский аграрный университет имени Шириншо Шотемур (Душанбе, Таджикистан)
В. С. Паштетский, 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)
А. Г. Самоделькин, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия (Нижний Новгород, 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, доктор ветеринарных наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, директор, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (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 Sótónyi (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)
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)
Boris A. Voronin, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
Eduard D. Dzhabadov, All-Russian Research and Technological Poultry Institute (Lomonosov, Russia)
Lyudmila I. Drozdova, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
Aleksandr S. Donchenko, Academician of the Russian Academy of Sciences, Institute of Experimental Veterinary Science of Siberia and the Far East (Novosibirsk, Russia)
Nikita N. Zezin, Ural Research Institute of Agriculture (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, “Uralplemtsentr” (Ekaterinburg, Russia)
Mastibek S. Norov, Tajik Agrarian University named after Shirinsho Shotemur (Dushanbe, Tajikistan)
Vladimir S. Pashtetskiy, 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
Aleksandr G. Samodelkin, Nizhniy Novgorod State Agricultural Academy (Nizhniy Novgorod, 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, doctor of veterinary sciences, professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, director, Ural Federal Agrarian Research Center of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (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

eLIBRARY.RU

CYBERLENINKA

Содержание

Агротехнологии

- А. А. Афонин* 2
Инфраниантные ритмы динамики нарастания побегов
в клонах ивы трехтычинковой (*Salix triandra*)
- В. П. Белобров, В. К. Дридигер,
С. А. Юдин, Н. Р. Ермолаев* 12
К вопросу о диагностике и защите почв
от дефляции в Ставропольском крае
- А. М. Горбунова* 26
Изменение кормовых запасов оленьих пастбищ
в южных субарктических тундрах Ямала
- В. А. Гулидова* 33
Изучение элементов технологии ярового рыжика
в лесостепи Центрального Черноземья
- Ю. А. Овсянников* 41
Флуоресценция хлорофилла кукурузы
и механизм повышения ее урожайности
при внесении минеральных удобрений
- А. В. Солонкин, В. П. Зволинский, Т. И. Александрова* 48
Производственная эффективность выращивания сортов
сливы в аридных условиях Астраханской области

Биология и биотехнологии

- Е. Г. Виноградова* 56
Реакция семян и эксплантов льна
на осмотический стресс
- Ю. С. Казутова, А. А. Бальников, И. Ф. Гридюшко* 65
Показатели мясной продуктивности свиней пород
ландрас и йоркшир в зависимости от генотипов
по генам *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4*
- М. Ю. Karpukhin, А. М. Yussef* 72
Electing superior trees: a study
on the phenotypic traits of stone pine (*Pinus pinea* L.)
- А. А. Реут, А. Р. Биглова, И. Н. Аллаярова* 79
Сравнительный анализ химического состава
растительного сырья некоторых представителей родов
Narcissus L. и *Camassia* Lindl.
- М. К. Симанков, Л. М. Колбина* 91
Морфо-этологическая характеристика медоносных пчел
Apis mellifera L. Пермского края

Contents

Agrotechnologies

- A. A. Afonin*
Infradian rhythms of increment dynamics
of shoots in clones of almond willow (*Salix triandra*)
- V. P. Belobrov, V. K. Dridiger,
S. A. Yudin, N. R. Ermolaev*
To the question of diagnostics and protection
of soils from deflation in Stavropol territory
- A. M. Gorbunova*
Change of feed stocks
in southern subarctic tundra of Yamal
- V. A. Gulidova*
Study of elements of spring camelina technology in the
forest-steppe of the Central Chernozem region
- Yu. A. Ovsyannikov*
Fluorescence of corn chlorophyll
and the mechanism of increasing
its yield when applying mineral fertilizers
- A. V. Solonkin, V. P. Zvolinskiy, T. I. Aleksandrova*
Production efficiency of cultivation of plum varieties under
arid conditions of the Astrakhan region

Biology and biotechnologies

- E. G. Vinogradova*
Reaction of flax seeds and explants to osmotic stress
- Yu. S. Kazutova, A. A. Balnikov, I. F. Gridyushko*
Indicators of meat performance of Landrace
and Yorkshire breeds of pigs depending on genotypes
according to genes *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4*
- M. Yu. Karpukhin, A. M. Yussef*
Electing superior trees: a study
on the phenotypic traits of stone pine (*Pinus pinea* L.)
- A. Reut, A. R. Biglova, I. N. Allayarova*
Comparative analysis of the chemical composition
of plant materials of some representatives
of the genera *Narcissus* L. and *Camassia* Lindl.
- M. K. Simankov, L. M. Kolbina*
The morpho-ethological characteristics of honey bees
Apis mellifera L. of Perm region

Инфраниантные ритмы динамики нарастания побегов в клонах ивы трехтычинковой (*Salix triandra*)

А. А. Афонин¹✉

¹Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского, Брянск, Россия

✉E-mail: afonin.salix@gmail.com

Аннотация. Цель исследования – гармонический анализ структуры сезонной динамики суточного прироста побегов в клонах ивы трехтычинковой (*Salix triandra*). **Методология и методы исследования.** Объект – модельная популяция, созданная черенкованием сибсовых семян из одной семьи, полученной путем регулярного инбридинга на протяжении трех поколений. Материал – растущие прутьевидные побеги. Экспериментальная группа – семь клонов из черенковых саженцев первого года жизни; повторность 6-кратная. Контрольная группа – сеянцы из той же семьи на собственных корнях четвертого года жизни. Методы: сравнительно-морфологический, хронобиологический, численный анализ временных рядов. Наблюдения велись на протяжении вегетационного периода 2020 г. **Результаты.** Начало роста побегов – конец первой декады мая. Максимальный суточный прирост – в начале лета (06.06–14.06). Далее суточный прирост неравномерно снижался до конца августа. Сезонная динамика суточного прироста определяется взаимодействием линейных и нелинейных компонент. Линейные компоненты определяют сезонный тренд динамики суточного прироста. Аппроксимируются соответствующими уравнениями регрессии с различной надежностью. Нелинейные компоненты определяют цикличность сезонной динамики суточного прироста. Аппроксимируются суммами гармоник с периодом колебаний 9–144 суток с очень высокой надежностью. **Научная новизна.** Цикличность сезонной динамики суточного прироста определяется взаимодействием биоритмов с различными периодами. Субаннуальные биоритмы с периодом свыше 48 суток корректируют сезонные тренды суточного прироста. Инфраниантные биоритмы с периодом 9–36 суток определяют чередование пиков и провалов в сезонной динамике суточного прироста. Биоритмы с периодом 29–36 суток синхронизированы в экспериментальной и контрольной группах, но смещены по фазе при сравнении эксперимента и контроля. Биоритмы с периодом от 21 до 24 суток синхронизированы на всех исследованных побегах. Биоритмы с периодом 9–18 суток не синхронизированы, однако их результирующие колебания влияют на динамику суточного прироста в начале и в конце вегетационного периода.

Ключевые слова: ива трехтычинковая, *Salix triandra*, черенковые саженцы, однолетние побеги, суточный прирост, сезонная динамика, инфраниантные биоритмы, синхронизация биоритмов.

Для цитирования: Афонин А. А. Инфраниантные ритмы динамики нарастания побегов в клонах ивы трехтычинковой (*Salix triandra*) // Аграрный вестник Урала. 2021. № 02 (205). С. 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-2-11.

Дата поступления статьи: 15.01.2021.

Постановка проблемы (Introduction)

Ивы (*Salix* L.) – это центральный род семейства Salicaceae Mirb. (1815) порядка Malpighiales Juss. ex Bercht. & J. Presl (1820) отдела Magnoliophyta (Angiospermae) [1, с. 3]. Включает 450–520 видов с более чем 200 известными гибридами [2, с. 1]. Многие ивы находят применение в самых разнообразных областях человеческой деятельности благодаря таким качествам, как быстрый рост, способность к размножению черенками, стрессоустойчивость [3, с. 1]. Эти виды *Salix* и их гибриды культивируются с целью получения высококачественного прута для плетения, древесной биомассы и химического сырья, а также используются в различных экологических проектах, включая противоэрозионные и фиторемедиационные [4, с. 97], [5, с. 526].

Ива трехтычинковая (*Salix triandra* L.) – широко известный представитель кустарниковых ив Старого Света. Традиционно относится к секции *Amygdalinae* Koch, 1837

(*Triandrae* Dum., 1825) подрода *Salix* Nas., 1936 (*Amerina* Dum., 1862) (s. l.) [6, с. 103–104]. По результатам молекулярно-генетических исследований таксон *Triandrae* заслуживает статуса самостоятельного подрода [7, с. 29], [8, с. 3571]. С цитогенетической точки зрения *S. triandra* – диплоид ($2n = 2x = 38$) [9, с. 176], размер генома составляет 386 Mb [3, с. 1]. Вследствие небольшого генома используется как модельный объект для получения новой ценной информации [10, с. 1].

Является признанной культурой, выращиваемой в режимах коппинга для изготовления корзиночных материалов [11, с. 1]. Используется для создания защитных насаждений, в т. ч. для фиторемедиации почв, загрязненных нефтепродуктами [12, с. 4723]. Отличный медонос [8, с. 3571]. Перспективный источник фармацевтического сырья [13, с. 318]. Традиционный объект лесной селекции [14, с. 1608]. Для создания устойчивых высокопродуктивных

культур *Salix* необходимо соблюдать правила подготовки посадочных мест, заготовки и посадки черенков, а также ухода за черенковыми саженцами [15, с. 257], [16, с. 796].

Деревья и кустарники демонстрируют богатое разнообразие ритмических явлений, которые обусловлены либо факторами окружающей среды, либо влиянием эндогенных осцилляторов [17, с. 1], причем синхронизация осцилляторов даже самого простого вида до сих пор не совсем понятна [18, с. 69]. Функции внешних синхронизаторов ритмов развития побегов могут выполнять как температурные факторы, так и изменение продолжительности светового дня [19, с. 278], [20, с. 5397]. У изученных видов *Populus* (Salicoids, Salicaceae) в зимующих почках обнаружено два типа метамеров. Вначале формируются ранние метамеры в базальной части побегов, а с формированием поздних метамеров начинается бурный рост основной части побегов [21, с. 699]. Ритм роста побегов древесных растений складывается из целой серии разных ритмов [22, с. 71]. Инфраниантные (многодневные) биоритмы достаточно хорошо изучены у животных с их сложными регуляторными системами, однако механизмы синхронизации этих биоритмов между разными особями недостаточно изучены [23, с. 152].

Изменчивости адаптивных и хозяйственно-ценных признаков в клонах *Salix* посвящен ряд исследований [24, с. 174], [25, с. 703]. Цель нашего исследования: – гармонический анализ структуры сезонной динамики суточного прироста побегов в клонах *S. triandra*.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились в салицетуме Брянского государственного университета (53°16'23.50" с. ш., 34°21'11.50" в. д.). Объект – модельная инбредно-клоновая популяция *S. triandra*. Материал – растущие прутьевидные побеги на черенковых саженцах первого года жизни. Для создания модельной популяции использовалась разработанная нами система популяционно-клоновой селекции *Salix* [26, с. 18]. Родоначальники клонов – сибсы из генетически выровненной семьи, полученной путем регулярного инбридинга в трех семенных поколениях *S. triandra* [27, с. 22].

Модельное инбредно-клоновое насаждение создано весной 2020 г. путем посадки черенков, нарезанных из нижних частей маточных побегов сибсовых сеянцев-родоначальников. Количество клонов – 7, повторность – 6-кратная, общее число черенковых саженцев – 42. В качестве контроля использовались сибсы родоначальников клонов – четырехлетние сеянцы на собственных корнях (4 шт.). Каждый черенковый саженец формировался в один побег, каждый контрольный сеянец – в два побега на низком штамбе. Технология создания данного насаждения описана нами ранее [28, с. 19].

Наблюдения за развитием побегов проводили на протяжении вегетационного периода 2020 г.: с 09.05 по 29.08. Каждые 4 суток замеряли длину побегов: L , см. Выполнено 1217 измерений L . В итоге получили эмпирические траектории роста – $L(\vartheta)$, см – временные ряды, отражающие зависимость длины побегов L от календарной даты ϑ вегетационного периода 2020 г.

При описании временных рядов использовалась терминология, принятая в гармоническом анализе [29].

На основании рядов $L(\vartheta)$ вычислили ряды сезонной динамики суточного прироста побегов – $\Delta L(\vartheta)$, см/сут – выровненные временные ряды, отражающие зависимость суточного прироста побегов ΔL от календарной даты ϑ вегетационного периода 2020 г. При вычислении ΔL использовался метод скользящей рамки с интервалом 8 суток и шагом 4 суток. Вычислено 1117 значений ΔL .

Для анализа сезонной динамики суточного прироста побегов использовали алгоритм, подробно описанный ранее [30, с. 44]:

1. Вычисление линейных трендов динамики суточного прироста – $\Delta L(t)_{lin}$, см/сут.
2. Вычисление рядов отклонений суточного прироста от линейных трендов – $dL(t)$, см/сут.
3. Аппроксимация рядов отклонений $dL(t)$ суммами гармонических колебаний (гармоник) с периодом τ , сут.

Коэффициенты уравнений гармонических колебаний вычисляли итерационным методом, используя возможности MS Office Excel. Достоверность аппроксимации оценивали, используя F -критерий Фишера и коэффициент детерминации R^2 .

Результаты (Results)

В экспериментальных клонах активный рост побегов начался в конце первой декады мая. Самые слабые побеги (окончательная длина $L = 125...137$ см) завершили рост к 20.07. Часть побегов (окончательная длина $L = 125...193$ см) завершила рост к 05.08. Оставшиеся побеги (окончательная длина $L = 146...288$ см) продолжили рост до 25.08. В контрольной группе сеянцев активный рост побегов начался в первых числах мая и завершился к 29.08; окончательная длина побегов составила $L = 278...330$ см. Для дальнейшего анализа были использованы побеги саженцев экспериментальных клонов длиной 125...215 см (от 2 до 5 саженцев каждого клона) общим числом 27 шт. Предварительное описание сезонной динамики суточного прироста побегов дано нами ранее [28, с. 19].

Максимальный прирост побегов – 3,0...4,9 см/сут – выявлен в период с 06.06 по 14.06. При вычислении линейных трендов динамики $\Delta L(t)_{lin}$ за исходный день наблюдений ($t = 1$) была принята дата 06.06, предшествующая максимальным приростам. Надежность линейной аппроксимации варьируется в пределах $R^2 = 0,425...0,928$. Соответственно, влияние нелинейных (точнее, криволинейных) компонент на сезонную динамику суточного прироста побегов в летний период составляет 0,072...0,575. Линейные тренды суточного прироста побегов охарактеризовались отрицательной динамикой: расчетный суточный прирост убывает от 2,5...4,5 см/сут до 1,3 и менее см/суток. Фактор клона для линейных трендов не установлен.

Графики рядов отклонений фактического суточного прироста от линейных трендов – $dL(\vartheta)$ – показаны на рис. 1 (клоны, представленные объемом в 5 саженцев, обозначены разными цветами: красным, зеленым, синим; средний ряд $\Delta L(\vartheta)_{av}$ показан маркерами ●; особые точки показаны увеличенными маркерами).

В экспериментальных клонах сезонная динамика $dL(\vartheta)$ носит циклический характер, обусловленный чередованием пиков и провалов dL . Фактор клона для рядов $dL(\vartheta)$ не установлен. Аналогичные закономерности сезонной динамики $dL(\vartheta)$ выявлены в контрольной группе сеянцев.

Эмпирические ряды с исключительно высокой надежностью – $P < 0,001$ (при девяти итерациях) – были аппроксимированы суммами гармоник с периодом колебаний τ от 9 до 144 суток. В соответствии с периодом колебаний гармоник было выделено две группы биоритмов развития побегов: субаннуальные (субсезонные, с периодом $\tau > 48$ суток) и инфрадианные (многодневные, с периодом $\tau = 9...36$ суток). Субаннуальные биоритмы, корректирующие сезонные тренды, в данном исследовании не анализировались.

Графики гармоник, аппроксимирующих инфрадианные биоритмы с периодом $\tau = 29...36$ суток, показаны на

рис. 2 (цветовая легенда та же, что на рис. 1; маркером + показаны графики контрольной группы сеянцев).

На всех побегах экспериментальных клонов биоритмы с периодом $\tau = 29...36$ суток синхронизированы между собой. Соответствующие графики в группе контрольных сеянцев значительно смещены на более поздние сроки. В результате рассматриваемые биоритмы экспериментальных клонов и контрольной группы сеянцев находятся в противофазе относительно друг друга.

Графики гармоник, аппроксимирующих инфрадианные биоритмы с периодом τ от 21 до 24 суток, показаны на рис. 3 (обозначения те же, что на рис. 2).

Биоритмы с периодом τ от 21 до 24 суток синхронизированы между собой и на побегах экспериментальных клонов, и на побегах контрольной группы сеянцев. Иначе биоритмы экспериментальных клонов и контрольной группы сеянцев находятся в синфазе относительно друг друга.

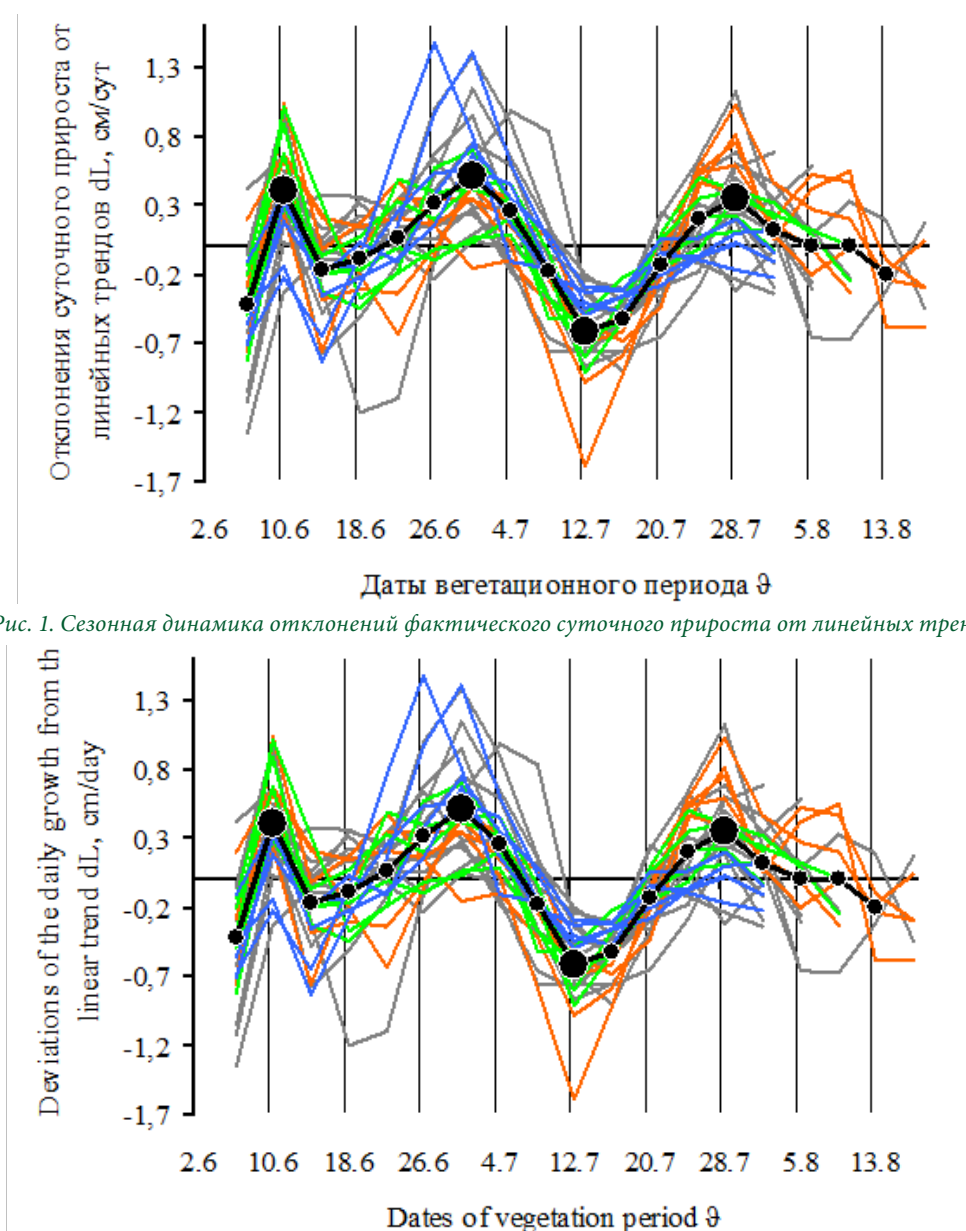


Рис. 1. Сезонная динамика отклонений фактического суточного прироста от линейных трендов

Fig. 1. Seasonal dynamics of deviations of the actual daily growth from linear trends

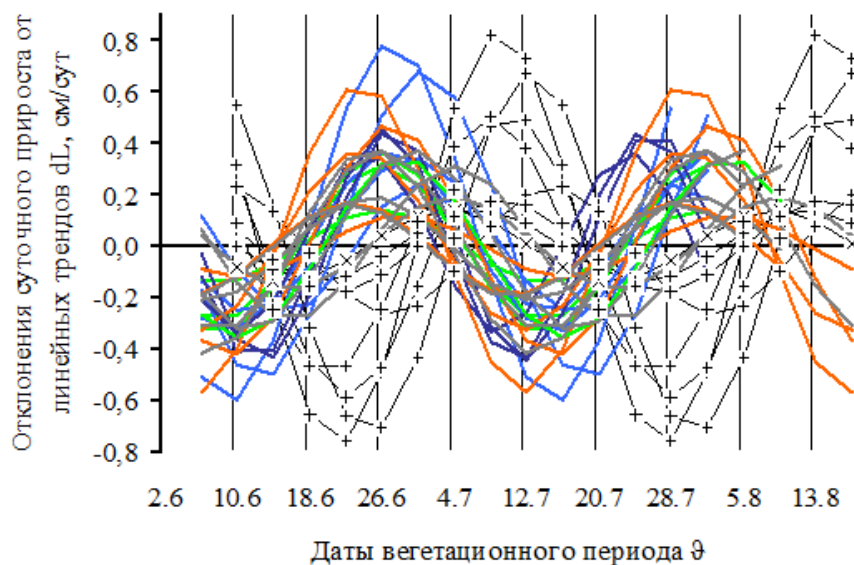


Рис. 2. Гармонические компоненты колебаний отклонений фактического суточного прироста от линейных трендов с периодом $\tau = 29...36$ суток

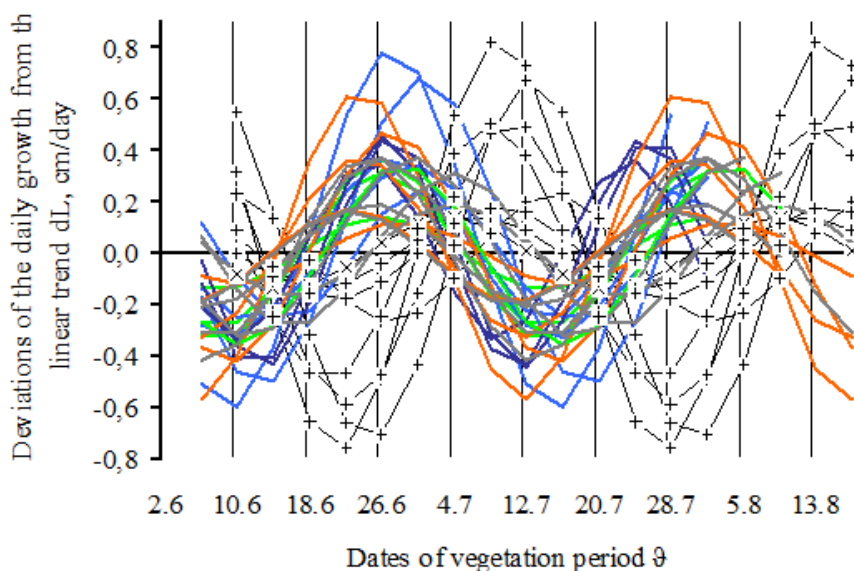


Fig. 2. Harmonic components of fluctuations of deviations of the actual daily increment from linear trends with a period $\tau = 29...36$ days

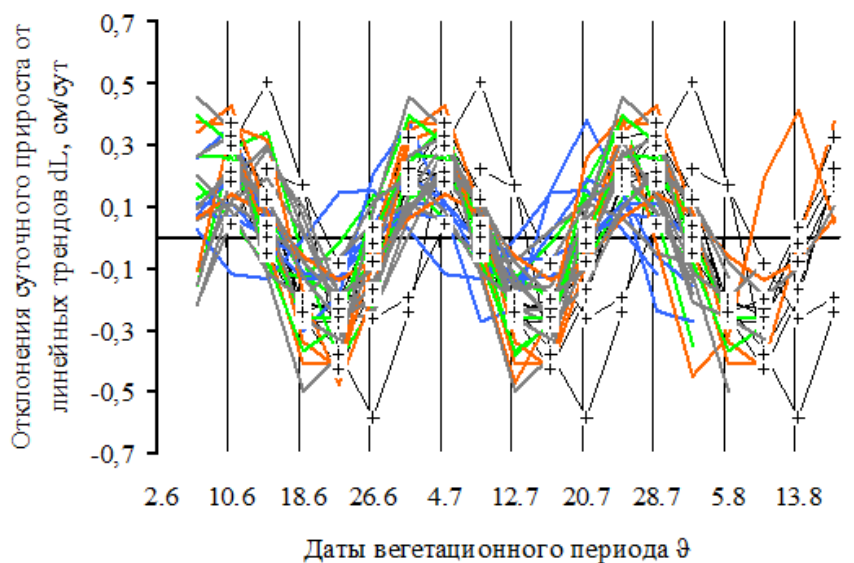


Рис. 3. Гармонические компоненты колебаний отклонений фактического суточного прироста от линейных трендов с периодом τ от 21 до 24 суток

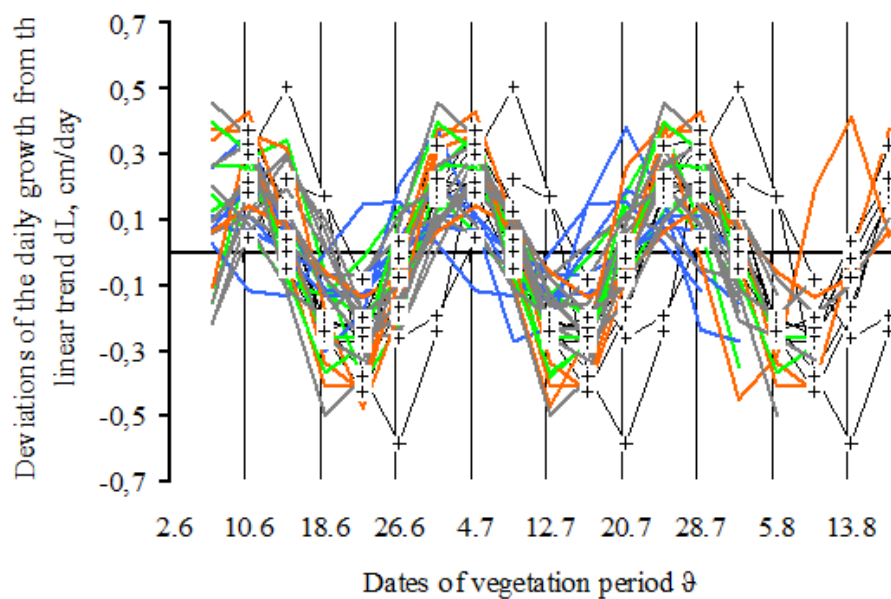


Fig. 3. Harmonic components of fluctuations of deviations of the actual daily increment from linear trends with a period $\tau = 21...24$ days

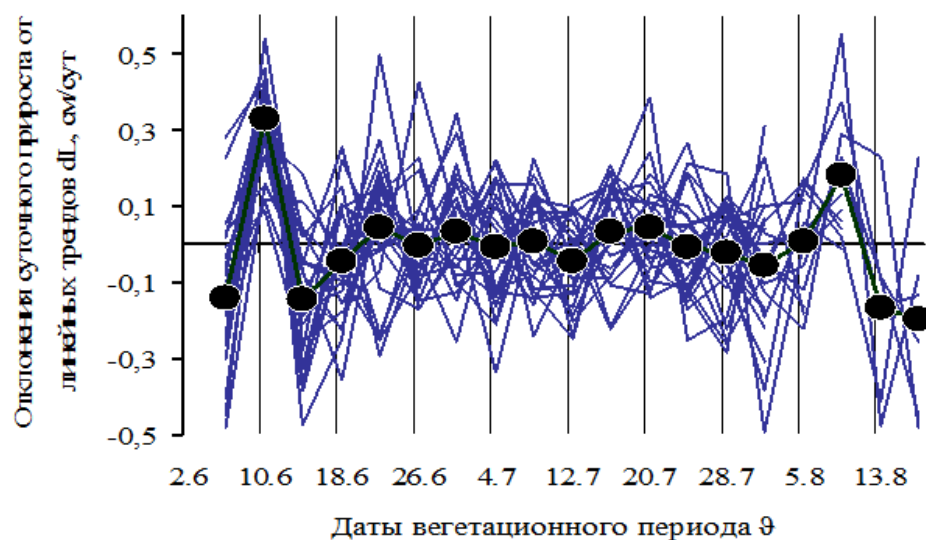


Рис. 4. Ангармонические компоненты колебаний отклонений фактического суточного прироста от линейных трендов с периодом $\tau = 9...18$ суток

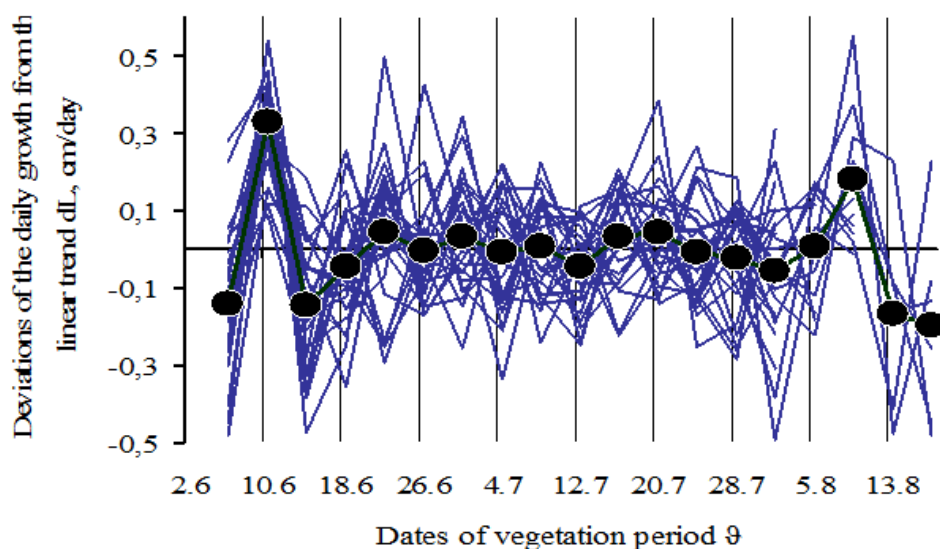


Fig. 4. Anharmonic components of fluctuations in deviations of the actual daily increment from linear trends a period $\tau = 9...18$ days

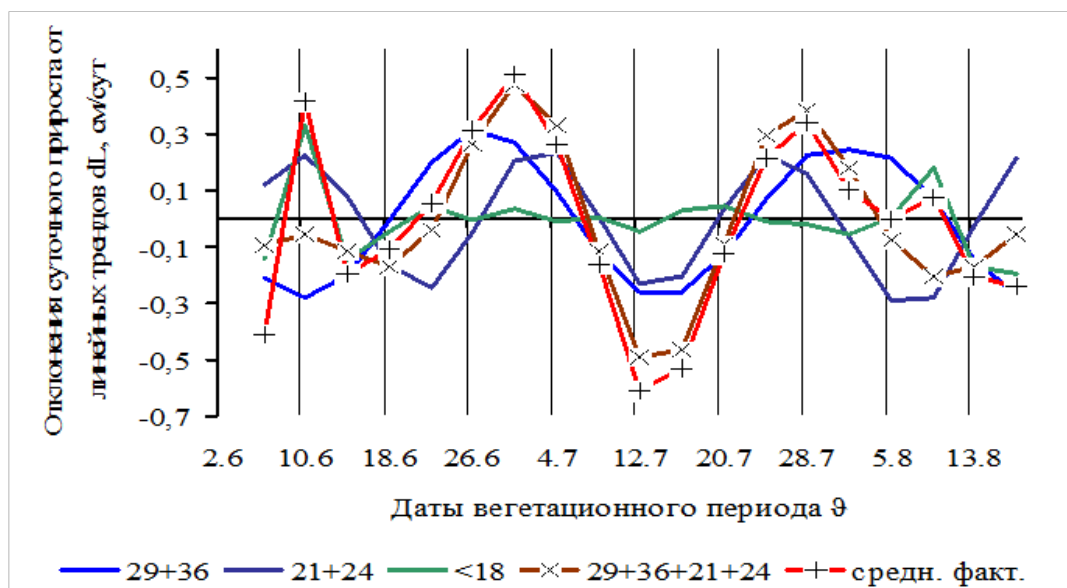


Рис. 5. Нелинейная структура сезонной динамики отклонений фактического суточного прироста от линейных трендов

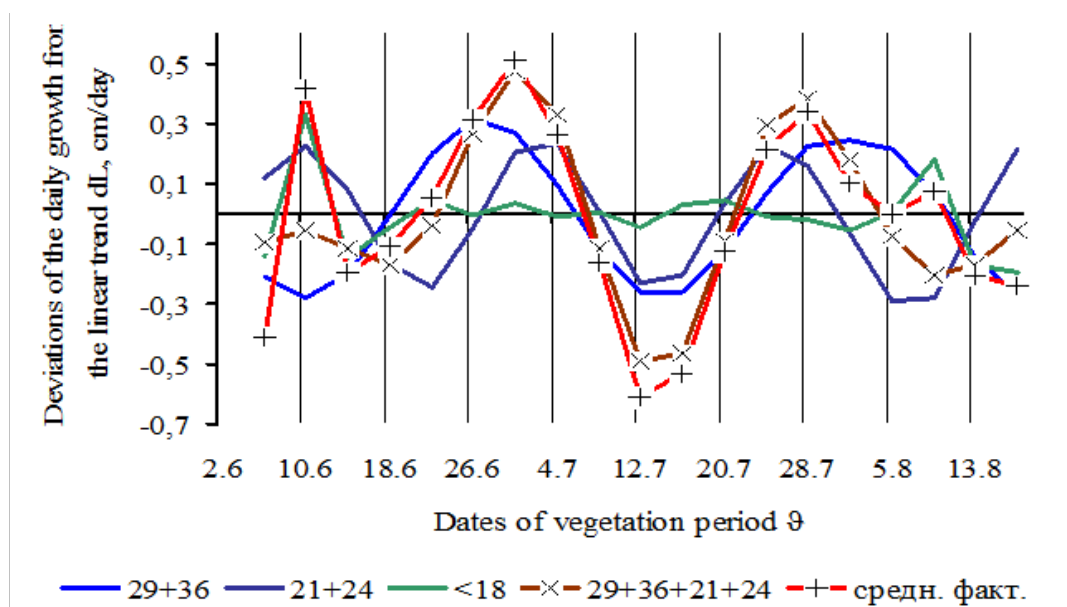


Fig. 5. Nonlinear structure of seasonal dynamics of deviations of the actual daily increment from linear trends

Графики результирующих колебаний, аппроксимирующих инфрадианные биоритмы с периодом $\tau = 9...18$ суток в экспериментальных клонах, показаны на рис. 4 (результирующие колебания на всех побегах показаны одним цветом, средний ряд показан маркером $\bullet$, побеги контрольных сеянцев не показаны).

Биоритмы, аппроксимируемые суммами гармоник с периодом $\tau = 9...18$ суток, хаотически смещены относительно друг друга. Однако в начале (10.06) и в конце (09.08) вегетационного периода эти биоритмы синхронизированы (находятся в положительной синфазе).

Средние временные ряды, вычисленные для каждой группы биоритмов, показаны на рисунке 5 (приведены графики фактического среднего ряда $dL(\Theta)_{av}$ и результирующего ряда, полученного путем сложения высокоамплитудных гармоник).

На протяжении большей части вегетационного периода – с 14.06 по 05.08 – цикличность отклонений факти-

ческого суточного прироста от линейных трендов аппроксимируется суммой гармоник, отражающих существование инфрадианных биоритмов с периодами τ от 21 до 24 суток и от 29 до 36 суток. В результате взаимодействия этих гармоник возникают экстремумы: пик 30.06, провал 12.07...16.07 и пик 28.07. В интервале с 04.07 по 24.07 длиннопериодические гармоники синхронизированы (находятся в отрицательной синфазе). Пики 10.06 и 09.08 аппроксимируются гармониками с периодами $\tau = 9...18$ суток. Кроме того, пику 10.06 соответствует пик гармоник с периодами τ от 21 до 24 суток, однако вклад гармоник с периодами τ от 21 до 24 суток компенсируется противофазой гармоник с периодами $\tau = 29...36$ суток.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Ива трехтычинковая *S. triandra* выполняет важные экосистемные функции в природе и в разнообразных культурах [5] благодаря своей экологической пластичности и способности образовывать длинные прутьевидные побеги на черенковых саженцах уже в первые годы жизни [4].

В условиях данного эксперимента подтверждено, что в модельной популяции развитие побегов *S. triandra* носит циклический характер [27], [28]. Ряды сезонной динамики суточного прироста побегов однолетних саженцев в высшей степени синхронизированы. Можно предположить, что максимум суточного прироста в начале лета определяется мощным синхронизатором неизвестной природы. Возможно, этот синхронизатор определяет завершение развития ранних (преформированных) метамеров и начало развития поздних (примордиальных) метамеров.

Выявленная цикличность сезонной динамики суточного прироста обусловлена взаимодействием инфранидных (многодневных) биоритмов трех уровней: с периодами 29–36 суток, от 21 до 24 суток и 9–18 суток. Биоритмы с периодом 29–36 суток синхронизированы отдельно в экспериментальной группе клонов и отдельно в контрольной группе сеянцев. Можно предположить, что смещения по фазе биоритмов с данным периодом определяются фактором возраста корневых систем. Биоритмы с периодом от 21 до 24 суток синхронизированы на всех побегах: и в экспериментальной, и в контрольной группах. Можно предположить, что синхронизация биоритмов с указанным периодом определяется влиянием какого-то внешнего синхронизатора. Биоритмы с периодом 9–18 суток характеризуются низкими амплитудами и неупоря-

доченными смещениями по фазе. Однако при сложении этих колебаний возникает результирующий сигнал с двумя пиками. Можно предположить, что эти пики отражают существование некоторого синхронизатора, действующего в начале и в конце вегетационного периода.

Фактор клона (в сущности, генетический фактор), влияющий на цикличность сезонной динамики суточного прироста побегов, в данном исследовании не выявлен. Возможно, что заметное (но не единственное) влияние на цикличность сезонной динамики суточного прироста оказывает степень сформированности корневых систем. В остальном цикличность сезонной динамики суточного прироста определяется какими-то синхронизаторами неизвестной природы. Можно предположить, что в весенне-летний период таким синхронизатором является температурный фактор (например, накопленная сумма неких критических температур), а в позднелетний период – фактор фотопериодизма (что не исключает взаимодействие фотопериодизма с температурным фактором). Высказанные предположения не противоречат известным литературным данным [19, с. 278], [20, с. 5397], [31, с. 511], [32, с. 449].

Для верификации данной гипотезы нами разработана схема трехлетнего эксперимента, позволяющего сравнить ростовые реакции разновозрастных черенковых саженцев одних и тех же клонов в разные годы.

Библиографический список

1. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV // Botanical Journal of the Linnean Society. 2016. No. 181 (1). Pp. 1–20. DOI: 10.1111/boj.12385.
2. Wu J., Nyman T., Wang D.-C., et al. Phylogeny of *Salix* subgenus *Salix* s.l. (Salicaceae): delimitation, biogeography, and reticulate evolution // BMC Evolutionary Biology. 2015. No. 15. Article number 31. DOI: 10.1186/s12862-015-0311-7.
3. Zhang J., Yuan H., Li Y., et al. Genome sequencing and phylogenetic analysis of allotetraploid *Salix matsudana* Koidz // Horticulture Research. 2020. No. 7. Article number 201. DOI: 10.1038/s41438-020-00424-8.
4. Епанчинцева О. В., Тишкина Е. А., Мишихина Ю. Д. Динамика прироста ив при использовании различных агротехнических приемов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (84). С. 97–103. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-84-4-97-103.
5. Fredette C., Labrecque M., Comeau Y., Brisson J. Willows for environmental projects: A literature review of results on evapotranspiration rate and its driving factors across the genus *Salix* // Journal of Environmental Management. 2019. No. 246. Pp. 526–537. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.06.010.
6. Skvortsov A. K. Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomical and geographical revision. Joensuu: University of Joensuu, 1999. 307 p.
7. Chen J. H., Sun H., Wen J., Yang Y.-P. Molecular phylogeny of *Salix* L. (Salicaceae) inferred from three chloroplast datasets and its systematic implications // Taxon. 2010. No. 59 (1). Pp. 29–37. DOI: 10.1002/tax.591004.
8. Wu D., Wang Y., Zhang L., Dou L., Gao L. The complete chloroplast genome and phylogenetic analysis of *Salix triandra* from China // Mitochondrial DNA Part B. 2019. No. 4 (2). Pp. 3571–3572. DOI: 10.1080/23802359.2019.1674743.
9. Macalpine W. J., Shield I. F., Trybush S. O., Hayes C. M., Karp A. Overcoming barriers to crossing in willow (*Salix* spp.) breeding // Biomass and Energy Crops III. Aspects of Applied Biology. 2008. No. 90. Pp. 173–180.
10. Li W., Wu H., Li X., Chen Y., Yin T. Fine mapping of the sex locus in *Salix triandra* confirms a consistent sex determination mechanism in genus *Salix* // Horticulture Research. 2020. No. 7. Article number 64. DOI: 10.1038/s41438-020-0289-1.
11. Noleto-Dias C., Wu Y., Bellisai, A., et al. Phenylalkanoid Glycosides (Non-Salicinoids) from Wood Chips of *Salix triandra* × *dasyclados* Hybrid Willow // Molecules. 2019. No. 24 (6). Article number 1152. DOI: 10.3390/molecules24061152.
12. Da Cunha A. C. B., Sabedot S., Sampaio C. H., Ramos C.G., da Silva A.R. *Salix rubens* and *Salix triandra* Species as Phytoremediators of Soil Contaminated with Petroleum-Derived Hydrocarbons // Water, Air & Soil Pollution. 2012. No. 223. Pp. 4723–4731. DOI: 10.1007/s11270-012-1228-z.
13. Санникова Е. Г., Попова О. И., Компанцева Е. В. Ива трехтычинковая (*Salix triandra* L.) – перспективы и возможности использования в медицине и фармации // Фармация и фармакология. 2018. № 6 (4). С. 318–339. DOI: 10.19163/2307-9266-2018-6-4-318-339.

14. Kuzovkina Yu. A. Compilation of the checklist for cultivars of *Salix* L. (Willow) // HortScience. 2015. No. 50 (11). Pp. 1608–1609. DOI: 10.21273/HORTSCI.50.11.1608.
15. Verwijst T., Lundkvist A., Edelfeldt S., Forkman J., Nordh N.-E. Effects of clone and cutting traits on shoot emergence and early growth of willow // Biomass Bioenergy. 2012. No. 37. Pp. 257–264. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.12.004.
16. Edelfeldt S., Lundkvist A., Forkman J., Verwijst T. Effects of cutting length, orientation and planting depth on early willow shoot establishment // BioEnergy Research. 2015. No. 8. Pp. 796–806. DOI: 10.1007/s12155-014-9560-3.
17. Lüttge U., Hertel B. Diurnal and annual rhythms in trees // Trees. 2009. No. 23. Article number 683. DOI: 10.1007/s00468-009-0324-1.
18. Lloyd D. Oscillations, Synchrony and Deterministic Chaos // In: Progress in Botany, Lüttge U. et al. (eds). 2009. No. 70. Pp. 69–92. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-540-68421-3_4.
19. Junttila O. Apical Growth Cessation and Shoot Tip Abscission in *Salix*. Physiologia Plantarum. 1976. No. 38 (4). Pp. 278–286. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1976.tb04004.x.
20. Heide O. M. Temperature rather than photoperiod controls growth cessation and dormancy in *Sorbus species* // Journal of Experimental Botany. 2011. No. 62 (15). Pp. 5397–5404. DOI: 10.1093/jxb/err213.
21. Critchfield W. B. Leaf dimorphism in *Populus trichocarpa* // American Journal of Botany. 1960. No. 47. Pp. 699–711. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1960.tb07154.x.
22. Mikhalevskaya O. B. Growth rhythms at different stages of shoot morphogenesis in woody plants // Russian Journal of Developmental Biology. 2008. No. 39 (2). Pp. 65–72.
23. Диатроптов М. Е., Панчелюга В. А., Станкевич А. А. Динамика смены первостепенного махового оперения у воробьиных птиц, возможные факторы синхронизации // Биофизика. 2020. Т. 65. № 1. С. 152–164. DOI: 10.31857/S0006302920010172.
24. Doffo G. N., Monteoliva S. E., Rodríguez M. E., Luquez V. M. C. Physiological responses to alternative flooding and drought stress episodes in two willow (*Salix* spp.) clones // Canadian Journal of Forest Research. 2017. No. 47. Pp. 174–182. DOI: 10.1139/cjfr-2016-0202.
25. Welc M., Lundkvist A., Verwijst T. Effects of propagule phenology (non-dormant versus dormant) and planting system (vertical versus horizontal) on growth performance of willow clones grown under different weeding regimes // BioEnergy Research. 2018. No. 11 (3). Pp. 703–714. DOI: 10.1007/s12155-018-9929-9.
26. Фучило Я. Д., Афонин А. А., Сбитная М. В. Селекционные основы выведения новых сортов семейства Ивовые (*Salicaceae* Mirb.) для создания энергетических плантаций // Plant Varieties Studying and Protection. 2016. № 4 (33). С. 18–25.
27. Афонин А. А. Структурный анализ ритмов развития однолетних побегов ивы трехтычинковой // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. № 1. С. 22–32. DOI: 10.5281/zenodo.2539541.
28. Афонин А. А. Поливариантность морфогенеза побегов в клонах *Salix triandra* (*Salicaceae*) на фоне периодичности ливневых осадков // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7. № 1. С. 19–32. DOI: 10.33619/2414-2948/62/02.
29. Васильев С. Н. Шевалдин В. Т. Гармонический анализ: учебное пособие. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. 80 с.
30. Афонин А. А. Хронобиологические аспекты оптимизации пестицидной нагрузки в насаждениях ивы корзиночной (*Salix viminalis* L.) интенсивного типа // Вестник Нижневартского государственного университета. 2019. № 2. С. 43–50. DOI: 10.36906/2311-4444/19-2/06.
31. Singh R. K., Svystun T., AlDahmash B., Jönsson A. M., Bhalerao R. P. Photoperiod- and temperature-mediated control of phenology in trees – a molecular perspective // New Phytologist. 2017. No. 213. Pp. 511–524. DOI: 10.1111/nph.14346.
32. Richards T. J., Karacic A., Apuli R. P., et al. Quantitative genetic architecture of adaptive phenology traits in the deciduous tree, *Populus trichocarpa* (Torr. and Gray) // Heredity. 2020. No. 125. Pp. 449–458. DOI: 10.1038/s41437-020-00363-z.

Об авторах:

Алексей Алексеевич Афонин¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ORCID 0000-0002-9392-2527, AuthorID 264352, +7 910 230 69 75, afonin.salix@gmail.com

¹ Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского, Брянск, Россия

Infradian rhythms of increment dynamics of shoots in clones of almond willow (*Salix triandra*)

A. A. Afonin¹✉

¹ Bryansk State University named after academician I. G. Petrovskiy, Bryansk, Russia

✉ E-mail: afonin.salix@gmail.com

Abstract. Purpose of research – harmonic analysis of the structure of seasonal dynamics of daily increment of shoots in almond willow (*Salix triandra*) clones. **Research methodology and methods.** Object is a model population created by cuttings

of sibs-seedlings from the same family obtained by regular inbreeding over three generations. Material – growing long shoots. Experimental group: seven clones of one-year saplings from cuttings; 6-fold repetition. Control group – seedlings from the same family on their own roots of the fourth year of life. Methods: comparative morphological, chronobiological, numerical analysis of time series. Observations were made during the growing season of 2020. **Results.** The beginning of the growth of shoots – the end of the first decade of May. The maximum daily increase is in early summer (06.06...14.06). Further, the daily growth decreased unevenly until the end of August. Seasonal dynamics of daily increment is determined by the interaction of linear and nonlinear components. Linear components determine the seasonal trend of daily increment dynamics. They are approximated by the corresponding regression equations with different reliability. Nonlinear components determine the cyclical nature of the seasonal dynamics of daily increment. They are approximated by sums of harmonics with an oscillation period of 9–144 days with very high reliability. **Scientific novelty.** The cyclical nature of the seasonal dynamics of daily increment is determined by the interaction of biorhythms with different periods. Subannual biorhythms with a period of more than 48 days correct seasonal trends of daily increment. Infradian biorhythms with a period of 9...36 days determine the alternation of peaks and dips in the seasonal dynamics of daily increment. Biorhythms with a period of 29...36 days were synchronized in the experimental and control groups, but shifted in phase when comparing the experiment and control. Biorhythms with a period of 21...24 days are synchronized on all the researched shoots. Biorhythms with a period of 9...18 days are not synchronized, but their resulting fluctuations affect the dynamics of daily increment at the beginning and end of the growing season.

Keywords: almond willow, *Salix triandra*, saplings from cuttings, one-year shoots, daily increment, seasonal dynamics, infradian biorhythms, synchronization of biorhythms.

For citation: Afonin A. A. Infradiannyye ritmy dinamiki narastaniya pobegov v klonakh *Salix triandra* [Infradian rhythms of increment dynamics of shoots in *Salix triandra* clones] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 02 (205). Pp. 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-2-11. (In Russian.)

Paper submitted: 15.01.2021.

References

1. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV // Botanical Journal of the Linnean Society. 2016. No. 181 (1). Pp. 1–20. DOI: 10.1111/boj.12385.
2. Wu J., Nyman T., Wang D.-C., et al. Phylogeny of *Salix* subgenus *Salix* s.l. (Salicaceae): delimitation, biogeography, and reticulate evolution // BMC Evolutionary Biology. 2015. No. 15. Article number 31. DOI: 10.1186/s12862-015-0311-7.
3. Zhang J., Yuan H., Li Y., et al. Genome sequencing and phylogenetic analysis of allotetraploid *Salix matsudana* Koidz. // Horticulture Research. 2020. No. 7. Article number 201. DOI: 10.1038/s41438-020-00424-8.
4. Epanchintseva O. V., Tishkina E. A., Mishchikhina Yu. D. Dinamika prirosta iv pri ispol'zovanii razlichnykh agrotekhnicheskikh priyemov [The growth dynamics of willows due to the use of various agricultural techniques] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. No. 4 (84). Pp. 97–103. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-84-4-97-103. (In Russian.)
5. Fredette C., Labrecque M., Comeau Y., Brisson J. Willows for environmental projects: A literature review of results on evapotranspiration rate and its driving factors across the genus *Salix* // Journal of Environmental Management. 2019. No. 246. Pp. 526–537. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.06.010.
6. Skvortsov A. K. Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomical and geographical revision. Joensuu: University of Joensuu, 1999. 307 p.
7. Chen J. H., Sun H., Wen J., Yang Y.-P. Molecular phylogeny of *Salix* L. (Salicaceae) inferred from three chloroplast datasets and its systematic implications // Taxon. 2010. No. 59 (1). Pp. 29–37. DOI: 10.1002/tax.591004.
8. Wu D., Wang Y., Zhang L., Dou L., Gao L. The complete chloroplast genome and phylogenetic analysis of *Salix triandra* from China // Mitochondrial DNA Part B. 2019. No. 4 (2). Pp. 3571–3572. DOI: 10.1080/23802359.2019.1674743.
9. Macalpine W. J., Shield I. F., Trybush S. O., Hayes C. M., Karp A. Overcoming barriers to crossing in willow (*Salix* spp.) breeding // Biomass and Energy Crops III. Aspects of Applied Biology. 2008. No. 90. Pp. 173–180.
10. Li W., Wu H., Li X., Chen Y., Yin T. Fine mapping of the sex locus in *Salix triandra* confirms a consistent sex determination mechanism in genus *Salix* // Horticulture Research. 2020. No. 7. Article number 64. DOI: 10.1038/s41438-020-0289-1.
11. Noleto-Dias C., Wu Y., Bellisai, A., et al. Phenylalkanoid Glycosides (Non-Salicinoids) from Wood Chips of *Salix triandra* × *dasyclados* Hybrid Willow // Molecules. 2019. No. 24 (6). Article number 1152. DOI: 10.3390/molecules24061152.
12. Da Cunha A. C. B., Sabedot S., Sampaio C. H., Ramos C.G., da Silva A.R. *Salix rubens* and *Salix triandra* Species as Phytoremediators of Soil Contaminated with Petroleum-Derived Hydrocarbons // Water, Air & Soil Pollution. 2012. No. 223. Pp. 4723–4731. DOI: 10.1007/s11270-012-1228-z.
13. Sannikova E. G., Popova O. I., Kompantseva E. V. Iva trekhtychinkovaya (*Salix triandra* L.) – perspektivy i vozmozhnosti ispol'zovaniya v meditsine i farmatsii [Willow triandra (*Salix triandra* L.): prospects and opportunities for use in medicine and pharmacy] // Pharmacy & Pharmacology. 2018. No. 6 (4). Pp. 318–339. DOI: 10.19163/2307-9266-2018-6-4-318-339. (In Russian.)
14. Kuzovkina Yu. A. Compilation of the checklist for cultivars of *Salix* L. (Willow) // HortScience. 2015. No. 50 (11). Pp. 1608–1609. DOI: 10.21273/HORTSCI.50.11.1608.

15. Verwijst T., Lundkvist A., Edelfeldt S., Forkman J., Nordh N.-E. Effects of clone and cutting traits on shoot emergence and early growth of willow // *Biomass Bioenergy*. 2012. No. 37. Pp. 257–264. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.12.004.
16. Edelfeldt S., Lundkvist A., Forkman J., Verwijst T. Effects of cutting length, orientation and planting depth on early willow shoot establishment // *BioEnergy Research*. 2015. No. 8. Pp. 796–806. DOI: 10.1007/s12155-014-9560-3.
17. Lüttge U., Hertel B. Diurnal and annual rhythms in trees // *Trees*. 2009. No. 23. Article number 683. DOI: 10.1007/s00468-009-0324-1.
18. Lloyd D. Oscillations, Synchrony and Deterministic Chaos // In: *Progress in Botany*, Lüttge U. et al. (eds). 2009. No. 70. Pp. 69–92. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-540-68421-3_4.
19. Junttila O. Apical Growth Cessation and Shoot Tip Abscission in *Salix*. *Physiologia Plantarum*. 1976. No. 38 (4). Pp. 278–286. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1976.tb04004.x.
20. Heide O. M. Temperature rather than photoperiod controls growth cessation and dormancy in *Sorbus species* // *Journal of Experimental Botany*. 2011. No. 62 (15). Pp. 5397–5404. DOI: 10.1093/jxb/err213.
21. Critchfield W. B. Leaf dimorphism in *Populus trichocarpa* // *American Journal of Botany*. 1960. No. 47. Pp. 699–711. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1960.tb07154.x.
22. Mikhalevskaya O. B. Growth rhythms at different stages of shoot morphogenesis in woody plants // *Russian Journal of Developmental Biology*. 2008. No. 39 (2). Pp. 65–72.
23. Diatropov M. E., Panchelyuga V. A., Stankevich A. A. Dinamika smeny pervostepennogo makhovogo opereniya u vorob'inykh ptits, vozmozhnyye faktory sinkhronizatsii [The Dynamics of the Replacement of Primary Flight Feathers in Passerine Birds and Possible Synchronization Factors] // *Biophysics*. 2020. No. 65 (1). Pp. 131–142. DOI: 10.1134/S0006350920010042. (In Russian.)
24. Doffo G. N., Monteoliva S. E., Rodríguez M. E., Luquez V. M. C. Physiological responses to alternative flooding and drought stress episodes in two willow (*Salix* spp.) clones // *Canadian Journal of Forest Research*. 2017. No. 47. Pp. 174–182. DOI: 10.1139/cjfr-2016-0202.
25. Welc M., Lundkvist A., Verwijst T. Effects of propagule phenology (non-dormant versus dormant) and planting system (vertical versus horizontal) on growth performance of willow clones grown under different weeding regimes // *BioEnergy Research*. 2018. No. 11 (3). Pp. 703–714. DOI: 10.1007/s12155-018-9929-9.
26. Fuchylo Ya. D., Afonin A. A., Sbytna M. V. Selektionsnyye osnovy vyvedeniya novykh sortov semeystva Ivovye (*Salicaceae* Mirb.) dlya sozdaniya energeticheskikh plantatsiy [Selection bases of developing new varieties of willow family (*Salicaceae* Mirb.) to create energy plantations] // *Plant Varieties Studying and Protection*. 2016. No. 4 (33). Pp. 18–25. (In Russian.)
27. Afonin A. A. Strukturnyy analiz ritmov razvitiya odnoletnikh pobegov ivy trekhtychinkovoy [Structural analysis of the rhythms of development of annual shoots of almond willow] // *Bulletin of Science and Practice*. 2019. No. 5 (1). Pp. 22–32. DOI: 10.5281/zenodo.2539541. (In Russian.)
28. Afonin A. A. Polivariantnost' morfogeneza pobegov v klonakh *Salix triandra* (*Salicaceae*) na fone periodichnosti livnevnykh osadkov [Polyvariance of shoot morphogenesis in clones of *Salix triandra* (*Salicaceae*) against the background of the periodicity of rainstorms] // *Bulletin of Science and Practice*. 2021. No. 7 (1). Pp. 19–32. DOI: 10.33619/2414-2948/62/02. (In Russian.)
29. Vasil'yev S. N., Shevaldin V. T. Garmonicheskiy analiz: uchebnoye posobiye [Harmonic analysis: textbook]. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2014. 80 p. (In Russian.)
30. Afonin A. A. Khronobiologicheskiye aspekty optimizatsii pestitsidnoy nagruzki v nasazhdeniyakh ivy korzinochnoy [Chronobiological aspects of pesticide load optimization in *Salix viminalis* L. plantings of intensive type] // *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. 2019. No. 2. Pp. 43–50. DOI: 10.36906/2311-4444/19-2/06. (In Russian.)
31. Singh R. K., Svystun T., AlDahmash B., Jönsson A. M., Bhalerao R. P. Photoperiod- and temperature-mediated control of phenology in trees – a molecular perspective // *New Phytologist*. 2017. No. 213. Pp. 511–524. DOI: 10.1111/nph.14346.
32. Richards T. J., Karacic A., Apuli R. P., et al. Quantitative genetic architecture of adaptive phenology traits in the deciduous tree, *Populus trichocarpa* (Torr. and Gray) // *Heredity*. 2020. No. 125. Pp. 449–458. DOI: 10.1038/s41437-020-00363-z.

Authors' information:

Aleksey A. Afonin¹, doctor of agricultural sciences, professor, ORCID 0000-0002-9392-2527, AuthorID 264352; +7 910 230 69 75, afonin.salix@gmail.com

¹ Bryansk State University named after academician I. G. Petrovskiy, Bryansk, Russia

К вопросу о диагностике и защите почв от дефляции в Ставропольском крае

В. П. Белобров¹, В. К. Дридигер^{2✉}, С. А. Юдин¹, Н. Р. Ермолаев¹

¹ Почвенный институт имени В. В. Докучаева, Москва, Россия

² Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

✉ E-mail: dridiger.victor@gmail.com

Аннотация. Цель исследования заключается в оценке степени дефляции при сравнении традиционной технологии возделывания сельскохозяйственных культур, применяющей обработки почв, и прямого посева (no-till). **Объект исследования** расположен на территории Ипатовского района Ставропольского края, где на примере двух хозяйств, использующих разные технологии, апробирован метод оценки дефляции обыкновенных черноземов по морфометрическим показателям и свойствам почвенного профиля. **Методы.** Использован морфометрический метод оценки дефляции, основанный на измерении мощности гумусового горизонта почв по данным ручного бурения скважин, фиксированных по GPS в 5-кратной повторности. **Результаты и практическая значимость.** Полученные данные выявили снижение мощности гумусового горизонта в обрабатываемых почвах, (в среднем на 19–21 см) по сравнению с почвами хозяйства, использующего в течение последних 13 лет технологию no-till. Лесополоса служит буферной зоной, в ней аккумулируется выносимый при дефляции пылеватый материал черноземов мощностью до 40–50 см. Дефляция пахотных почв обусловлена обработками и использованием в севооборотах чистого пара (каждый третий год). Она приводит к трансформации почвенного профиля в целом, меняя видовой состав черноземов на одну градиацию со среднемощного и карбонатного (no-till) на маломощный и высококарбонатный (традиционная технология). Снижение/прекращение дефляции черноземов в технологии no-till связано с ее противодефляционной особенностью – распределением по поверхности почв растительных остатков, отказом от использования чистого пара, что в совокупности приводит к восстановлению деградированных свойств черноземов. **Научная новизна** заключается в апробации полевого морфометрического метода оценки дефляции во времени и пространстве, который можно использовать при проведении мониторинга почвенного покрова (картографирования почв, агрохимического обследования и др.) или целевых исследований. **Ключевые слова:** традиционная технология, прямой посев, морфометрические параметры, ветровой режим.

Для цитирования: Белобров В. П., Дридигер В. К., Юдин С. А., Ермолаев Н. Р. К вопросу о диагностике и защите почв от дефляции в Ставропольском крае // Аграрный вестник Урала. 2021. № 2 (205). С. 12–25. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-12-25.

Дата поступления статьи: 22.06.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

Физико-географические особенности Ставропольского края, расположенного в предгорной зоне Кавказских гор, являются одной из главных причин резкой смены климатических параметров (температура, увлажнение, направление и скорость ветра, инсоляция и др.). Вместе с неоднородностью почвообразующих пород и их минералогическим составом эти факторы обуславливают большое разнообразие черноземов на сравнительно ограниченной территории края по сравнению с Центрально-черноземными областями Восточно-Европейской равнины России. На территории края, кроме названных особенностей, одним из основных лимитирующих факторов возделывания сельскохозяйственных культур является эрозия [1, с. 58] – водная, в значительной степени связанная с расчлененным рельефом Ставропольской возвышенности [2, с. 68], [3, с. 32], и дефляция, которая опосредованно через деградацию свойств почв приводит к снижению их плодородия и урожайности культур [4, с. 28], [5, с. 10].

Пыльные бури в крае характеризуются циклической повторяемостью в течение года, от 3 до 6 дней в месяц, кроме лета, значительно чаще и преимущественно в январе – апреле, в период основных подготовительных работ почв к посеву. Установлено, что пыльные бури развиваются при накоплении в слое 0–5 см свыше 50 % агрегатов размером < 1 мм и скорости ветра на высоте 0,5 м более 9–10 м/с [6, с. 83]. Ветры иссушают и разрушают агрегаты деградированной из-за обработок почв, осаждают и перераспределяют наиболее тонкие фракции на территории полей и/или выносят их за пределы на многие десятки километров, что приводит к невосполнимым потерям плодородия земель Ставропольского края [7, с. 16]. Так, в 1969 г. большие площади озимых зерновых культур были уничтожены пыльными бурями, которые унесли от 4 до 10 см пахотного слоя черноземов [8, с. 20].

Для защиты почв от дефляции в крае создана и много лет функционирует система лесных полос, расположенных поперек господствующих ветров, вместо отвальных

применяются безотвальные и минимальные системы обработки почвы с оставлением стерни на поверхности полей, а также проводится комплекс организационно-хозяйственных мероприятий по накоплению, сохранению и экономному расходованию влаги атмосферных осадков. Тем не менее проводимые мероприятия не обеспечивают надежную защиту почв от ветровой эрозии, так как агросистемы менее устойчивы к ее проявлению, поскольку культурная растительность создает лишь временный и краткосрочный в течение года защитный растительный слой.

Потери от дефляции трудно оценить, поскольку они имеют опосредованный характер и проявляются в снижении урожая возделываемых культур через деградацию водно-физических и агрохимических свойств почв [9, с. 1506]. В силу этого сложно диагностировать и оценить степень влияния дефляции в снижении плодородия почв вследствие комплекса причин, связанных с традиционной технологией (ТТ) возделывания полевых культур, обязательными и периодическими обработками почв и использованием для накопления влаги на полях чистого пара, разрушающими структуру почв [10, с. 7], приводящими к дегумификации [11, с. 168].

Методы диагностики дефляции обычно включают визуальные полевые наблюдения, морфометрические измерения, характеризующие плодородие почв. Одними из наиболее надежных являются показатели постоянных реперов, фиксирующих потери (в см) гумусового горизонта почвы за счет выноса почвенных частиц с участка поля, характеризующего определенную часть рельефа и/или агроландшафта. Недостаток этого метода заключается в том, что им сложно охватить все пространственное разнообразие условий почвообразования, локальные особенности почв и ветрового режима.

В исследованиях по оценке воздействия технологии прямого посева (ПП) на восстановление свойств черноземов и урожайность культур [12, с. 39], противоэрозионное влияние ПП занимает свою экологическую нишу за счет распределения на поверхности почв растительных остатков. Известно, что противодефляционная эффективность мульчи, особенно крупнотельных пропашных культур (кукурузы, подсолнечника, сорго), определяется их количеством на единицу площади [8, с. 20]. Поэтому в диагностике и защите почв от дефляции при использовании в земледелии ПП придается большое значение оптимальному количеству и равномерному распределению растительных остатков на поверхности почв [13, с. 63].

В полевых научно-производственных исследованиях, при крупномасштабном и детальном картографировании почв, агрохимическом обследовании и т. д. в дополнение к аналитическим методам мы ориентируемся на доступные морфометрические измерения, фиксирующие наиболее устойчивые во времени параметры и свойства почв. При этом в качестве основного используется мощность гумусового горизонта как классификационный диагностический показатель, определяющий вид черноземов [14, с. 268].

За прошедшее постсоветское время свойства почв изменились в силу вариабельности климатических показателей и агротехнологий, что требует проведения новых

мониторинговых исследований почвенного покрова [15, с. 10], [16, с. 8]. Для оценки влияния дефляции в этих исследованиях целесообразно использование метода морфометрических измерений в 5-кратной повторности. При ручном или механическом бурении скважин, имеющих постоянные координаты по GPS, фиксируется мощность гумусового горизонта. Во временном цикле дефляция оценивается при сравнении мощности гумусового горизонта по данным одних и тех же буровых скважин, а в пространстве – при сравнении между ними на всей площади обследования.

Для выявления противодефляционной роли прямого посева, в котором не применяются обработки, а растительные остатки оказываются на поверхности почв, единовременная диагностика дефляции затруднена. Сложность заключается в выборе сопряженных участков обследования, однородных по почвенно-геоморфологическим признакам, но различающихся по технологиям земледелия.

Цель работы – на примере обыкновенных черноземов Ипатовского района Ставропольского края, используя сопряженные морфометрические измерения профиля и морфологические свойства почв в однородных почвенно-геоморфологических условиях, диагностировать проявление процесса дефляции, обусловленного обработками почв при использовании традиционной технологии (ТТ), и защите почв от дефляции с помощью технологии прямого посева (ПП), в которой почва не обрабатывается и все растительные остатки возделываемых культур распределяются по поверхности полей.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились на территории Ставропольского края на обыкновенных и южных черноземах (Haplic Chernozems) [14, с. 142–146], [17, с. 103]. Основным объектом служили обыкновенные черноземы бывшего совхоза «Краснополянский», на полях которого много лет применялась система земледелия с ежегодной отвальной обработкой почвы. В 1999 г. совхоз был реорганизован – создано ООО СХП «Урожайное» с площадью пашни 4068 га, часть земель была передана в пользование фермерам. С 2002 г. ООО СХП «Урожайное» перешло на безотвальную обработку почвы с оставлением на поверхности стерни, особенно в паровых полях. С 2007 г. хозяйство работает по технологии прямого посева без чистых паров, используется шестипольный полевой плодосменный севооборот со средней площадью поля 678 га: горох, озимый рапс, гречиха, лен масличный (с разной площадью посева по годам) – озимая пшеница – кукуруза – озимая пшеница – подсолнечник – озимая пшеница. За 12 лет прошло 2 ротации севооборота. Следовательно, в течение 19 лет ООО СХП «Урожайное» возделывает свои поля по почвозащитной технологии, особенно с переходом на прямой посев в 2007 г.

Все эти годы фермеры применяют отвальную систему обработки почвы в севообороте с чистым паром (чистый пар – озимая пшеница – подсолнечник). Пропашное и особенно паровое поле подвержены воздействию дефляции. За последние 13 лет прошло 4 ротации севооборота, и за эти годы чистые пары были на всех полях три раза (каждый третий год). Ежегодно одну треть площади фермер-

ской пашни занимали чистые пары, на такой же площади выращивалась пропашная эрозийно неустойчивая культура – подсолнечник.

ООО СХП «Урожайное» расположено в засушливой зоне северной периферии Ставропольской возвышенности, на значительном удалении от Армавирского ветрового коридора. Ветровой режим в целом типичен для Ставрополья, более сильные по скорости ветры характерны для холодного периода года с ноября по апрель. Региональные отличия проявляются в более жестких и неустойчивых по годам и сезонам условиях по увлажнению и температуре. За период с 2007 по 2019 гг. выпало в среднем 506 мм атмосферных осадков, причем в 2007, 2008, 2012, 2014 и 2019 гг. их количество было меньше среднемноголетнего, с минимумом в 2008 г. – 352 мм (тогда за лето выпало всего 58 мм осадков). При этом в 2008, 2010, 2014, 2015 гг. в августе на фоне температурного годового максимума осадков практически не наблюдалось.

В качестве дополнительных объектов были привлечены обыкновенные черноземы Шпаковского района (многолетний опыт в Северо-Кавказском ФНАЦ в г. Михайловске), а также южные черноземы и темно-каштановые почвы СПК «Архангельский» и рядом расположенных фермерских хозяйств Буденновского района (рис. 1).



Рис. 1. Объекты исследования в Ставропольском крае



Fig. 1. Research objects in the Stavropol territory



Рис. 2. Схема буровых скважин и отбора проб на полях участка 1



Fig. 2. Scheme of drilling wells and sampling in the fields of section 1

В четырех точках, расположенных по странам света в радиусе 5 м от буровой скважины [18, с. 187], были отобраны образцы почв с глубины 0–25 см весом 4–5 кг каждый, в которых методом сухого и мокрого просеивания были определены макро- и микроагрегатный состав почв. В этих точках лопатой и/или бурением были определены мощность гумусового горизонта и глубина вскипания, что характеризует 5-кратную повторность морфометрических измерений (см. рис. 2).

В каждой из лесополос на участках 1 и 2 было заложено по одной буровой скважине для сравнения морфометрических показателей с данными, полученными на полях. Статистический анализ морфометрических параметров черноземов, относящихся к разным системам возделывания сельскохозяйственных культур, проведен при использовании непараметрических критериев [19, с. 254].

Результаты (Results)

Диагностика дефляции основана на данных, полученных при описании морфологических свойств обыкновенных черноземов, на полях с разными технологиями возделывания сельскохозяйственных культур.

Участок 1 (рис. 3). Буровая XVII-2017, координаты: 45°49'05,3" с. ш., 42°03'32,1" в. д. Фермерское поле 1А используется с применением традиционной технологии (ТТ). Посеяна озимая пшеница (таблица 1).

Участок 1 (рис. 4). Буровая XX-2017, координаты: 45°49'04,8" с. ш., 42°03'25,2" в. д. Поле 1Б ООО СХП «Урожайное», используется постоянно в течение 13 лет по технологии ПП. На поверхности почв пожнивные остатки кукурузы, убранной на зерно, покрывающие почву на 100 %. Предшественник – озимая пшеница (таблица 2).

Участок 2. Буровая XXV-2017, координаты: 45°50'54,9" с. ш., 42°02'45,4" в. д. Фермерское поле 2А, используется с применением традиционной технологии. После уборки озимой пшеницы подготовлено к посеву подсолнечника весной следующего года (таблица 3).

Участок 2. Буровая XXVI-2017, координаты: 45°50'54,5" с. ш., 42°02'30,4" в. д. Поле 2Б ООО СХП «Урожайное». На поверхности почв пожнивные остатки пшеницы и растительные остатки предшественника – подсолнечника, которые покрывают почву на ~90 %.

Таблица 1
Описание почвенного разреза чернозема обыкновенного среднесуглинистого высококарбонатного маломощного

Горизонт	Мощность горизонта, см	Описание горизонта
A1ca	$\frac{0-32}{32}$	Темно-серый, среднесуглинистый, сухой, пылеватый и мелкокомковатый, на поверхности редкие растительные остатки, рыхлый с поверхности и слабо уплотненный в нижней части горизонта, вскипает от 10 % HCL с поверхности, переход в АВ ясный по цвету и гранулометрическому составу
AB ca	$\frac{32-62}{30}$	Светлее предыдущего с оттенком бурого цвета, неоднородный, средне-тяжелосуглинистый, холодит, переход четкий по цвету и гранулометрическому составу
B1ca	$\frac{62-135}{73}$	Бурый, тяжелосуглинистый, мицеллярные выделения карбонатов начинаются со 100 см, переход ясный по цвету (осветление) и гранулометрическому составу
B2ca	135+	Светло-бурый, средне-тяжелосуглинистый, со 147 см четко выделяется белоглазка

Table 1
Description of the soil profile of ordinary medium-loam high-carbon low-power chernozem

Horizon	Power horizon, cm	Description of the horizon
A1ca	$\frac{0-32}{32}$	Dark gray, medium loam, dry, powdery and small-lumpy, on the surface rare plant remains, loose from the surface and slightly compacted in the lower part of the horizon, boils from 10 % HCL from the surface, the transition to AB is clear, in color and granulometric composition
AB ca	$\frac{32-62}{30}$	Lighter than the previous one with a shade of brown, non-uniform, medium-heavy loam, cold, the transition is clear in color and granulometric composition
B1ca	$\frac{62-135}{73}$	Brown, heavy-loam, micellar carbonates begin at 100 cm, the transition is clear in color (lightening) and granulometric composition
B2ca	135+	Light brown, medium-heavy loam, with 147 cm clearly distinguished white-eye

Таблица 2

Описание почвенного разреза чернозема обыкновенного среднесуглинистого карбонатного среднемошного

Горизонт	Мощность горизонта, см	Описание горизонта
A1	$\frac{0-52}{52}$	Темно-серый, среднесуглинистый, сухой, комковатый, легко распадается на агрегаты разного размера при сжатии, слабо уплотнен с поверхности, вскипает от 10 % HCL с 42 см, в нижней части горизонта мицеллярные выделения карбонатов, переход в АВ постепенный по цвету и гранулометрическому составу
AB	$\frac{52-92}{40}$	Светлее предыдущего с оттенком бурого цвета, неоднородный, средне-тяжелосуглинистый, холодит, мицеллярные выделения карбонатов, переход ясный по осветлению и гранулометрическому составу
B1	$\frac{92-140}{48}$	Бурый, тяжелосуглинистый, слабо увлажнен, мицеллярные выделения карбонатов, переход ясный по осветлению профиля
B2	140+	Светло-бурый, средне-тяжелосуглинистый, слабо увлажнен, но сильнее, чем в B1ca, новообразования в форме белоглазки выделяются со 145 см

Table 2

Description of the soil profile of ordinary medium-loamy medium-carbon chernozem

Horizon	Power horizon, cm	Description of the horizon
A1	$\frac{0-52}{52}$	Dark gray, medium-loamy, dry, lumpy, easily decomposes into aggregates of different sizes when compressed, weakly compacted from the surface, boils from 10 % HCL with 42 cm, in the lower part of the horizon micellar carbonates, the transition to AB is gradual, in color and granulometric composition
AB	$\frac{52-92}{40}$	Lighter than the previous one with a shade of brown, non-uniform, medium-heavy loam, cold, micellar carbonates, the transition is clear in terms of clarification and granulometric composition
B1	$\frac{92-140}{48}$	Brown, heavy-loam, poorly moistened, micellar carbonates, clear transition to lightening the profile
B2	140+	Light-brown, medium-heavy loam, slightly moistened, but stronger than in B1ca, neoplasms in the form of white-eye are allocated from 145 cm

Сравнительная характеристика морфологических свойств черноземов при разных системах земледелия показала, что почвы, расположенные в одинаковых условиях по рельефу в 200 м друг от друга, существенно различаются по глубине вскипания, мощности гумусового горизонта и другим морфологическим свойствам. На таксономическом уровне по карбонатному и гумусовому профилю они характеризуются как два разных вида обыкновенных черноземов [14, с. 269–270], как высококарбонатные маломощные (традиционная технология) и среднекарбонатные среднемошного (прямой посев). Почвенно-генетические свойства разных видов обыкновенных черноземов определяют различия в их продуктивности, ресурсах в настоящем и прогнозном будущем.

Следует особо отметить разницу в глубине вскипания и мощности гумусового горизонта. Оба параметра характеризуют подтиповой таксономический уровень чернозема. Там, где применяется ПП, почвы соответствуют обыкновенному чернозему с несколько укороченным гумусовым горизонтом со средней мощностью 52–56 см (таблица 5), что, по нашему мнению, связано с длительным использованием почв в традиционной технологии, которая предшествовала современному 13-летнему периоду прямого посева. Для фациального подтипа предкавказских обыкновенных

черноземов типичен более мощный гумусовый профиль [14, с. 144], который при крупномасштабном картировании почв многолетнего опыта Северо-Кавказского ФНАЦ в 2019 г., составил в среднем 69 (A1) и 120 (A1+AB) см, при глубине вскипания 53 см.

В пахотных черноземах фермерских полей маломощный гумусовый горизонт (в среднем 33–35 см) и вскипание с поверхности от 10 % HCL, указывают на их трансформацию за время использования отвальной системы земледелия. Приведенные в таблице морфометрические признаки и описанные морфологические свойства почв с точки зрения классификации в большей степени характерны для подтипа южных черноземов, тогда как для региональных обыкновенных черноземов они характеризуют высокую степень их деградации. Выявленная разница в мощности гумусовых горизонтов на фермерских полях и полях ООО СХП «Урожайное» в 19–21 см объясняется процессами дефляции. С учетом резкого и сильного иссушения гумусового горизонта обыкновенных черноземов в поздневесенний и летний сезоны [20, с. 296–297], дефляционные процессы в регионе, расположенном в засушливой зоне, усиливаются.

Таблица 3
Описание почвенного разреза чернозема обыкновенного среднесуглинистого высококарбонатного маломощного

Горизонт	Мощность горизонта, см	Описание горизонта
A1ca	$\frac{0-35}{35}$	Темно-серый, среднесуглинистый, сухой, пылеватый и мелкокомковатый, на поверхности редкие растительные остатки, рыхлый, слабо уплотнен в нижней части горизонта, вскипает от 10 % HCL с поверхности, переход в АВ ясный по цвету и гранулометрическому составу
ABca	$\frac{35-80}{55}$	Светлее предыдущего с оттенком бурого цвета, неоднородный, средне-тяжелосуглинистый, мицелий хорошо выражен по всему горизонту, переход четкий по цвету и гранулометрическому составу
B1ca	$\frac{80-151}{71}$	Бурый, более плотный, чем ABca, тяжелосуглинистый, мицеллярные выделения карбонатов начинаются с 80 см, переход ясный по цвету (осветление) и гранулометрическому составу
B2ca	151+	Светло-бурый, средне-тяжелосуглинистый, новообразования карбонатов в форме белоглазки

Table 3
Description of the soil profile of ordinary mean-loamy high-carbon low-power chernozem

Horizon	Power horizon, cm	Description of the horizon
A1ca	$\frac{0-35}{35}$	Dark gray, medium loam, dry, powdery and small-lumpy, on the surface rare plant remains, loose, slightly compacted in the lower part of the horizon, boils from 10 % HCL from the surface, the transition to AB is clear, in color and granulometric composition
ABca	$\frac{35-80}{55}$	Lighter than the previous one with a shade of brown, non-uniform, medium-heavy loam, mycelium is well expressed throughout the horizon, the transition is clear in color and granulometric composition
B1ca	$\frac{80-151}{71}$	Brown, denser than ABca, heavy loam, micellar carbonates begin at 80 cm, the transition is clear in color (clarification) and granulometric composition
B2ca	151+	Light brown, medium-heavy loam, new formations of carbonates in the form of white-eye

За 13 лет использования прямого посева в ООО СХП «Урожайное» можно увеличить мощность гумусового горизонта за счет ежегодной оставляемой на поле биомассы в лучшем случае на несколько см, но не на 20 см, а вот потерять вследствие дефляции, даже в отсутствие пыльных бурь, как показывают данные, вполне реально. Следует также учесть, что на эти годы пришлось 5 засухливых лет. За зимний период в течение 13 лет выпало 20 % среднегодовой нормы осадков, что снижает влагозапасы, иссушает почвы и является катализатором дефляционных процессов, особенно во время обработок почв. За вегетационный период с мая по август в 2007–2010, 2013–2015, 2017–2018 гг. выпало всего 37 % осадков от среднемноголетней нормы, а в 2008, 2010, 2015 и 2018 гг. их было только 26 %.

Приведенные выше потери почв от пыльных бурь в Ставропольском крае явление катастрофическое, но довольно редкое, фиксируемое разными методами, главным образом по снижению урожайности и/или гибели посевов. Дефляция в виде шлейфа пыли за почвенными агрегатами и тракторами, практически не регистрируется, она протекает незаметно ежемесячно, ежегодно, десятилетиями, постепенно накапливая отрицательный баланс в мощности гумусового горизонта почв. Фермеру некогда заниматься

замерами мощности гумусового горизонта, определяющими потенциальное плодородие почв, надо провести обработки в срок и внести удобрения, которые в получаемом урожае маскируют потери на дефляцию.

Кроме воздействия дефляции, не следует исключать и влияние водной эрозии даже на полях с небольшим уклоном в плакорных условиях рельефа. По наблюдениям авторов на паровых полях фермеров во время нередких ливневых осадков наблюдается ручейковая водная эрозия, так как обработанная почва с пылеватой структурой в результате многократных обработок не способна впитать выпадающие ливневые осадки. После дождя культиваторами канавки выравнивают, но потери почвы за счет водной эрозии могут быть ощутимы, по крайней мере на участках ее проявления.

При описании обыкновенных черноземов с использованием ПП и отборе проб, отмечена хорошая агрегированность всего гумусового горизонта, тогда как гумусовый горизонт регулярно обрабатываемых почв агрегирован слабо, пылеватый и только в нижней части приобретает мелкокомковатую структуру. Кроме того, было установлено, что при ПП почвы уплотнены сильнее с поверхности, а при ТТ имеют только уплотненный подпахотный слой (плужную подошву). Эти различия в уплотнении гумусо-

вого горизонта в слое 0–20 (25) см составляют по данным обыкновенных черноземов стационара «Северо-Кавказский» ФНАЦ в среднем около 0,1–0,15 г/см³ [21, с. 54], [22, с. 883], что не является критическим и не выходит за рамки оптимальной равновесной плотности для данного подтипа агрочерноземов равной 1,25 г/см³ [23, с. 797].

Статистически анализ на нуль-гипотезу (см. таблицу 5) выявил значимые различия в мощности гумусового горизонта А1 черноземов между традиционной системой земледелия и прямым посевом. Различия в морфологии профилей почв связываются нами с процессами обработки почв и их длительностью, а также интенсивностью ветрового режима и розой ветров в регионе, которые в свою очередь являются катализаторами дефляции. Причем в состоянии чистого пара почва постоянно в течение года подвержена дефляции.

Расположенные рядом лесополосы играют роль «барьеров-аккумуляторов» пылеато-иловатой фракции черноземов, выносимой ветром с полей. Она накапливается в лесополосах (по данным бурения в виде сухого бесструктурного пылеатого чехла мощностью 40–50 см),

существенно увеличивая мощность гумусового горизонта черноземов под лесополосой до 70–90 см по сравнению с окружающими полями. Из-за аккумуляции выносимого с полей материала поверхность обследованных лесополос в ООО СХП «Урожайное» даже визуально имеет превышение над окружающей территорией на 30–50 см. В зависимости от степени региональной дефляции мощность пылеатого чехла в лесополосах варьирует. В СПК «Архангельский» (см. рис. 1), где основным фактором деградации почв является водная эрозия, накопление пылеатого дефляционного чехла в лесополосах составляет не более 10 см, что было установлено при взятии проб на структурный анализ.

Защита почв от дефляции. Нарушение естественных экосистем и использование почв в земледелии Ставропольского края является одновременно как неизбежным, так и главным фактором дефляции. Негативная роль обработок почв, провоцирующая развитие дефляционных процессов, в противовес должна иметь в земледелии эффективную альтернативу. Такая альтернатива существует в технологии прямого посева, которая все шире используется в практике хозяйств края [24, с. 767].

Таблица 4

Описание почвенного разреза чернозема обыкновенного среднесуглинистого карбонатного среднемощного

Горизонт	Мощность горизонта, см	Описание горизонта
A1	$\frac{0-55}{55}$	Темно-серый, среднесуглинистый, сухой, комковатый, хорошо агрегирован, в крупных макроагрегатах видны ходы червей, слабо уплотнен с поверхности, вскипает от 10 % HCL с 50 см, в нижней части горизонта мицеллярные выделения карбонатов, переход ровный
AB	$\frac{55-117}{62}$	Светлее предыдущего с оттенком бурого цвета, среднесуглинистый, слабо увлажнен в нижней части горизонта, мицеллярные выделения и новообразования карбонатов в форме белоглазки хорошо выражены по всему горизонту, переход ясный по осветлению и гранулометрическому составу
B1	$\frac{117-166}{49}$	Бурый, тяжелосуглинистый, очень слабо увлажнен, мицеллярные выделения карбонатов и новообразования в форме белоглазки, переход ясный по осветлению профиля
B2	166+	Светло-бурый, тяжелосуглинистый, слабо увлажнен, многочисленные новообразования карбонатов в форме белоглазки

Table 4

Description of the soil profile of ordinary mean-loamy carbon mean-power chernozem

Horizon	Power horizon, cm	Description of the horizon
A1	$\frac{0-55}{55}$	Dark gray, medium loam, dry, lumpy, well aggregated, in large macroaggregates visible worm passages, poorly compacted from the surface, boils from 10 % HCL with 50 cm, in the lower part of the horizon micellar carbonates, smooth transition
AB	$\frac{55-117}{62}$	Lighter than the previous one with a shade of brown, medium loam, slightly moistened in the lower part of the horizon, micellar discharge and new formations of carbonates in the form of white-eye are well expressed throughout the horizon, the transition is clear in terms of lightening and granulometric composition
B1	$\frac{117-166}{49}$	Brown, heavy-loam, very poorly moistened, micellar carbonates and neoplasms in the form of a white-eye, the transition is clear by the lightening of the profile
B2	166+	Light brown, heavy loam, poorly moistened, numerous new formations of carbonates in the form of white-eye

Таблица 5

Морфологические показатели обыкновенных черноземов при возделывании культур по традиционной технологии и прямом посеве

Показатель	Поле 1А	Поле 1Б	Поле 2А	Поле 2Б
	Традиционная технология	Прямой посев	Традиционная технология	Прямой посев
Мощность горизонта А1 (см)	32, 30, 33, 36, 34	52, 55, 54, 50, 49	35, 36, 31, 37, 36	55, 57, 58, 54, 56
Средняя	33	52	35	56
Непараметрический критерий Х (Ван дер Вардена)	Выборки по мощности А1 различаются при уровне вероятности для $\alpha = 0,05$		Выборки по мощности А1 различаются при уровне вероятности для $\alpha = 0,05$	
Глубина вскипания от 10 % НСЛ	С поверхности почв	42, 44, 48, 39, 37	С поверхности почв	50, 52, 48, 49, 51
Средняя	С поверхности почв	42	С поверхности почв	50

Table 5

Morphological indicators of ordinary chernozem soil in the cultivation of crops according to traditional methods and no-till

Parameter	Field 1A	Field 1B	Field 2A	Field 2B
	Traditional tillage	No-till	Traditional tillage	No-till
Power horizon A1 (cm)	32, 30, 33, 36, 34	52, 55, 54, 50, 49	35, 36, 31, 37, 36	55, 57, 58, 54, 56
Mean	33	52	35	56
A nonparametric test X (Van der warden)	The power samples A1 differ at the probability level for $\alpha = 0.05$		The power samples A1 differ at the probability level for $\alpha = 0.05$	
Boiling depth from 10 % HCL	From the soil surface	42, 44, 48, 39, 37	From the soil surface	50, 52, 48, 49, 51
Mean	From the soil surface	42	From the soil surface	50

Пример ООО СХП «Урожайное» в качестве наиболее длительного использования ПП в Ипатовском районе убедительно свидетельствует об эффективности выбранной технологии в решении проблем с дефляцией почв. Можно привести много других фактов эффективности использования прямого посева в жизни хозяйства, но одно то, что не применяется чистый пар, а после жатвы пожнивные остатки остаются на поверхности почв, является главным фактором, предотвращающим или сдерживающим дефляцию. Разница в 19 и 21 см в мощности гумусового горизонта черноземов разных систем ведения земледелия (см. таблицу 5) тому свидетельство, подтверждающее снижение и/или прекращение дефляции на полях прямого посева. В добавление к этому по экономическим показателям, включая урожайность, ООО СХП «Урожайное» превосходит другие сельскохозяйственные предприятия Ипатовского района [25, с. 60].

В Буденновском районе на примере почвенно-геоморфологического профиля пересекающего поля с разной системой земледелия и лесополосу между ними были проведены детальные исследования южных черноземов, аналогично проведенным в Ипатовском районе. Разница между мощностью гумусового горизонта на фермерском поле (рис. 5) и на поле СПК «Архангельский», использующем в

течение 7 лет прямой посев (рис. 6), составила в среднем около 10 см, при варьировании 42–50 см и 55–58 см соответственно.

Результаты макроструктурного анализа показали, что по содержанию агрономически ценных агрегатов черноземы ТТ (43,8 %) и ПП (39,6 %) не различаются и находятся в критическом состоянии, тогда как в почвах лесополосы этот показатель равен 60,8 % и близок к оптимальному уровню [26, с. 144]. По агрохимическим показателям почвы разных систем земледелия практически не различаются, так как период в 7 лет использования прямого посева на этих почвах недостаточно продолжительный для восстановления деградированных свойств, тогда как защитная функция растительных остатков на поверхности почв хорошо видна по разности мощности гумусового горизонта (таблица 6).

Учитывая, что в Буденновском районе доминирует водная эрозия, такие различия не являются достоверным показателем только дефляционных процессов, скорее совмещенной водной и ветровой эрозии. Вместе с тем выявленная тенденция отражает, с одной стороны, эффективность противозрозийной защиты почв при прямом посеве, с другой – усиление деградации почв при использовании ТТ. Фермерские хозяйства района, соседствующие с СПК



Рис. 3. Традиционная технология
Fig. 3. Traditional tillage



Рис. 4. Прямой посев
Fig. 4. No-till

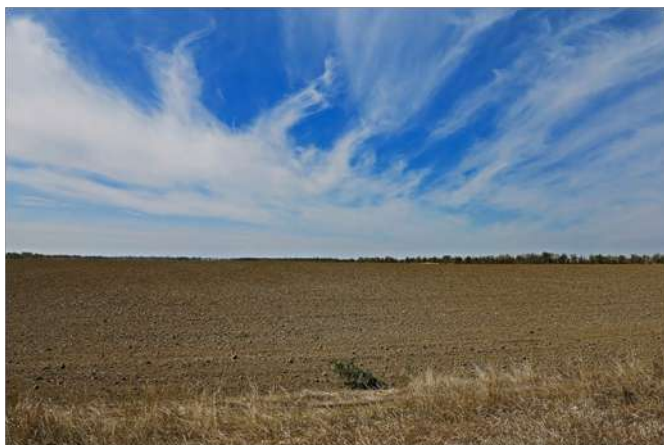


Рис. 5. Фермерское поле (традиционная технология),
границающее через лесополосу с полем в СПК «Архангельский»
Fig. 5. Farmer's field (traditional technology) bordering through a
forest belt with a field in the agricultural production cooperative
"Arkhangel'skiy"



Рис. 6. Поле в СПК «Архангельский» (прямой посев)
Fig. 6. Field in the agricultural production cooperative
"Arkhangel'skiy" (no-till)

«Архангельский», переходят на новую технологию, обеспечивая экономию ресурсов и постепенно снижая процессы эрозии, включая дефляцию, путем распределения на поверхности почв растительных остатков возделываемых культур и отказываясь от использования чистого пара.

Выбор метода защиты почв от дефляции остается за хозяйствующим субъектом, однако оценка дефляции на примере представленных материалов, методически не сложная в применении, дает возможность решить этот вопрос, не прибегая к сложным полевым исследованиям, лабораторным анализам и расчетам. Черноземы как глав-

ный сельскохозяйственный ресурс края при использовании технологии ПП постепенно восстанавливают свои утраченные агрофизические свойства. Результаты анализа образцов, взятых в точках вокруг опорных скважин XVII-2017 и XX-2017, подтвердили эту тенденцию [27, с. 16]. При соблюдении технологии прямого посева на обыкновенных черноземах не наблюдается переуплотнения почв, она восстанавливается до исходного уровня за 4–6 лет. Кроме того, существенно повышается водоустойчивость агрегатов, что объясняется количественным увеличением поступления растительных остатков [22, с. 888].

Таблица 6

Агрохимические показатели почв фермерского поля (ТТ) и СПК «Архангельский» (ПП)

Номер скважины	Слой почвы, см	pH водный	pH солевой	C неорганический	Гумус, %	Технология
1-435	0–10	8,34	7,10	0,26	3,24	Прямой посев
1-435	10–20	8,36	7,28	0,36	2,31	
12-438	0–10	8,44	7,23	0,29	2,36	
12-438	10–20	8,47	7,34	0,26	2,43	
6-436	0–10	8,49	7,48	0,34	2,47	Традиционная технология
6-436	10–20	8,50	7,42	0,34	2,47	
25-451	0–10	8,38	7,37	0,31	2,51	
25-451	10–20	8,54	7,29	0,34	2,53	

Table 6

Agrochemical indicators of soils of the farmer's field (TT) and the agricultural production cooperative "Arkhangel'skiy" (PP)

Well number	Soil layer, cm	pH water	pH salt	C inorganic	Humus, %	Technology
1-435	0–10	8.34	7.10	0.26	3.24	No-till
1-435	10–20	8.36	7.28	0.36	2.31	
12-438	0–10	8.44	7.23	0.29	2.36	
12-438	10–20	8.47	7.34	0.26	2.43	
6-436	0–10	8.49	7.48	0.34	2.47	Traditional tillage
6-436	10–20	8.50	7.42	0.34	2.47	
25-451	0–10	8.38	7.37	0.31	2.51	
25-451	10–20	8.54	7.29	0.34	2.53	

Восстановление деградированных агрофизических свойств почв в результате смены традиционной технологии на прямой посев отмечается в разной степени также в типичных и южных подтипах черноземов [28, с. 1098]. На примере воздействия дефляции в условиях эродированного почвенного покрова этот тренд проявляется наиболее рельефно.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Пример ООО СХП «Урожайное», которое занимается прямым посевом уже 13 лет, демонстрирует возможность решения дефляционной проблемы и деградации почв на уровне района и Ставропольского края в целом. Использование традиционной технологии, применяющей обработки почв, усиливает дефляционные процессы особенно в зонах наибольшего проявления ветрового режима. В условиях возделывания сельскохозяйственных культур по технологии прямого посева, почва практически весь год перекрыта с поверхности пожнивными остатками, создающими эффект депонирования почв, препятствуя таким образом развитию ветровой эрозии.

Лесополосы в определенной степени защищают почвы от дефляции, что хорошо видно в проявлении аккумулярующего эффекта пылевой фракции черноземов в лесополосе. Вместе с тем лесополосы не в состоянии радикально ослабить воздействие дефляции в условиях проявления жесткого ветрового режима. Нужны другие методы, одним из которых является замена традиционной технологии земледелия на прямой посев.

Отсюда очевидна важность мониторинга почвенного покрова и диагностика дефляции по данным морфометрических показателей и морфологических свойств черноземов, вовлеченных в длительный по времени агрогенез. Эти параметры имеют свою информативную нишу и вместе с аналитическими данными характеризуют общую картину процесса деградации/восстановления плодородия черноземов Ставрополья.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-16-00053.

Библиографический список

- Есаулко А. Н., Коростылев С. А., Сигида М. С., Голосной Е. В. Динамика показателей плодородия при возделывании сельскохозяйственных культур по технологии no-till в условиях Ставропольского края // Агрохимический вестник. 2018. № 4. С. 58–62. DOI: 10.24411/0235-2516-2018-10030.
- Антонов С. А., Есаулко А. Н., Сигида М. С., Голосной Е. В. Оценка развития процессов водной эрозии на территории агроландшафтов Ставропольского края и их влияние на продуктивность // Вестник АПК Ставрополья. 2018. № 1 (29). С. 67–72.

3. Антонов С. А. Анализ влияния особенностей рельефа на развитие процессов линейной водной эрозии на пашне Ставропольского края // Известия Оренбургского ГАУ. 2019. № 3 (77). С. 30–33.
4. Масютенко Н. П., Кузнецов А. В., Масютенко М. Н., Припутнева М. А. Связь показателей гумусного состояния чернозема типичного с урожайностью озимой пшеницы // Земледелие. 2019. № 8. С. 26–29. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10806.
5. Ситников В. Н., Егоров В. П., Есаулко А. Н., Бурлай А. В. Мониторинг плодородия почв Ставропольского края: динамика агрохимических показателей с учётом зональных особенностей почв // Агрохимический вестник. 2018. № 4. С. 8–13. DOI: 10.24411/0235-2516-2018-10019.
6. Извеков А. С. Защита почв от эрозии и воспроизводство их плодородия в южных степных и лесостепных районах России // Бюллетень Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 2012. Вып. 70. С. 79–93.
7. Бурлай А. В., Фурсов А. Д. Оценка агрохимического и эколого-токсикологического состояния земель сельскохозяйственного назначения в западной части Ставропольского края // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 4. С. 16–19. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10404.
8. Измайлов А. Ю., Спирин А. П., Жук А. Ф., Сизов О. А., Извеков А. С. Почвозащитные технологии и комплекс машин для возделывания сельскохозяйственных культур в зоне Армавирского ветрового коридора // Достижения науки и техники АПК. 2007. № 6. С. 19–22.
9. Мальцев К. А., Ермолаев О. П. Потенциальные эрозионные потери почвы на пахотных землях европейской территории России // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1502–1512.
10. Дорожко Г. Р., Власова О. И., Шабалдас О. Г., Зеленская Т. Г. Влияние длительного применения прямого посева на основные агрофизические факторы плодородия почвы и урожайность озимой пшеницы в условиях засушливой зоны // Земледелие. 2017. № 7. С. 7–10.
11. Когут Б. М., Артемьева З. С., Кириллова Н. П., Яшин М. А., Сошникова Е. И. Компонентный состав органического вещества воздушно-сухих и водоустойчивых макроагрегатов 2–1 мм типичного чернозема в условиях контрастного землепользования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 161–170. DOI: 10.1134/S0032180X19020084.
12. Дридигер В. К., Кулинцев В. В., Стукалов Р. С., Гаджиумаров Р. Г. Влияние технологии возделывания полевых культур на водно-физические свойства чернозема обыкновенного в первой ротации полевого севооборота зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (66) С. 39–43.
13. Дридигер В. К. Влияние растительных остатков на противозерозионную устойчивость почвы // Эрозия почв: проблемы и пути повышения эффективности растениеводства в адаптивно-ландшафтной системе земледелия: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию противозерозионного комплекса ФГУП «Новокинулинское». Ульяновск: УлГТУ, 2018. С. 59–64.
14. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
15. Годунова Е. И., Шаповалова И. Н., Кулинцев В. В., Хрипунов А. И., Шкабарда С. Н. Состояние плодородия почв Ставрополя и пути достижения их нуль-деградации в современных климатических условиях // Агрохимический вестник. 2017. № 5. С. 7–11.
16. Гречишкина Ю. И., Сычев В. Г. Мониторинг содержания микроэлементов в черноземных почвах Центрального Предкавказья // Земледелие. 2020. № 3. С. 8–10. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10301.
17. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps // FAO. World Soil Resources Reports. 2014. No. 106. 203 p.
18. Холодов В. А., Ярославцева Н. В., Фарходов Ю. Р., Белобров В. П., Юдин С. А., Айдиев А. Я., Лазарев В. И., Фрид А. С. Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 184–193. DOI: 10.1134/S0032180X19020060.
19. Урбах В. Ю. Биометрические методы. Москва: Наука, 1964. 415 с.
20. Базыкина Г. С., Извеков А. С., Жданов С. Г. Водный режим и продуктивность предкавказских агрочерноземов обыкновенных в период аномальных погодных условий 2007–2013 гг. // Почвоведение. 2015. № 3. С. 296–307.
21. Дридигер В. К., Белобров В. В., Стукалов Р. С., Юдин С. А., Кутюкова О. В., Гаджиумаров Р. Г. Результаты исследования технологии прямого посева в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Сельскохозяйственный журнал. 2019. № 5 (12). С. 51–59. DOI: 10.25930/0372-3054/008.5.12.2019.
22. Белобров В. П., Юдин С. А., Ярославцева Н. В., Юдина А. В., Дридигер В. К., Стукалов Р. С., Ключев Н. Н., Замотаев И. В., Ермолаев Н. Р., Иванов А. Л., Холодов В. А. Изменение физических свойств черноземов при прямом посеве // Почвоведение. 2020. № 7. С. 880–890. DOI: 10.31857/S0032180X20070023.
23. Kulintsev V. V., Dridiger V. K., Godunova E. I., Kovtun V. I., Zhukova M. P. Effect of No-till Technology on The Available Moisture Content and Soil Density in The Crop Rotation // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2017. No. 8 (6). Pp. 795–799.
24. Dridiger V. K., Godunova E. I., Eroshenko F. V., Stukalov R. S., Gadzhiumarov R. G. Effect of No-till Technology on erosion resistance, the population of earthworms and humus content in soil // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. No. 9 (2). Pp. 766–770.
25. Дридигер В. К. Практические рекомендации по освоению технологии возделывания сельскохозяйственных культур без обработки почвы в засушливой зоне Ставропольского края. Саратов: Амирит, 2016. 82 с.
26. Фрид А. С., Кузнецова И. В., Королева И. Е., Бондарев А. Г., Когут Б. М., Уткаева В. Ф., Азовцева Н. А. Зональ-

но-провинциальные нормативы изменений агрохимических, физико-химических и физических показателей основных пахотных почв европейской территории России при антропогенных воздействиях. Москва: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2010. 176 с.

27. Петрова Л. Н., Дридигер В. К., Кашаев Е. А. Влияние технологий возделывания сельскохозяйственных культур на содержание продуктивной влаги и плотность почвы в севообороте // Земледелие. 2015. № 5. С. 16–18.

28. Холодов В. А., Ярославцева Н. В., Лазарев В. И., Фрид А. С. Интерпретация данных агрегатного состава типичных черноземов разного вида использования методами кластерного анализа и главных компонент // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1093–1100.

Об авторах:

Виктор Петрович Белобров¹, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий межинститутским отделом по изучению черноземных почв, ORCID 0000-0001-6126-5676, AuthorID 90445; +7 903 219-15-15, belobrovvp@mail.ru

Виктор Корнеевич Дридигер², доктор сельскохозяйственных наук, профессор, руководитель научного направления, ORCID 0000-0002-0510-2220, AuthorID 314573; +7 962 400-65-77, dridiger.victor@gmail.com

Сергей Анатольевич Юдин¹, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник межинститутского отдела по изучению черноземных почв, ORCID 0000-0003-2199-8474, AuthorID 789455; +7 916 509-61-41, yudin_sa@esoil.ru

Никита Романович Ермолаев¹, аспирант межинститутского отдела по изучению черноземных почв, ORCID 0000-0001-6126-5676, AuthorID 1074902; +7 915 402-29-44, n.r.ermolaev94@gmail.com

¹ Почвенный институт имени В. В. Докучаева, Москва, Россия

² Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

To the question of diagnostics and protection of soils from deflation in Stavropol territory

V. P. Belobrov¹, V. K. Dridiger², S. A. Yudin¹, N. R. Ermolaev¹

¹ V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia

² North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Mikhailovsk, Russia

✉ E-mail: dridiger.victor@gmail.com

Abstract. The research aim is to assess the degree of deflation when comparing traditional crop cultivation technology using soil treatment and no-till. **Object of research** is located on the territory of the Ipatovsky district of the Stavropol territory, where the method of evaluating the deflation of ordinary chernozems (WRB 2006 Voronic Chernozems Pachic) by morphometric indicators and properties of the soil profile has been tested on the example of 2 farms using different technologies. **Methods.** In this research, a morphometric method for estimating deflation was used, based on measuring the capacity of the humus horizon of soils based on data from manual drilling of wells fixed by GPS in 5-fold repetition. **Results and practical significance.** The obtained data revealed a decrease in the capacity of the humus horizon in the treated soils (on average by 19-21 cm) compared to the soils of the farm that has been using no-till technology for the past 13 years. The forest belt serves as a buffer zone, it accumulates the dusty material of chernozems carried out during deflation with a capacity of up to 40-50 cm. Deflation of arable soils is caused by cultivation and use of pure steam in crop rotations (every third year). It leads to the transformation of the soil profile as a whole, changing the species composition of chernozems by one gradation from medium and carbonate (no-till) to low-power and high-carbon (traditional technology). The reduction or cessation of deflation of chernozems in the no-till technology is associated with its anti-deflation feature – the distribution of crop residues on the soil surface, the refusal to use pure steam, which together leads to the restoration of degraded properties of chernozems. **Scientific innovation** consists in testing a field morphometric method for estimating deflation in time and space, which can be used for monitoring soil cover (soil mapping, agrochemical surveys, etc.) or targeted research.

Keywords: traditional technology, no-till, morphometric parameters, wind conditions.

For citation: Belobrov V. P., Dridiger V. K., Yudin S. A., Ermolaev N. R. K voprosu o diagnostike i zashchite pochv ot deflyatsii v Stavropol'skom krae [To the question of diagnostics and protection of soils from deflation in Stavropol territory] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 02 (205). Pp. 12–25. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-12-25. (In Russian.)

Paper submitted: 22.06.2020.

References

1. Esaulko A. N., Korostylev S. A., Sigida M. S., Golosnoy E. V. Dinamika pokazateley plodorodiya pri vozdeleyvanii sel'skokhozyaystvennykh kul'tur po tekhnologii no-till v usloviyakh Stavropol'skogo kraya [The dynamics of fertility indicators in the cultivation of crops using no-till technology in the Stavropol Territory] // Agrokhimicheskiy vestnik. 2018. No. 4. Pp. 58–62. DOI: 10.24411/0235-2516-2018-10030. (In Russian.)

2. Antonov S. A., Esaulko A. N., Sigida M. S., Golosnoy E. V. Otsenka razvitiya protsessov vodnoy erozii na territorii agrolandshaftov Stavropol'skogo kraya i ikh vliyaniye na produktivnost' [Assessment of the development of water erosion processes on the territory of agrolandscapes of the Stavropol Territory and their impact on productivity] // Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2018. No. 1 (29). Pp. 67–72. (In Russian.)
3. Antonov S. A. Analiz vliyaniya osobennostey rel'yefa na razvitiye protsessov lineynoy vodnoy erozii na pashne Stavropol'skogo kraya [Analysis of the influence of relief features on the development of linear water erosion processes on the arable land of the Stavropol Territory] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. No. 3 (77). Pp. 30–33. (In Russian.)
4. Masyutenko N. P., Kuznetsov A. V., Masyutenko M. N., Pripitneva M. A. Svyaz' pokazateley gumusnogo sostoyaniya chernozema tipichnogo s urozhaynost'yu ozimoy pshenitsy [The relationship between the indicators of the humus state of typical chernozem and winter wheat productivity] // Zemledelie. 2019. No. 8. Pp. 26–29. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10806. (In Russian.)
5. Sitnikov V. N., Egorov V. P., Esaulko A. N., Burlay A. V. Monitoring plodorodiya pochv Stavropol'skogo kraya: dinamika agrokhimicheskikh pokazateley s uchotom zonal'nykh osobennostey pochv [Soil fertility monitoring in the Stavropol Territory: dynamics of agrochemical indicators taking into account zonal features of soils] // Agrochemical Herald. 2018. No. 4. Pp. 8–13. DOI: 10.24411/0235-2516-2018-10019. (In Russian.)
6. Izvekov A. S. Zashchita pochv ot erozii i vosproizvodstvo ikh plodorodiya v yuzhnykh stepnykh i lesostepnykh rayonakh Rossii [Soil protection from erosion and reproduction of their fertility in the southern steppe and forest-steppe regions of Russia] // Dokuchaev Soil Bulletin. 2012. No. 70. Pp. 79–93. (In Russian.)
7. Burlay A. V., Fursov A. D. Otsenka agrokhimicheskogo i ekologo-toksikologicheskogo sostoyaniya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v zapadnoy chasti Stavropol'skogo kraya [Evaluation of the agrochemical and ecological-toxicological state of agricultural land in the western part of the Stavropol Territory] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2019. No. 4. Pp. 16–19. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10404. (In Russian.)
8. Izmaylov A. Yu., Spirin A. P., Zhuk A. F., Sizov O. A., Izvekov A. S. Pochvozashchitnyye tekhnologii i kompleks mashin dlya vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v zone Armavirskogo vetrovogo koridora [Soil-protective technologies and a set of machines for cultivating crops in the zone of the Armavir wind corridor] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2007. No. 6. Pp. 19–22. (In Russian.)
9. Mal'tsev K. A., Ermolayev O. P. Potentsial'nyye erozionnyye poteri pochvy na pakhotnykh zemlyakh yevropeyskoy territorii Rossii [Potential erosive soil losses on arable lands of the European territory of Russia] // Pochvovedeniye. 2019. No. 12. Pp. 1502–1512. (In Russian.)
10. Dorozhko G. R., Vlasova O. I., Shabalda O. G., Zelenskaya T. G. Vliyaniye dlitel'nogo primeneniya pryamogo poseva na osnovnyye agrofizicheskiye faktory plodorodiya pochvy i urozhaynost' ozimoy pshenitsy v usloviyakh zasushlivoy zony [The effect of prolonged use of direct sowing on the main agrophysical factors of soil fertility and yield of winter wheat in an arid zone] // Zemledelie. 2017. No. 7. Pp. 7–10. (In Russian.)
11. Kogut B. M., Artem'yeva Z. S., Kirillova N. P., Yashin M. A., Soshnikova E. I. Komponentnyy sostav organicheskogo veshchestva vozduшно-sukhikh i vodoustoychivyykh makroagregatov 2–1 mm tipichnogo chernozema v usloviyakh kontrastnogo zemlepol'zovaniya [The component composition of the organic matter of air-dry and water-resistant macroaggregates of 2–1 mm of typical chernozem under conditions of contrast land use] // Pochvovedeniye. 2019. No. 2. Pp. 161–170. DOI: 10.1134/S0032180X19020084. (In Russian.)
12. Dridiger V. K., Kulintsev V. V., Stukalov R. S., Gadzhumarov R. G. Vliyaniye tekhnologii vozdeleyvaniya polevykh kul'tur na vodno-fizicheskiye svoystva chernozema obyknovennogo v pervoy rotatsii polevogo sevooborota zony neustoychivogo uvlazhneniya Stavropol'skogo kraya [The influence of field crop cultivation technology on the water-physical properties of common chernozem in the first rotation of field crop rotation in the unstable humidification zone of the Stavropol Territory] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. No. 4 (66). Pp. 39–43. (In Russian.)
13. Dridiger V. K. Vliyaniye rastitel'nykh ostatkov na protiverozionnyuyu ustoychivost' pochvy [The influence of plant residues on the erosion resistance of soil] // Eroziya pochv: problemy i puti povysheniya effektivnosti rasteniyevodstva v adaptivno-landshaftnoy sisteme zemledeliya: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 50-letiyu protiverozionnogo kompleksa FGUP "Novonikulinskoe". Ul'yanovsk: UIGTU, 2018. Pp. 59–64. (In Russian.)
14. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of Russian soils]. Smolensk, 2004. 342 p. (In Russian.)
15. Godunova E. I., Shapovalova I. N., Kulintsev V. V., Khripunov A. I., Shkabarda S. N. Sostoyaniye plodorodiya pochv Stavropol'ya i puti dostizheniya ikh nul'-degradatsii v sovremennykh klimaticheskikh usloviyakh [The soil fertility status in the Stavropol Territory and ways to achieve their zero degradation in modern climatic conditions] // Agrochemical Herald. 2017. No. 5. Pp. 7–11.
16. Grechishkina Yu. I., Syrov V. G. Monitoring soderzhaniya mikroelementov v chernozemnykh pochvakh Tsentral'nogo Predkavkaz'ya [Monitoring of trace elements in chernozem soils of the Central Ciscaucasia] // Zemledelie. 2020. No. 3. Pp. 8–10. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10301. (In Russian.)
17. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps // FAO. World Soil Resources Reports. 2014. No. 106. 203 p.
18. Kholodov V. A., Yaroslavtseva N. V., Farkhodov Yu. R., Belobrov V. P., Yudin S. A., Aydiyev A. Ya., Lazarev V. I., Frid A. S. Izmeneniye sootnosheniya fraktsiy agregatov v gumusovykh gorizontakh chernozemov v razlichnykh usloviyakh zemlepol'zovaniya [Change in the ratio of aggregate fractions in the humus horizons of chernozems in different land use conditions] // Pochvovedeniye. 2019. No. 2. Pp. 184–193. DOI: 10.1134/S0032180X19020060. (In Russian.)

19. Urbakh V. Yu. Biometricheskiye metody [Biometric methods]. Moscow: Nauka, 1964. 415 p. (In Russian.)
20. Bazykina G. S., Izvekov A. S., Zhdanov S. G. Vodnyy rezhim i produktivnost' predkavkazskikh agrochernoziem obyknovennykh v period anomal'nykh pogodnykh usloviy 2007–2013 gg. [Water regime and productivity of the Pre-Caucasian agrochernoziem ordinary during abnormal weather conditions 2007–2013] // *Pochvovedeniye*. 2015. No. 3. Pp. 296–307. (In Russian.)
21. Dridiger V. K., Belobrov V. V., Stukalov R. S., Yudin S. A., Kutovaya O. V., Gadzhumarov R. G. Rezul'taty issledovaniya tekhnologii pryamogo poseva v zone neustoychivogo uvlazhneniya Stavropol'skogo kraya [Results of research on direct sowing technology in the unstable humidification zone of the Stavropol Territory] // *Agricultural journal*. 2019. No. 5 (12). Pp. 51–59. (In Russian.) DOI: 10.25930/0372-3054/008.5.12.2019.
22. Belobrov V. P., Yudin S. A., Yaroslavtseva N. V., Yudina A. V., Dridiger V. K., Stukalov R. S., Klyuyev N. N., Zamo-tayev I. V., Ermolayev N. R., Ivanov A. L., Kholodov V. A. Izmeneniye fizicheskikh svoystv chernozemov pri pryamom poseve [Change in the physical properties of chernozems in no-till] // *Pochvovedeniye*. 2020. No. 7. Pp. 880–890. DOI: 10.31857/S0032180X20070023. (In Russian.)
23. Kulintsev V. V., Dridiger V. K., Godunova E. I., Kovtun V. I., Zhukova M. P. Effekt of No-till Technology on The Available Moisture Content and Soil Density in The Crop Rotation // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2017. No. 8 (6). Pp. 795–799.
24. Dridiger V. K., Godunova E. I., Eroshenko F. V., Stukalov R. S., Gadzhumarov R. G. Effekt of No-till Technology on erosion resistance, the population of earthworms and humus content in soil // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. No. 9 (2). Pp. 766–770.
25. Dridiger V. K. Prakticheskiye rekomendatsii po osvoyeniyu tekhnologii vozdeystviya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur bez obrabotki pochvy v zasushlivoy zone Stavropol'skogo kraya [Practical recommendations for mastering the technology of cultivation of agricultural crops without tillage in the arid zone of the Stavropol Territory]. Saratov: Amirit, 2016. 82 p. (In Russian.)
26. Frid A. S., Kuznetsova I. V., Koroleva I. E., Bondarev A. G., Kogut B. M., Utkayeva V. F., Azovtseva N. A. Zonal'no-provintsial'nyye normativy izmeneniy agrokhimicheskikh, fiziko-khimicheskikh i fizicheskikh pokazateley osnovnykh pakhotnykh pochv yevropeyskoy territorii Rossii pri antropogennykh vozdeystviyakh [Zonal-provincial standards for changes in agrochemical, physico-chemical and physical indicators of the main arable soils of the European territory of Russia under anthropogenic influences]. Moscow: V. V. Dokuchaev Soil science Institute, 2010. 176 p. (In Russian.)
27. Petrova L. N., Dridiger V. K., Kashchayev E. A. Vliyaniye tekhnologiy vozdeystviya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na sodержaniye produktivnoy vlagi i plotnost' pochvy v sevooborote [The influence of crop cultivation technologies on the content of productive moisture and soil density in crop rotation] // *Zemledelie*. 2015. No. 5. Pp. 16–18. (In Russian.)
28. Kholodov V. A., Yaroslavtseva N. V., Lazarev V. I., Frid A. S. Interpretatsiya dannykh agregatnogo sostava tipichnykh chernozemov raznogo vida ispol'zovaniya metodami klasternogo analiza i glavnykh component [Interpretation of the aggregate composition data of typical chernozems of different types of use by cluster analysis methods and main components] // *Pochvovedeniye*. 2016. No. 9. Pp. 1093–1100. (In Russian.)

Authors' information:

Viktor P. Belobrov¹, doctor of agricultural sciences, head of the inter-institutional department for the study of chernozem soils, ORCID 0000-0001-6126-5676, AuthorID 90445; +7 903 219-15-15, belobrovvp@mail.ru

Viktor K. Dridiger², doctor of agricultural sciences, professor, head of scientific direction, ORCID 0000-0002-0510-2220, AuthorID 314573; +7 962 400-65-77, dridiger.viktor@gmail.com

Sergey A. Yudin¹, candidate of biological sciences, leading researcher of the inter-institutional department for the study of chernozem soils, ORCID 0000-0003-2199-8474, AuthorID 789455; +7 916 509-61-41, yudin_sa@esoil.ru

Nikita R. Ermolaev¹, postgraduate of the inter-institutional department for the study of chernozem soils, ORCID 0000-0001-6126-5676, AuthorID 1074902; +7 915 402-29-44, n.r.ermolaev94@gmail.com

¹ V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia

² North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Mikhailovsk, Russia

Изменение кормовых запасов оленьих пастбищ в южных субарктических тундрах Ямала

А. М. Горбунова¹✉

¹ Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: anastasiya_psu1991@mail.ru

Аннотация. Актуальность работы связана с необходимостью мониторинга ресурсного потенциала растительности южных субарктических тундр. Тундры Ямала испытывают высокую пастбищную нагрузку, начиная с 1990 г. В результате увеличения количества частных хозяйств и поголовья домашних оленей на Ямале происходит деградация пастбищ (вытаптывание кормовой массы, выбивание растительности, исчезновение лишайникового покрова, усиление дефляции почв). **Цель работы** – сравнить кормовые запасы оленьих пастбищ в южных субарктических тундрах Ямала 2017–2018 и 1990-х гг. В ходе исследования получены оценки величины и структуры кормовых запасов в растительных сообществах южных субарктических тундр полуострова Ямал в окрестностях р. Паютаяха. Запас надземной фитомассы определяли **методом** укосов. В 2017 г. были исследованы деградированные участки тундр, в 2018 г. – ненарушенные и малонарушенные участки. **Научная новизна.** Выполнено сравнение полученных данных с оценками, опубликованными по южным субарктическим тундрам за 1990-е гг. **Результаты.** Кормовые запасы на деградированных участках по сравнению с запасами в южных субарктических тундрах в 1990-х гг., снизились в 14 раз; на ненарушенных участках – в 3 раза. В структуре кормовых запасов 2017–2018 гг. по сравнению с ситуацией конца XX в. уменьшились доли кустарников, лишайников и трав; доля кустарничков на деградированных участках возросла в 4 раза, а на ненарушенных – в 6 раз. Исследование подтверждает существование перевыпаса и дефицита кормовых ресурсов на пастбищах в зоне южных субарктических тундр Ямала.

Ключевые слова: Ямал, южные субарктические тундры, олени пастбища, перевыпас, кормовые запасы, структура кормовых запасов, пастбищная нагрузка, деградация пастбищ.

Для цитирования: Горбунова А. М. Изменение кормовых запасов оленьих пастбищ в южных субарктических тундрах Ямала // Аграрный вестник Урала. 2021. № 02 (205). С. 26–32. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-26-32.

Дата поступления статьи: 24.09.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

Важные результаты исследований динамики арктических экосистем в последние десятилетия, полученные с помощью геоинформационных систем и космоснимков, сводятся к представлениям о «позеленении» Арктики [1], [2], [3], [4, с. 12], [5, с. 2], [6]; «закустаривании» тундры и росте высоты листовых кустарников [3, с. 34], [5, с. 2, 9], [6, с. 32], [7, с. 4], [8, с. 1649, 1652], [9, с. 82]; увеличении проективного покрытия осок и злаков [3, с. 34], [6, с. 32–33]; росте значений вегетационных индексов [5, с. 5, 10] в т. ч. для Европейской части России, Западной и Центральной Сибири [6], в условиях потепления климата [8], [9, с. 72], [10, с. 7–8].

Этим заключениям не соответствует картина изменений экосистем, устанавливаемая по наземным наблюдениям на Ямале на исследуемых нами территориях, где разрастание кустарников не регистрируется, а кормовые запасы снижаются. Тундры Ямала испытывают высокую пастбищную нагрузку. С начала 1990-х гг. численность поголовья северных оленей увеличивается за счет личных (семейных) хозяйств [11, с. 133], [12, с. 156, 165], [13, с. 97]. В результате увеличения поголовья домашних

оленей на Ямале после 1990 г. интенсивный выпас стал ведущим фактором состояния тундровых биоценозов [14, с. 14]. Существуют оценки, что поголовье домашних оленей в ЯНАО превышает расчетную оленеемкость почти в 2 раза, что приводит к истощению оленьих пастбищ и выбиванию их крупными стадами [15, с. 103]. Выпас производится на всей территории полуострова, за исключением промзон [16, с. 400]. Пастбища стравливаются неоднократно за один сезон выпаса. При ежегодном проходе крупных стад почвенно-растительный покров нарушается. Площади лишайниковых тундр с 1930-х гг. сократились в 3,5–4 раза, около 13 % их площади трансформировались в песчаные обнажения [17, с. 50].

Цель работы – оценить характеристики продуктивности растительных сообществ (кормовые запасы и их структуру) южных субарктических тундр полуострова Ямал в окрестностях научно-исследовательского стационара «Еркута», сопоставив полученные результаты с аналогичными оценками, сделанными в 1990-е гг.

Методология и методы исследования (Methods)

Полуостров Ямал расположен на севере Западно-Сибирской равнины в тундровой зоне.

Исследования проводили на базе научно-исследовательского стационара «Еркута», ориентиром расположения которого является 222-й км трассы Обская – Бованенково, в 2 км от разъезда № 10 «Канары» (68°13'38.30" с. ш., 69°9'2.20" в. д.). Стационар расположен на берегу р. Паютаха в подзоне южных субарктических (кустарниковых) тундр. На территории окрестностей стационара «Еркута» выпас и другие формы антропогенного воздействия минимальны, промышленные объекты отсутствуют. Через этот район олени проходят на пути к зимним пастбищам, но постоянно на данной территории не выпасаются. В целом состояние растительного покрова на стационаре считается репрезентативным для подзоны южных арктических тундр Ямала. Имеются как выбитые участки, на которых присутствует помет оленей (некоторые из них совпадают с местами стоянок оленеводов), так и ненарушенные (с проективным покрытием растительности 100 % и сомкнутым моховым покровом).

При выборе пробных площадей использовали карту перпендикулярного вегетационного индекса PVI, предоставленную зав. лаб. Компьютерных технологий и моделей Института биологии Коми научного центра УрО РАН В. В. Елсаковым, за 2010–2013 гг. Предполагали, что пиксели разного цвета на карте PVI обозначают различные типы растительных сообществ. В июле 2017 г. исследовали контуры одного цвета (предположительно сильно деградированные участки). В июле 2018 г. исследовали участки, которые на карте PVI обозначены другими цветами.

При геоботанических описаниях (площади 10 × 10 м) фиксировали общее проективное покрытие растительности; частное проективное покрытие каждого вида; покрытие по ярусам и синузиям в процентах. Измеряли высоту ярусов и толщину мохово-лишайникового покрова, включая высоту живой и мертвой частей; глубину органического слоя почвы. В 2017 г. выполнено 15 геоботанических описаний на участках, отмеченных голубым цветом на карте PVI. В 2018 г. 5 описаний выполнили в контурах желтого, зеленого, красного и оранжевого цветов. Запас надземной фитомассы определяли методом укусов, предполагающим случайный отбор трех образцов 25 × 25 см на каждой площади. Сосудистые растения срезали на уровне границы зеленой (живой) и бурой (мертвой) части мхов. Лишайниково-моховую дернину вырезали ножом; при ее отсутствии остатки мхов и лишайников собирали в пакеты. Укусы разбирали по фракциям: разнотравье, осоки, злаки, мхи, лишайники, опад, ветошь, кустарники (листья и древесина) и кустарнички (по видам). Материал взвешивали в воздушно-сухом состоянии. Кормовые запасы отбирали из запасов фитомассы (выделяли поедаемые растения [18, с. 348–356]: листья кустарников, поедаемые кустарнички, травы (разнотравье, осоки и злаки) и лишайники).

Результаты (Results)

На всех площадях, исследованных в 2017 г., представлены сильно деградированные тундры. Проективное покрытие растительности на большинстве площадей было в среднем 80 %. Растения на площадях находились в угнетенном состоянии. Основную часть растительного покрова составляли отмершие особи растений. Высота живых

особей была следующей: кустарниковый ярус – 7–15 см, кустарничковый ярус – 3–6 см; травяной ярус – 10–15 см, мохово-лишайниковый ярус – 0–2 см. Лишайники чаще всего были представлены трухой. На 14 из 15 площадей было большое количество помета оленей. Помета не было на травяно-кустарничково-лишайниково-моховом болоте с проективным покрытием растений 100 %; это единственная площадь на суглинке; на остальных площадях почвы были представлены супесью или песком. На 11 площадях отмечено наличие различной утвари, одежды, посуды и прочих вещей местного населения. Это позволяет считать, что там находились стоянки оленеводов.

Летом 2018 г. укусы были взяты с ненарушенных и малонарушенных участков. Проективное покрытие растений в среднем было 98 %. Участки 2018 г. значительно отличались от участков 2017 г. в лучшую сторону: видовое богатство, высота растений, толщина органогенного горизонта почвы были больше. Проективное покрытие лишайников на площадях 2018 г. было ниже (в среднем 5 %), чем на площадях 2017 г. (в среднем 33 %) [19, с. 32]. Олений помет присутствовал на 4 из 5 площадей. Антропогенные нарушения отмечены только на одной площади. Почвы представлены супесью (1 площадь) и суглинком (4 площади).

Выявлено, что кормовые запасы в 2018 г. по сравнению с таковыми на деградированных участках 2017 г. были значительно выше: кустарников – в 10 раз; кустарничков – в 7 раз; трав – в 4 раза; лишайников – в 3 раза. В структуре фитомассы 2018 г. выше доля кустарников – в 2 раза; кустарничков – в 1,5 раза. При этом в структуре кормовых запасов 2017 г. трав больше в 1,2 раза; лишайников – в 1,6 раза.

В прошлом кормовые ресурсы растительных сообществ в южных субарктических тундрах Ямала были изучены значительно хуже, чем в арктических и северных субарктических тундрах. Усредненные данные по кормовым запасам южных субарктических тундр, полученные М. А. Магомедовой с соавторами в окрестностях фактории Хадыта в 1990-е гг., опубликованы в монографии [18, с. 222–227]. Авторы отмечают, что исследования 1990-х гг. проводили на не нарушенных выпасом оленей участках. Данные для сравнения ситуации в 2017–2018 гг. с 1990-ми гг. взяты из этой книги. Методики сбора полевого материала, использованные авторами монографии и нами, были одинаковыми.

Мы сравнили, как отличаются кормовые запасы на участках, исследованных в 2017–2018 гг., от запасов 1990-х гг. (рис. 1).

Кормовые запасы в 2017 г. на деградированных участках по сравнению с запасами по южным субарктическим тундрам в 1990-х гг. были значительно меньше: кустарников – в 35 раз, трав – в 19 раз, лишайников – в 18 раз, кустарничков – в 3,5 раза. Кормовые запасы в 2018 г. по сравнению с запасами в 1990-х гг. также снизились: кустарников – в 3 раза; трав – в 5 раз; лишайников – в 6 раз. Запасы кустарничков в 2018 г. были выше, чем в 1990-е гг., в 2 раза.

Также мы проанализировали, как отличается структура кормовых запасов в 2017–2018 гг. от их структуры в 1990-х гг. (рис. 2).

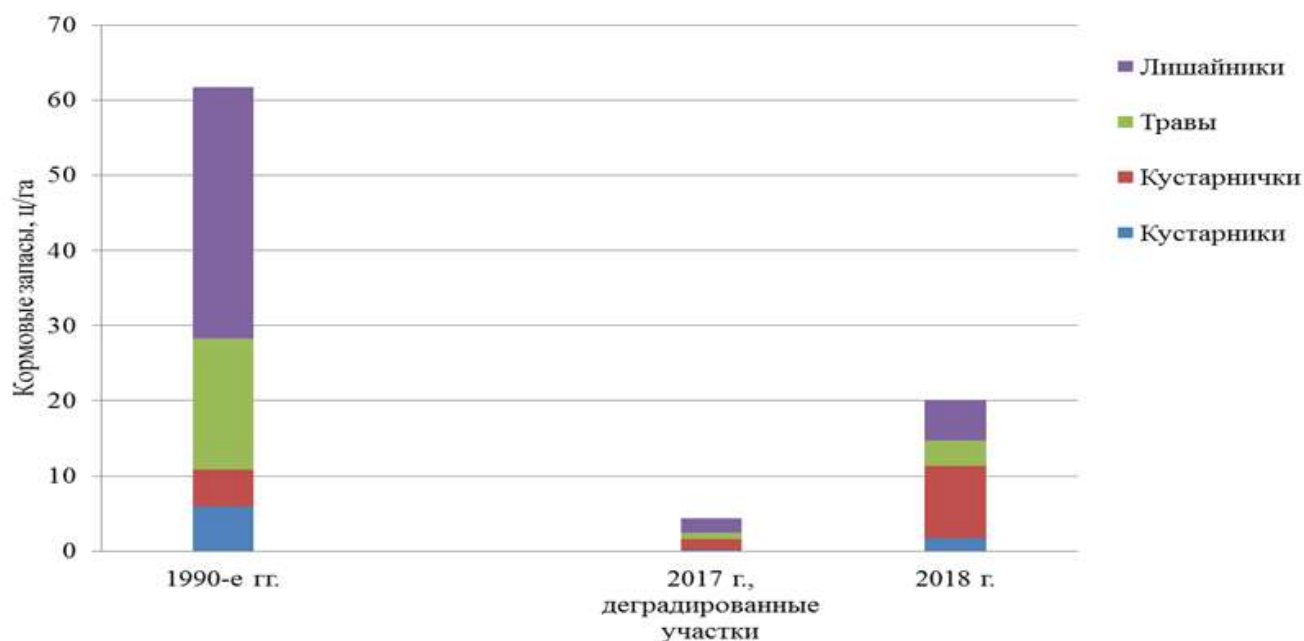


Рис. 1. Кормовые запасы в 1990-е гг. и в 2017–2018 гг.

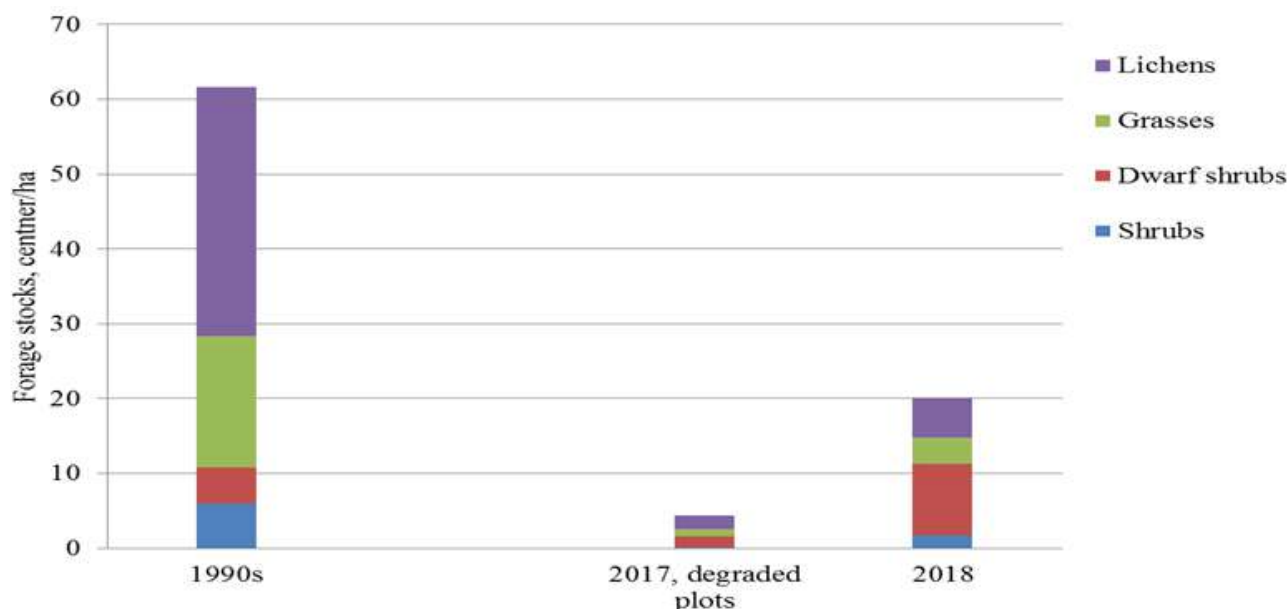


Fig. 1. Forage stocks in 1990s and in 2017–2018

В структуре кормовых запасов 2017 г. по сравнению с 1990-ми гг. уменьшилась доля кустарников в 2 раза, лишайников и трав – в 1,3 раза. Доля кустарничков возросла в 4 раза. В структуре кормовых запасов 2018 г. по сравнению с 1990-ми гг. также уменьшилась доля кустарников в 1,1 раза, трав – в 1,6 раза, лишайников – в 2 раза. Доля кустарничков в 2018 г. выше в 6 раз.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В целом кормовые запасы южных субарктических тундр Ямала в 2017–2018 гг. по сравнению с запасами, наблюдавшимися в 1990-е гг., значительно снизились. Особенно различаются запасы 1990-х гг. с запасами деградированных тундр, исследованных в 2017 г. Но даже на ненарушенных и малонарушенных участках, исследованных в 2018 г., кормовых запасов было значительно меньше, чем по оценкам 1990-х гг.

Несмотря на то что изученные в 2017 г. участки тундр были деградированными, а в 2018 г. – ненарушенными и запасы, документированные на них, существенно различались, в структуре кормовых запасов в доле соотношении основных компонентов растительности в оба года наименьшее значение было у кустарников. Это позволяет нам сделать вывод, что закустаривания тундры на исследуемых территориях не происходит. Этот вывод согласуется с недавними опубликованными выводами, сделанными на основе анализа космоснимков, на той же территории исследования [20, с. 4], о том, что выпас оленей регулирует площади распространения кустарников; поэтому на Южном Ямале рост площадей кустарников отсутствует. Наше исследование подтверждает, что на Ямале происходит деликенизация пастбищ [6, с. 32], [14, с. 15], поскольку в структуре кормовых запасов в 2017–2018 гг. преобладают плохо поедаемые и непоедаемые кустарнички.

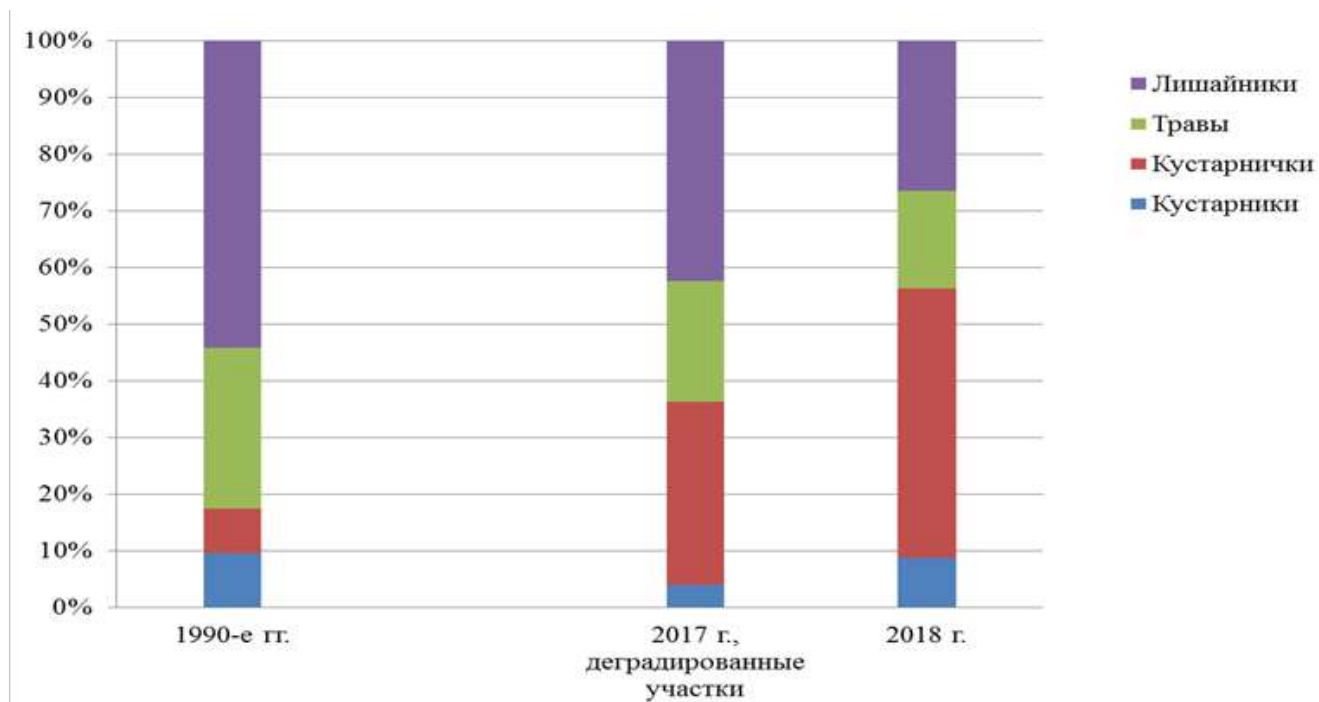


Рис. 2. Структура кормовых запасов в 1990-е гг. и 2017–2018 гг.

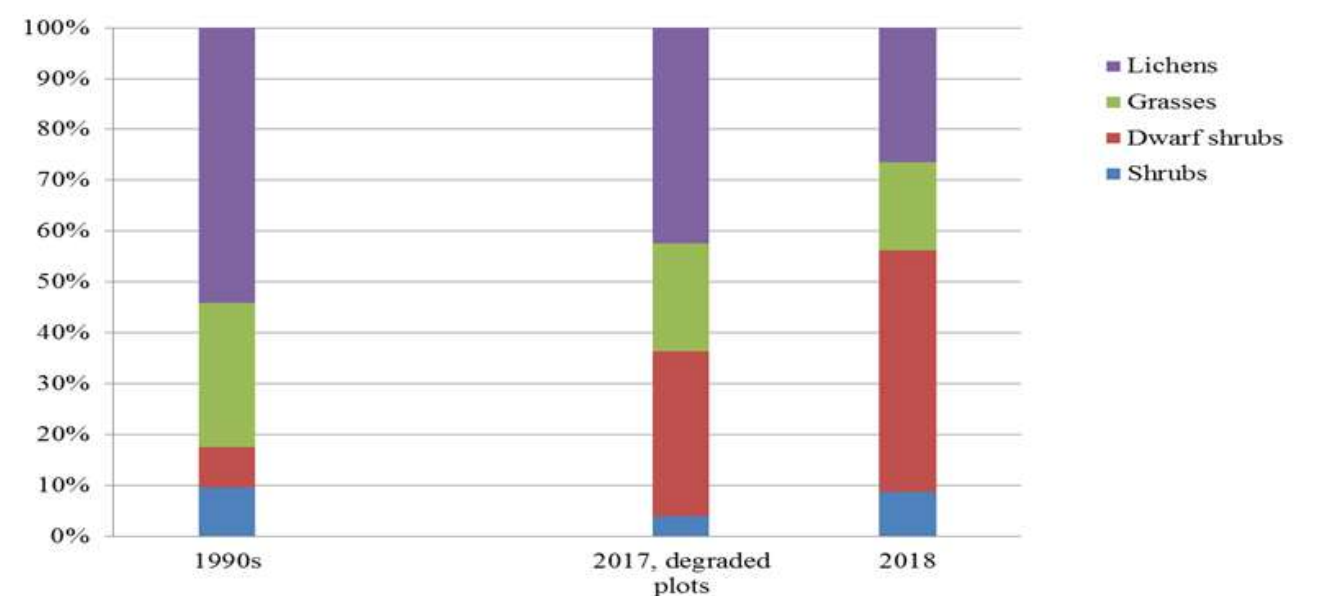


Fig. 2. The structure of forage stocks in 1990s and 2017–2018

По представленным оценкам, несмотря на потепление климата, растительность южных субарктических тундр Ямала находится в угнетенном состоянии и проблема перевыпаса и дефицита пастбищ актуальна, т. к. чрезмерный выпас оленей способствует разрушению растительного покрова. Это, вероятно, обуславливает необходимость корректировки традиционных способов эксплуатации пастбищ на территории Южного Ямала.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН и ча-

стично поддержана комплексной программой УрО РАН (проект № 18-9-4-22).

Автор выражает благодарность инженеру-исследователю Л. С. Горбунову и кандидату биологических наук С. Ю. Соковниной за помощь в сборе полевых материалов, кандидату биологических наук Л. М. Морозовой за помощь при выделении типов тундровых сообществ и определении видов растений и своему научному руководителю доктору биологических наук Д. В. Веселкину за ценные замечания по оформлению статьи.

Библиографический список

1. Forbes B. C., Fauria M. M., Zetterberg P. Russian arctic warming and “greening” are closely tracked by tundra shrub wil-
lows // *Global Change Biology*. 2010. No 16. Pp. 1542–1554. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.02047.x.
2. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Вайсфельд М. А., Глазов П. М., Кренке А. Н., Тertiцкий Г. М. «Позеленение» тун-
дры как драйвер современной динамики арктической биоты // *Арктика: экология и экономика*. 2018. № 2 (30). С. 31–44.
DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-31-44.
3. Белоновская Е. А., Тишков А. А., Вайсфельд М. А., Глазов П. М., Кренке А. Н.-мл., Морозова О. В., Покровская И. В.,
Царевская Н. Г., Тertiцкий Г. М. «Позеленение» российской Арктики и современные тренды изменения ее биоты // Из-
вестия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. № 3. С. 28–39. DOI: 10.15356/0373-2444-2016-3-28-39.
4. Walker D. A., Leibman M. O., Epstein H. E., Forbes B. C., Bhatt U. S., Raynolds M. K., Comiso J. C., Gubarkov A. A., Kho-
mutov A. V., Jia G. J., Kaarlejarvi E., Kaplan J. O., Kuss P., Matyshak G., Moskalenko N. G., Orekhov P., Romanovsky V. E.,
Ukraienseva N. G., Yu Q. Spatial and temporal patterns of greenness on the Yamal Peninsula, Russia: Interactions of ecological
and social factors affecting the Arctic normalized difference vegetation index // *Environmental Research Letters*. 2009. No. 4.
Pp. 1–16. DOI: 10.1088/1748-9326/4/4/045004.
5. Berner L. T., Jantz P., Tape K. D., Goetz S. J. Tundra plant above-ground biomass and shrub dominance mapped across the
North Slope of Alaska // *Environmental Research Letters*. 2018. No. 13. Pp. 2–14. DOI: 10.1088/1748-9326/aaaa9a.
6. Тишков А. А., Кренке А. Н.-мл. «Позеленение» Арктики в XXI в. как эффект синергизма действия глобального по-
тепления и хозяйственного освоения // *Арктика: экология и экономика*. 2015. № 4. С. 28–37.
7. Форбс Б. К., Кумпула Т., Месштыб Н., Лаптандер Р., Масиас-Фауриа М., Зеттерберг П., Вердонен М., Скарин А.,
Ким К., Бойсверт Л. Н., Строве Д. К., Бартиц А. Влияние сокращения ледовитости Баренцева и Карского морей на
традиционное оленеводство полуострова Ямал // *Известия Русского географического общества*. 2018. Вып. 1. С. 3–19.
8. Mengtian H., Shilong P., Janssens I. A., Zhu Z., Wang T., Wu D., Ciais P., Myneni R. B., Peaucelle M., Peng S., Yang H.,
Peñuelas J. Velocity of change in vegetation productivity over northern high latitudes // *Nature Ecology & Evolution*. 2017.
No. 1. Pp. 1649–1654. DOI: 10.1038/s41559-017-0328-y.
9. Тишков А. А., Вайсфельд М. А., Глазов П. М., Морозова О. В., Пузаченко А. Ю., Тertiцкий Г. М., Титова С. В. Био-
тически значимые тренды климата и динамика биоты российской Арктики // *Арктика: экология и экономика*. 2019. № 1
(33). С. 71–87. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-1-71-87.
10. Сердитова Н. Е. Изменение климата в Арктике: локальное и глобальное воздействие на окружающую среду // *Вест-
ник ТвГУ. Серия: География и геоэкология*. 2020. № 1 (29). С. 7–16. DOI: 10.26456/2226-7719-1-2020-7-16.
11. Южаков А. А. Северное оленеводство в XXI в.: генетический ресурс, культурное наследие и бизнес // *Арктика:
экология и экономика*. 2017. № 2 (26). С. 131–137.
12. Волковицкий А. И., Терехина А. Н. Современные проблемы ямального оленеводства: дискуссии и перспективы // *Эт-
нография*. 2020. № 2 (8). С. 152–169. DOI: 10.31250/2618-8600-2020-2(8)-152-169.
13. Bogdanov V. D., Golovatin M. G. Anthrax in Yamal: An Ecological View on Traditional Reindeer Husbandry // *Russian
Journal of Ecology*. 2017. Vol. 48. No. 2. Pp. 95–100. DOI: 10.1134/S1067413617020059.
14. Головатин М. Г., Морозова Л. М., Пасхальный С. П., Эктова С. Н. Изменение растительности и животного населе-
ния в тундрах Ямала под действием интенсивного выпаса домашних оленей // *Вестник Саратовского госагроуниверси-
тета им. Н. И. Вавилова*. 2008. № 9. С. 13–18.
15. Зуев С. М. Оленеводство в Ямало-ненецком автономном округе: перспективы и проблемы // *Научный вестник
Ямало-Ненецкого автономного округа*. 2015. № 3 (88). С. 103–107.
16. Логинов В. Г., Игнатъева М. Н., Балашенко В. В. Вред, причиненный ресурсам традиционного природопользова-
ния, и его экономическая оценка // *Экономика региона*. 2017. Т. 13. Вып. 2. С. 396–409. DOI: 10.17059/2017-2-6.
17. Морозова Л. М., Малыгина Н. В. Состояние растительного покрова тундровых пастбищ в районах многолетнего
выпаса домашних и диких северных оленей // *В мире научных открытий*. 2013. № 7.3 (43). С. 49–79.
18. Магомедова М. А., Морозова Л. М., Эктова С. Н., Ребристая О. В., Чернядьева И. В., Потемкин А. Д., Князев М. С.
Полуостров Ямал: растительный покров. Тюмень, 2006. 360 с.
19. Горбунова А. М. Запас и структура надземной фитомассы южных субарктических тундр в районе нижнего тече-
ния р. Еркатыаха // *Экология: факты, гипотезы, модели: материалы конференции молодых ученых ИЭРиЖ УрО РАН.
Екатеринбург*, 2019. С. 31–35.
20. Verma M., Schulte to Bühne H., Lopes M., Ehrich D., Sokovnina S., Hofhuis S. P., Pettorelli N. Can reindeer husbandry
management slow down the shrubification of the Arctic? // *Journal of Environmental Management*. 2020. No. 267. Pp. 1–7.
DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110636.

Об авторах:

Анастасия Михайловна Горбунова¹, младший научный сотрудник, ORCID 0000-0001-6673-0629, AuthorID 1087324;
+7 902 585-90-25, anastasiya_psu1991@mail.ru

¹ Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Change of feed stocks in southern subarctic tundra of Yamal

A. M. Gorbunova¹✉

¹ Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: anastasiya_psu1991@mail.ru

Abstract. The **relevance of the research** is related to the need to monitor the resource potential of the vegetation in the southern subarctic tundra. The Yamal tundra has been experiencing a high grazing pressure since 1990. As a result of the increase in the number of private farms and the number of domesticated reindeer in Yamal, pasture degradation occurs (trampling of forage mass, shredding vegetation, disappearance of lichen cover, increased soil deflation). **Purpose of the research** is compare the forage stocks of reindeer pastures in the southern subarctic tundra of Yamal in 2017–2018 and in the 1990s. In the course of the study, estimates of the amount and structure of forage stocks in plant communities of the southern subarctic tundra of the Yamal Peninsula was assessed in the vicinity of the Payutayakha river. The stock of aboveground phytomass was determined by the mowing **method**. In 2017, degraded areas of the tundra were studied, and in 2018 undisturbed and intact areas were investigated. **Scientific novelty.** The data obtained are compared with the estimates published for the southern subarctic tundra in the 1990s. **Results.** Forage stocks in degraded areas, compared to stocks in the southern subarctic tundra in the 1990s, decreased 14 times; while in on undisturbed areas they decreased 3 times. In the structure of forage stocks in 2017–2018, compared to the situation at the end of the 20th century, the proportions of shrubs, lichens and grasses has decreased; the proportion of dwarf shrubs in degraded areas increased 4 times, while in undisturbed areas it increased 6 times. The study confirms the existence of overgrazing and a shortage of forage resources on pastures in the zone of the southern subarctic tundra of Yamal.

Keywords: Yamal, southern subarctic tundra, reindeer pastures, overgrazing, forage stocks, structure of forage stocks, pasture load, degradation of pastures.

For citation: Gorbunova A. M. *Izmenenie kormovykh zapasov olen'ikh pastbishch v yuzhnykh subarkticheskikh tundrach Yamala* [Change of feed stocks in southern subarctic tundra of Yamal] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 02 (205). Pp. 26–32. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-26-32. (In Russian.)

Paper submitted: 24.09.2020.

References

1. Forbes B. C., Fauria M. M., Zetterberg P. Russian arctic warming and “greening” are closely tracked by tundra shrub wil- lows // *Global Change Biology*. 2010. No 16. Pp. 1542–1554. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.02047.x.
2. Tishkov A. A., Belonovskaya E. A., Vaisfel'd M. A., Glazov P. M., Krenke A. N., Tertytsky G. M. “Pozelenenie” tundry kak drayver sovremennoy dinamiki arctichesoy bioty [“The greening” of the tundra as a driver of the modern dynamics of arctic biota] // *Arctic: Ecology and Economics*. 2018. No. 2 (30). Pp. 31–44. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-31-44. (In Russian.)
3. Belonovskaya E. A., Tishkov A. A., Vaisfel'd M. A., Glazov P. M., Krenke A. N.-ml., Morozova O. V., Pokrovskaya I. V., Tsarevskaya N. G., Tertitskii G. M. “Pozelenenie” rossiyskoi Arktiki i sovremennye trendy izmeneniya ee bioty [“Greening” of the Russian Arctic and the Modern Trends of Transformation of Its Biota] // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2016. No. 3. Pp. 28–39. DOI: 10.15356/0373-2444-2016-3-28-39. (In Russian.)
4. Walker D. A., Leibman M. O., Epstein H. E., Forbes B. C., Bhatt U. S., Raynolds M. K., Comiso J. C., Gubarkov A. A., Kho- mutov A. V., Jia G. J., Kaarlejarvi E., Kaplan J. O., Kuss P., Matyshak G., Moskalenko N. G., Orekhov P., Romanovsky V. E., Ukraintseva N. G., Yu Q. Spatial and temporal patterns of greenness on the Yamal Peninsula, Russia: Interactions of ecological and social factors affecting the Arctic normalized difference vegetation index // *Enviromental Research Letters*. 2009. No. 4. Pp. 1–16. DOI: 10.1088/1748-9326/4/4/045004.
5. Berner L. T., Jantz P., Tape K. D., Goetz S. J. Tundra plant above-ground biomass and shrub dominance mapped across the North Slope of Alaska // *Environmental Research Letters*. 2018. No. 13. Pp. 2–14. DOI: 10.1088/1748-9326/aaaa9a.
6. Tishkov A. A., Krenke-m. A. N. “Pozelenenie” Arktiki v XXI v. kak effect sinergizma deistviya global'nogo potepleniya i khozyaistvennogo osvoeniya [“Greening” of the Arctic in the XXI century as a synergy effect of global warming and economic development] // *Arctic: Ecology and Economics*. 2015. No. 4 (20). Pp. 28–37. (In Russian.)
7. Forbs B. K., Kumpula T., Messhtyb N., Laptander R., Masias-Fauria M., Zetterberg P., Verdonen M., Skarin A., Kim K., Boysvert L. N., Strove D. K., Bartshch A. Vliyanie sokrashcheniya ledovitosti Barentseva I Karskogo morey na traditsionnoe olinevodstvo poluoostrova Yamal [Impact of reduced ice cover in the Barents and Kara sea on traditional reindeer nomadism on the Yamal Peninsula] // *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva*. 2018. No. 1. Pp. 3–19. (In Russian.)
8. Mengtian H., Shilong P., Janssens I. A., Zhu Z., Wang T., Wu D., Ciais P., Myneni R. B., Peaucelle M., Peng S., Yang H., Peñuelas J. Velocity of change in vegetation productivity over northern high latitudes // *Nature Ecology & Evolution*. 2017. No. 1. Pp. 1649–1654. DOI: 10.1038/s41559-017-0328-y.

9. Tishkov A. A., Vaisfel'd M. A., Glazov P. M., Morozova O. V., Puzachenko A. Yu., Tertitsky G. M., Titova S. V. Bioticheski znachimye trendy klimata i dinamika bioty rossiyskoy Arktiki [Biotic significant climate trends and biota dynamics of the Russian Arctic] // Arctic: Ecology and Economics. 2019. No. 1 (33). Pp. 71–87. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-1-71-87. (In Russian.)
10. Serditova N. E. Izmenenie klimata v Arktike: lokal'noe i global'noe vozdeystvie na okruzhayushchuyu sredu [Climate change in Arctica: local and global impact on the environment] // Vestnik TvGU. Seriya: Geografiya i geokologiya. 2020. No. 1 (29). Pp. 7–16. DOI: 10.26456/2226-7719-1-2020-7-16. (In Russian.)
11. Yuzhakov A. A. Severnoye olenevodstvo v XXI v.: geneticheskiy resurs, kul'turnoye nasledie i biznes [Reindeer herding in the XXI century: genetic resource, cultural heritage and business] // Arctic: Ecology and Economics. 2017. No. 2 (26). Pp. 131–137.
12. Volkovitskiy A. I., Terekhina A. N. Sovremennyye problemy yamal'skogo olenevodstva: diskussii i perspektivy [The contemporary issues of Yamal reindeer herding: discussions and perspectives] // Etnografia. 2020. No. 2 (8). Pp. 152–169. DOI: 10.31250/2618-8600-2020-2(8)-152-169. (In Russian.)
13. Bogdanov V. D., Golovatin M. G. Anthrax in Yamal: An Ecological View on Traditional Reindeer Husbandry // Russian Journal of Ecology. 2017. Vol. 48. No. 2. Pp. 95–100. DOI: 10.1134/S1067413617020059.
14. Golovatin M. G., Morozova L. M., Paskhalnyy S. P., Ektova S. N. Izmeneniye rastitelnosti i zhivotnogo naseleniya v tundrach Yamala pod deystviyem intensivnogo vypasa domashnikh oleney [Changes in vegetation and animal populations in the tundras of Yamal under the influence of intensive grazing of domestic deer] // Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N. I. Vavilova. 2008. No. 9. Pp. 13–18. (In Russian.)
15. Zuev S. M. Olenevodstvo v Yamalo-nenetskom avtonomnom okruge: perspektivy i problem [Reindeer breeding in the Yamalo-Nenets Autonomous District: perspectives and problems] // Nauchnyy vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga. 2015. No. 3 (88). Pp. 103–107. (In Russian.)
16. Loginov V. G., Ignatyeva M. N., Balashenko V. V. Vred, prichinennyy resursam traditsionnogo prirodogopol'zovaniya, i yego ekonomicheskaya otsenka [Harm to the resources of traditional nature management and its economic evaluation] // Ekonomiy of region. 2017. Vol. 13. No. 2. Pp. 396–409. DOI: 10.17059/2017-2-6. (In Russian.)
17. Morozova L. M., Malygina N. V. Sostoyaniye rastitelnogo pokrova tundrovyykh pastbishch v rayonakh mnogoletnego vypasa domashnikh i dikikh severnykh oleney [A condition of tundra pastures vegetation cover in some territories of many-year pasturing of wild and domesticated reindeer] // In the World of Scientific Discoverie. 2013. No. 7.3 (43). Pp. 49–79. (In Russian.)
18. Magomedova M. A., Morozova L. M., Ektova S. N., Rebristaya O. V., Chernyad'yeva I. V., Potemkin A. D., Knyazev M. S. Poluostrov Yamal: rastitelnyy pokrov [Yamal Peninsula: vegetation cover]. Tyumen, 2006. 360 p. (In Russian.)
19. Gorbunova A. M. Zapas i struktura nadzemnoy fitomassy yuzhnykh subarkticheskikh tundr v rayone nizhnego techeniya r. Erkatayakha [The stock and structure of the aboveground phytomass of the southern subarctic tundra in the area of the lower course of the Erkatayakha river] // Ekologiya: fakty, gipotezy, modeli: materialy konferentsii molodykh uchenykh IERiZh UrO RAN. Ekaterinburg, 2019. Pp. 31–35. (In Russian.)
20. Verma M., Schulte to Bühne H., Lopes M., Ehrich D., Sokovnina S., Hofhuis S. P., Pettorelli N. Can reindeer husbandry management slow down the shrubification of the Arctic? // Journal of Environmental Management. 2020. No. 267. Pp. 1–7. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110636.

Authors' information:

Anastasiya M. Gorbunova¹, junior researcher, ORCID 0000-0001-6673-0629, AuthorID 1087324; +7 902 585-90-25, anastasiya_psu1991@mail.ru

¹ Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Изучение элементов технологии ярового рыжика в лесостепи Центрального Черноземья

В. А. Гулидова¹

¹ Елецкий государственный университет имени И. А. Бунина, Елец, Россия

✉ E-mail: Guli49@yandex.ru

Аннотация. Сорты ярового рыжика, включенные в Государственный реестр селекционных достижений и рекомендованные для Центрально-Черноземного региона, возделываемые в условиях лесостепи Липецкой области, формируют в конкретных условиях производства неодинаковые по величине и качеству урожая маслосемян. **Целью исследования** было выявить наиболее адаптивные высокопродуктивные сорта ярового рыжика, пригодные для возделывания в условиях лесостепи Центрального Черноземья и обеспечивающие высокую продуктивность. **Методы исследований.** При изучении сортов по основным хозяйственным признакам применяли метод конкурсного сортоиспытания в соответствии с требованиями методики государственного испытания и методики полевого опыта Б. А. Доспехова. **Результаты.** Яровой рыжик является скороспелой культурой с вегетационным периодом в разрезе по изучаемым сортам: Омич – 84 дня, Екатерининский – 79 дней, Юбилар – 75 дней. Высота сортов колебалась в пределах от 59,3 до 67,8 см. Сорт Омич отличался низкорослостью, а сорт Юбилар был наиболее высокорослым. Максимальное количество стручков отмечалось у сорта Екатерининский – 49,5 шт. на одном растении. Среди изученных сортов ярового рыжика по комплексу положительных признаков выделился сорт Екатерининский, который отличился более высокой урожайностью (1,52 т/га без удобрений и 1,88 т/га на фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$) и самой высокой маслопродуктивностью (684 кг/га без удобрений и 833 кг/га на фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$). Сорт Омич имел самую высокую масличность семян (48 %), но по сбору масла уступал другим сортам. Сорт Юбилар обеспечивал наибольший выход сырого протеина с 1 га. **Научная новизна.** Впервые на выщелоченном черноземе в условиях типичной лесостепи Центрального Черноземья проведено сравнительное изучение сортов ярового рыжика нового поколения по комплексу хозяйственно-полезных признаков и определены генотипы, наиболее приспособленные для этого региона.

Ключевые слова: яровой рыжик, сорта, Омич, Екатерининский, Юбилар, урожайность, масличность, сырой протеин, маслопродуктивность, вегетационный период.

Для цитирования: Гулидова В. А. Изучение элементов технологии ярового рыжика в лесостепи Центрального Черноземья // Аграрный вестник Урала. 2021. № 02 (205). С. 33–40. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-33-40.

Дата поступления статьи: 09.09.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

В настоящее время в связи с выгодными ценами на масличное сырье происходит стремительный рост производства маслосемян масличных культур. В решении проблемы обеспечения России растительным маслом и белком важная роль отводится культурам из семейства капустных (*Brassicaceae*), которые сегодня занимают одну из ведущих позиций в мировом производстве масличных культур, в первую очередь благодаря таким культурам, как рапс (*Brassica napus* L.) и сурепица (*Brassica campestris* L.) [3, 11, 15, 20]. Эти культуры становятся основными источниками растительных масел в тех регионах, где по природно-климатическим условиям не могут произрастать и вызревать другие масличные культуры (подсолнечник, соя) [3, 15, 16]. До 40–60-х гг. прошлого века одной из наиболее распространенных и востребованных масличных культур в России был рыжик. Незаметно и постепенно его вытеснили более урожайные культуры – рапс и подсолнечник. Но в последние годы в России рыжик посевной (*Camelina sativa* L.) начал активно возрождаться.

Эта культура, так же как и рапс, относится к семейству капустных. Возвращение рыжика посевного связано с его широким практическим применением и вызвано несколькими объективными причинами, продиктованные современным временем. Во-первых, в настоящее время часть российских перерабатывающих предприятий вновь начала заниматься переработкой семян рыжика в качестве альтернативы традиционным масличным – подсолнечнику и рапсу. Во-вторых, рыжиковое масло обладает многими ценными свойствами. Оно имеет высокий коэффициент усвояемости для человека. Его состав характеризуется высоким содержанием каротиноидов (0,5–2,0 мг %), витамина Е (40–120 мг %) и фосфолипидов (0,8 %). В рыжиковом масле высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот: линоленовой (омега-3) и линолевой (омега-6). К примеру, омега-3 составляет более 35 % от общей массы, что в 4 раза выше, чем в рапсе, и 2,7 раза – чем в сурепице [5]. Эти незаменимые вещества в организме человека не синтезируются, поэтому они должны поступать только с пищей. Растительные масла, содержащие

большое количество ненасыщенных кислот (С 18:1 олеиновая, С 18:2 линолевая, С 18:3 линоленовая), биологически более ценны, чем жиры животного происхождения, в которых высокое содержание насыщенных кислот (С 16:0 пальмитиновая, С 18:0 стеариновая). Оригинальный жирно-кислотный состав масла позволяет использовать рыжик не только для пищевых целей, но и для производства на его основе биотоплива второго поколения [2, 6, 9], которое имеет превосходные физико-химические характеристики и эксплуатационные параметры [18]. В-третьих, рыжик – это еще и ценная кормовая культура. Рыжиковый жмых – важнейший источник биологически активных и высокопротеиновых веществ. В 100 кг жмыха содержится 115 кормовых единиц и 17 кг переваримого протеина, богатого незаменимыми аминокислотами [1, 14, 19].

Но не только этим ценен рыжик – еще это очень скороспелая, засухоустойчивая культура с вегетационным периодом от 70 до 90 дней [8, 13], отличающаяся высокой адаптивностью к различным почвенно-климатическим условиям [12]. Рыжик созревает раньше озимых и яровых зерновых культур, что разгружает напряженность в проведении уборочных работ [6, 7], и после его уборки удается качественно и своевременно подготовить почву под посев озимых культур, которые являются ведущими зерновыми культурами в лесостепи ЦЧР. Кроме того, рыжик в сравнении с рапсом и сурепицей в меньшей степени поражается вредителями, что позволяет удешевить затраты на инсектициды.

Благодаря своей неприхотливости и скороспелости, высокой и стабильной урожайности, а также многогранным возможностями использования сегодня рыжик стал объектом пристального внимания аграриев – как ученых, так и практиков.

Методология и методы и исследования (Methods)

Экспериментальные исследования проводились с 2014 по 2016 гг. в Елецком государственном университете им. И. А. Бунина. В опыте изучались три сорта ярового рыжика: Омич, Екатерининский и Юбилар. Норма высева каждого сорта составляла 6,0 млн всхожих семян с 1 га. Посев проводился высококачественными семенами, отвечающими требованиям посевного стандарта ГОСТ 52325-2005, при физической спелости почвы, при ее прогревании до 6–7 °С. На яровом рыжике в течение вегетации фонов была дважды проведена защита посевов от сорняков. Первая обработка – против малолетних и многолетних злаковых сорняков гербицидом «Фуроре ультра» в норме расхода 0,5–0,75 л/га. Вторая обработка – против двудольных сорняков гербицидом «Базагран» (1,5–2,5 л/га). Обработку гербицидами проводили с использованием ручного ранцевого опрыскивателя Operator manual HD-500/550. Расход рабочей жидкости 200 л/га. Разные сорта рыжика изучали на фоне без удобрений и при внесении удобрений $N_{90}P_{60}K_{60}$. Удобрения вносили осенью под основную обработку почвы. Уборку урожая осуществляли снопами с 1 м² каждой делянки при влажности семян 12–13 %. Обмолот снопов проводили на селекционной сноповой молотилке. Урожай взвешивали после обмолота снопов с последующей их очисткой и сушкой до 8 %.

Почва учебно-опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса – 5,5 %. По данным анализов, проведенных в научно-исследовательской лаборатории университета, обеспеченность почвы подвижными формами фосфора (P_2O_5 по Чирикову) составляла 11,2–13,2 мг и обменного калия (K_2O по Чирикову) – 6,0–8,0 мг на 100 г почвы, $pH_{(KCl)} = 5,3$. Почвы опытного поля широко распространены в Центральном Черноземье и занимают более трети площади пашни региона [10]. Масличность семян определяли на ЯМР-анализаторе (АМВ-1006). Опыт проводили в соответствии с методикой опытного дела Б. А. Доспехова [4].

По данным Липецкой АГМС, в течение исследований с 2014 по 2016 гг. метеорологические условия сложились по-разному, что позволило сортам проявить свои особенности. Выпадение осадков в течение вегетации культуры было неравномерным. Из всех лет исследований 2014 г. был самым засушливым и теплым, 2015 и 2016 гг. были влажными. В апреле 2014 г., когда проводили посев культуры, выпало осадков только 51,3 % месячной нормы. Гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,89 при среднемноголетнем показателе 2,36. В 2015 и 2016 гг. этот период был очень влажным, показания ГТК были 2,71 и 3,63 соответственно. Период нарастания вегетативной массы и формирования репродуктивных органов характеризовался обильным выпадением осадков как в 2015 г., так и в 2016 г. Температурный режим в начальный период вегетации превышал среднемноголетние значения на 2,0 °С в 2014 г., в 2015 г. – на 0,9 °С и в 2016 г. – на 3,6 °С. В остальные месяцы вегетации соответствовал среднемноголетним значениям. В целом климатические условия типичной лесостепи ЦЧР благоприятны для возделывания рыжика ярового.

Результаты исследования (Results)

Сорт или гибрид был и остается самым дешевым и наиболее доступным средством повышения урожайности и улучшения качества продукции. Но все сорта и гибриды масличных культур имеют по отдельным признакам свои отрицательные и положительные показатели, которые в разных условиях и в разные годы проявляются неодинаково [3]. Правильный выбор сорта дает практически четвертую часть прироста продукции. Это малозатратный и очень эффективный агроприем. Но селекционерами не выведен еще такой универсальный сорт или гибрид, который подходил бы ко всем условиям произрастания. Селекционеры ведут постоянную работу над созданием и закреплением новых более совершенных признаков у масличных мелкосемянных культур. Работы проводятся в направлении увеличения урожайности, улучшения и оптимизации качественно-количественных характеристик полезных жирных кислот и белков, а также адаптации к неблагоприятным факторам произрастания. Чтобы получить максимальную отдачу от сорта, очень важно правильно подбирать гибриды и сорта для конкретных почвенно-климатических условий местности.

В наших исследованиях для типичной лесостепи Центрального Черноземья были изучены сорта ярового масличного рыжика – Омич, Екатерининский и Юбилар. Их коммерческая ценность показана в таблице 1. Все сорта

характеризуется высокой адаптацией к биотическим и абиотическим факторам среды. Они устойчивы к полеганию, отличаются высокой масличностью, пригодны к механизированной уборке и районированы по Центрально-Черноземному региону. Оригинатором сорта Екатеринбургский является Екатеринбургская опытная станция ВНИИР, сорта Омич – Сибирская опытная станция ВНИИМК, сорта Юбилар – Пензенский НИИСХ.

С вегетационным периодом любой сельскохозяйственной культуры связано множество свойств растений. Это уход от заморозков, засухи, болезней, повреждения вредителями и, как следствие, улучшение качества выращиваемой продукции. Продолжительность вегетационного периода сортов ярового рыжика в условиях типичной ле-

степи ЦЧР варьировала от 75 до 84 суток и имела зависимость как от особенностей сорта, так и от погодных условий. Наиболее скороспелым оказался сорт Юбилар (75 дней), более длинный вегетационный период имел сорт Омич (84 дня). Сорт Екатеринбургский занимал промежуточное положение между ними. При одинаковой обеспеченности почвенной влагой сорт Юбилар на один день позже имел всходы, два других сорта появились на поверхности почвы почти одновременно. Прохождение фенологических фаз у сорта Юбилар было ускоренным относительно сортов Омич и Екатеринбургский: на 3–4 дня раньше наступила фаза бутонизации, цветение – на 5–6 дней, созревание – на 6–8 дней. Впоследствии это сказалось на продуктивности сорта.

Таблица 1
Коммерческая ценность сортов ярового рыжика

Показатель	Сорт		
	Омич	Екатерининский	Юбилар
Вегетационный период, дней	65–80 (скороспелый сорт)	65 дней	73–75 (раннеспелый сорт)
Масличность, %	42,0–44,0	31,5	38,9–40,1
Содержание сырого протеина в семенах, %	В среднем 14,1	В среднем 16,7	27,8–31,8
Урожайность, т/га	В разрезе по годам имеет диапазон колебаний от 1,8 до 2,6 т/га	Средняя урожайность семян 1,8 т/га	Отличается стабильным урожаем семян: 1,8–2,4 т/га, в среднем – 2,0 т/га.
Содержание эруковой кислоты в масле, %	2,48	1,2	3,3
Конкурентоспособность	Включен в Госреестр с 2007 г. по Российской Федерации для зон возделывания культуры	Включен в Госреестр с 2011 г. по Российской Федерации для зон возделывания культуры	
Основные достоинства сорта	При высоте растений выше 90 см устойчив к полеганию даже во влажные годы. Среднеустойчив к засухе, устойчив к повреждению вредителями. Сорт отличается дружным созреванием	Устойчив к полеганию и осыпанию. Болезнями практически не поражается	Обладает устойчивостью к засухе и полеганию. Слабо поражается крестоцветными блошками

Table 1
The commercial value of the varieties of spring camelina

Indicator	Variety		
	Omich	Ekaterininskiy	Yubilyar
The vegetation period, days	65–80 (precocious variety)	The growing season is 65 days	73–75 (early-maturing variety)
Oil content, %	42.0–44.0	31.5	38.9–40.1
Crude protein content in seeds, %	Average of 14.1	Average of 16.7	The range of fluctuations of crude protein in the range of 27.8–31.8
Yield, t/ha	In the context of the years, it has a range of fluctuations from 1.8 to 2.6 t/ha	Average seed yield of 1.8 t/ha	It is characterized by a stable seed yield: 1.8–2.4 t/ha, on average -2.0 t/ha
The content of erucic acid in the oil, %	2.48	1.2	3.3
Competitiveness	It is included in the State Register since 2007 for the Russian Federation for zones of cultivation of culture	It is included in the State Register since 2011 for the Russian Federation for zones of cultivation of culture	
The main advantages of the variety	With a plant height above 90 cm, it is resistant to lodging even in wet years. Medium-resistant to drought, resistant to damage by pests. The variety is characterized by a friendly maturation	Resistant to lodging and shedding. It is practically not affected by diseases	It is resistant to drought and lodging. Weakly affected by cruciferous fleas

Таблица 2

Урожайность и масса 1000 семян изучаемых сортов рыжика (2014–2016 гг.)

Сорт	Урожайность, т/га	Масса 1000 семян, г
На фоне без удобрений		
Омич	1,33	0,97
Екатерининский	1,52	1,02
Юбилар	1,44	1,62
На фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$		
Омич	1,55	1,05
Екатерининский	1,88	1,09
Юбилар	1,51	1,68
HCP_{05}	0,135	

Table 2

Yield and weight of 1000 seeds of the studied varieties of ginger (2014–2016)

Variety	Yield, t/ha	Weight of 1000 seeds, g
On a background without fertilizers		
<i>Omich</i>	1.33	0.97
<i>Ekaterininskiy</i>	1.52	1.02
<i>Yubilyar</i>	1.44	1.62
Against the background of $N_{90}P_{60}K_{90}$		
<i>Omich</i>	1.55	1.05
<i>Ekaterininskiy</i>	1.88	1.09
<i>Yubilyar</i>	1.51	1.68
LSD_{05}	0.135	

В начале вегетации нарастание биомассы более интенсивно проходило у сорта Екатеринбургский – 1,17 г на одно растение. Другие сорта уступали по этому показателю: Омич – на 0,15 г/растение, Юбилар – практически в 2 раза. В конце вегетационного периода нарастание надземной массы на одно растение варьировало в пределах на фоне без применения удобрений от 3,5 до 3,2 г. И наибольшее нарастание вегетативной массы отмечено у сорта Юбилар. Медленный старт в начале вегетации и ускоренное нарастание во второй половине вегетации у сорта Юбилар связаны с его сортовыми особенностями. Аналогичная тенденция сохранялась и на фоне минерального удобрения $N_{90}P_{60}K_{90}$.

Высота изучаемых сортов колебалась в пределах от 59,3 до 67,8 см. Сорт Омич от других сортов отличался низкорослостью. Его высота составила 59,3 см, что на 2,2 см ниже сорта Екатеринбургский и на 8,5 см ниже сорта Юбилар. Наиболее высокорослым был сорт Юбилар – 67,8 см, но в то же время он отличался слабым ветвлением боковых побегов. В сравнении с другими сортами у него на одном растении было меньше боковых побегов на 0,5 шт., меньше стручков на 2,8–11,8 шт. Наибольшее количество стручков отмечалось у сорта Екатеринбургский – 49,5 шт. на одном растении. Впоследствии это положительно сказалось на его продуктивности.

Продуктивность посевов ярового рыжика, как и любой другой сельскохозяйственной культуры, в значительной степени определяется сортами, которые могут максимально использовать природные и антропогенные факторы. Анализ урожайных данных свидетельствует о том, что в условиях лесостепи ЦЧР более продуктивным был сорт Екатеринбургский – 1,52 т/га без удобрений и 1,88 т/га на фоне удобрений $N_{90}P_{60}K_{90}$ (таблица 2).

Более высокая семенная продуктивность у этого сорта связана с тем, что растения имели большее количество стручков на одном растении. На фоне без применения удобрений сорт Юбилар сформировал урожайность 1,44 т/га. Это на 0,11 т/га выше, чем у сорта Омич, или на 8,27 %. Но на удобренном фоне Юбилар уступал по урожайности сорту Омич на 0,04 т/га. Это связано с тем, что сорт Юбилар практически не имел боковых побегов, но у него были более крупные семена. Масса 1000 семян в зависимости от фона удобренности колебалась от 1,62 до 1,68 г, в то время как у сорта Омич семена мелкие, масса 1000 семян имела диапазон колебаний в пределах от 0,97 на фоне без удобрений до 1,05 г на фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$. Сорт Екатеринбургский по этому показателю занимал промежуточное положение между сортами Юбилар и Омич.

Оценка изучаемых сортов ярового рыжика по содержанию жира и сырого протеина показала высокое варьирование этих признаков. Масличность и белковость семян у сортов рыжика варьировали в пределах 42,5–48,0 % и 14,1–27,8 % на фоне без удобрений и 41,4–47,1 % и 15,4–29,5 % при внесении $N_{90}P_{60}K_{90}$. Эти показатели имели зависимость не только от удобрений, но и от сорта. В изучаемых сортах содержание жира было высоким (таблица 3). Это связано с двумя причинами:

- 1) в период накопления в семенах жира растения были хорошо обеспечены влагой;
- 2) высокая масличность современных сортов, обусловленная на генетическом уровне.

Максимальное содержание жира в семенах было у сорта Омич как на фоне без удобрений, так и при внесении удобрений $N_{90}P_{60}K_{90}$: 48,0 и 47,1 % соответственно. Превышение над сортом Екатеринбургский составило 3 % без удобрений и 2,8 % на фоне удобрений, над сортом Юбилар – 5,5 и 5,7 % соответственно. Меньше всего жира было в семенах у сорта Юбилар.

Таблица 3
Качество продукции изучаемых сортов рыжика (2014–2016 гг.)

Сорт	Содержание жира		Содержание сырого протеина	
	%	кг/га	%	кг/га
На фоне без удобрений				
Омич	48,0	638	14,1	188
Екатерининский	45,0	684	16,7	254
Юбилар	42,5	612	27,8	400
На фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$				
Омич	47,1	730	15,4	239
Екатерининский	44,3	833	17,7	333
Юбилар	41,4	625	29,5	445

Table 3
Product quality of the studied varieties of ginger (2014–2016)

Variety	Fat content		The content of crude protein	
	%	kg/ha	%	kg/ha
On a background without fertilizers				
<i>Omich</i>	48.0	638	14.1	188
<i>Ekaterininskiy</i>	45.0	684	16.7	254
<i>Yubilyar</i>	42.5	612	27.8	400
Against the background of $N_{90}P_{60}K_{90}$				
<i>Omich</i>	47.1	730	15.4	239
<i>Ekaterininskiy</i>	44.3	833	17.7	333
<i>Yubilyar</i>	41.4	625	29.5	445

Во все годы исследований при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{60}K_{90}$ отмечалась тенденция к снижению масличности у всех сортов. Снижение масличности составляла по усредненным данным 0,9 % у сорта Омич, 0,7 % – Екатеринбургский, 1,1 % – Юбилар. Но при этом одновременно в семенах повышалось содержание сырого протеина (на 1,3–1,7 %). По всей видимости, это связано с тем, что удобрения, в состав которых входит азот, увеличивают содержание белка и уменьшают накопление масла. Для увеличения содержания масла в семенах необходимо вносить полное минеральное удобрение. А также между содержанием жира и белка в семенах семейства *Brassicaceae* имеется обратная корреляция.

Интегральные показатели биологической продуктивности ярового рыжика – это сбор растительного масла и кормового белка с единицы площади. В среднем за годы исследований изучаемые сорта ярового рыжика по валовым сборам растительного масла и кормового белка имели существенные вариации. Наибольший сбор кормового белка и масла все сорта обеспечивали на удобренном фоне. При внесении $N_{90}P_{60}K_{90}$ сбор растительного масла увеличился на 84 кг/га, что в сравнении с фоном без удобрений составило 13 %. Сбор сырого протеина на удобренном фоне составил 339 кг/га, в сравнении с фоном без удобрений преимущество было 58 кг/га, или 20,6 %. В разрезе по изучаемым сортам преимущество по валовому сбору масла имел сорт Екатеринбургский как на удобренном фоне (833 кг/га), так и без удобрений (684 кг/га). Наименьший выход масла отмечен у сорта Юбилар, причем практически одинаковыми были показатели как на фоне без удобрений (612 кг/га), так и при внесении $N_{90}P_{60}K_{90}$ (625 кг/га), но этот сорт обеспечивал максимальный выход сырого протеина.

В сравнении с сортом Екатеринбургский с 1 га больше получено сырого протеина на 146 кг на фоне без удобрений, превышение составило 57,5 %; на 112 кг на фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$, или на 33,6 %. Поэтому этот сорт является перспективным для возделывания в качестве белковой кормовой культуры в лесостепи Центрально-Черноземного региона, который взял курс на возрождение животноводства.

Сбор кормового белка при выращивании ярового рыжика сорта Омич составил 188 кг/га на фоне без внесения удобрений и 239 кг на фоне полного комплексного удобрения $N_{90}P_{60}K_{90}$. Это самый низкий показатель среди изучаемых сортов. По сбору растительного рыжикового масла этот сорт был не худшим, он занимал промежуточное положение между сортами Екатеринбургский и Юбилар. На фоне без удобрений валовой сбор растительного масла составил 638 кг/га, что на 46 кг меньше, чем у сорта Екатеринбургский, но на 26 кг больше, чем у сорта Юбилар. На фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$ тенденция сохранилась, но показатели проявились более отчетливо: разница в сравнении с сортом Екатеринбургский была уже 103 кг/га, а в сравнении с сортом Юбилар – 105 кг/га.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Почвенно-климатические условия типичной лесостепи Центрального Черноземья подходят для выращивания такой перспективной масличной культуры как яровой рыжик. Яровой рыжик является скороспелой культурой с вегетационным периодом: Омич – 84 дня, Екатеринбургский – 79 дней, Юбилар – 75 дней.

Сорт Омич отличался низкорослостью (59,3 см). Наименее высокорослым был сорт Юбилар (67,8 см). Сорт Екатеринбургский занимал промежуточное положение между ними. У сорта Юбилар было слабое ветвление боковых

побегов, меньше всех стручков (37,7 шт.), но были самые крупные семена (1,68 г). Наибольшее количество стручков отмечалось у сорта Екатерининский – 49,5 шт. на одном растении.

Среди изучаемых сортов ярового рыжика лучшим по продуктивности оказался сорт Екатерининский, который отличился высокой урожайностью (1,52 т/га без удобрений и 1,88 т/га на фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$) и высокой маслопродуктивностью (684 кг/га без удобрений и 833 кг/га на

фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$). Наименьшая маслопродуктивность (612–625 кг/га) была у сорта Юбилар. Сорт Омич имел самое высокое содержание жира в семенах (48 %), но по маслопродуктивности с 1 га он занимал среднее положение между сортами.

Сорт Юбилар является перспективным для возделывания в качестве кормовой культуры в лесостепи ЦЧР. Этот сорт обеспечивал наибольший выход сырого протеина с 1 га.

Библиографический список

1. Буянкин В. И., Прахова Т. Я. Рыжик масличный (*Camelina sp. L.*): монография. Волгоград, 2016. 115 с.
2. Горлов С. Л., Трубина В. С. Результаты селекционной работы по горчице и рыжику во ВНИИМК // Повышение эффективности селекции, семеноводства и технологии возделывания рапса и других масличных капустных культур: сборник научных докладов на международном координационном совещании по рапсу 7–9 июля 2015 г. Елец, 2016. С. 29–36.
3. Гулидова В. А. Рапс – высокомаржинальная культура России. Елец, 2019. 310 с.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. Стереотип. изд., перепеч. с 5-го изд., доп. и перераб. 1985 г. Москва: Альянс, 2014. 351 с.
5. Кшникаткина А. Н., Прахова Т. Я., Крылов А. П., Галиуллин А. А. Оценка качества маслосемян капустных культур в условиях Средневолжского региона // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 4. С. 41–43.
6. Кшникаткина А. Н., Прахова Т. Я., Крылов А. П. Агроэкологическое изучение масличных культур семейства Brassicaceae в условиях Среднего Поволжья // Нива Поволжья. 2018. № 1 (46). С. 54–59.
7. Кузнецова Г. Н., Полякова Р. С. Технология возделывания рыжика ярового в южной лесостепи Западной Сибири // Повышение эффективности селекции, семеноводства и технологии возделывания рапса и других масличных капустных культур: сборник научных докладов на международном координационном совещании по рапсу 7–9 июля 2015 г. Елец, 2016. С. 53–57.
8. Прахова Т. Я., Смирнов А. А., Прахов В. А., Турина Е. Л., Кулинич Р. А. Продуктивность рыжика озимого в зависимости от сроков сева в разных климатических регионах // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017. Вып. 66: С. 203–207. DOI: 10.21515/1999-1703-66-203-207.
9. Прахова Т. Я., Прахов В. А., Турина Е. Л. Агроэкологические аспекты формирования агроценозов нетрадиционных масличных культур // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 2 (2). С. 357–362.
10. Почвы Липецкой области / Ю. И. Сискевич, В. А. Никоноренков, О. В. Долгих, А. Б. Ахтырцев, В. Д. Сушков Липецк, 2018. 209 с.
11. Савенков В. П., Карпачев В. В. Научно-практические основы управления агротехнологиями производства ярового рапса: монография. Липецк, 2017. 461 с.
12. Турина Е. Л., Прахова Т. Я., Турин Е. Н., Зубоченко А. А., Прахов В. А. Оценка сортообразцов рыжика озимого (*Camelina sylvestris* Waller ssp. *pilosa* Zing.) по экологической адаптивности // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 3. С. 564–572. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.564rus.
13. Campbell M. *Camelina* – an alternative oil crop // In: Biokerosene M. Kaltschmitt, U. Neuling (eds.). Springer, Berlin, Heidelberg, 2018. Pp. 259–275. DOI: 10.1007/978-3-662-53065-8_12.
14. Chengci Ch., Bekkerman A., Afshar R. K., et. al. Intensification of dryland cropping systems for bio-feedstock production: Evaluation of agronomic and economic benefits of *Camelina sativa* // Industrial Crops and Products. 2015. Vol. 71. Pp. 114–121.
15. Gulidova V. A., Zubkova T. V., Kravchenko V. A., Dubrovina O. A. The dependence of photosynthetic indices of spring rape on foliar fertilization with microfertilizers // Online Journal of Biological Sciences. 2017. Vol. 17. No. 4. Pp. 404–407.
16. Gulidova V. A., Kravchenko V. A., Zakharov V. L. Optimization of the soil agrophysical properties for spring Rape on leached Black soil // Amazonia Investiga. 2020. T. 9. No. 29. Pp. 63–68.
17. Mostofa U. H., Nazrul I., Monjurul K., Noor H. M. Performance of rapeseed and mustard (*Brassica sp.*) varieties/lines in north-east region (Sylhet) of Bangladesh // Agricultural Research & Technology. 2016. Vol. 1 (5). Pp. 1–6. DOI: 10.19080/ARTOAJ.2016.02.555576.
18. Sharma N. Assessment of biofuel potential in India // International Journal of Recent Scientific Research. 2017. No. 8. Pp. 17125–17127. DOI: 10.24327/ijrsr. 2017. 0805. 0287.
19. Tomasi P., Wang H., Lohrey G. T., et. al. Characterization of leaf cuticular waxes and cutin monomers of *Camelina sativa* and closely-related *Camelina* species // Industrial Crops and Products. 2017. Vol. 98. Pp. 130–138.
20. Zubkova T. V., Gulidova V. A. Methods to Increase Spring Rape Yield and Rape product quality in the conditions of Central Black Earth Region Woodland Grass // Indian Journal of Science and Technology. 2015. Vol. 8. No. 34. Article number. IPL0867.

Об авторах:

Валентина Андреевна Гулидова¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный работник сельского хозяйства РФ, профессор кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, ORCID 0000-0001-7585-0956, AuthorID 305651; +7 920 244-47-15, Guli49@yandex.ru

¹ Елецкий государственный университет имени И. А. Бунина, Елец, Россия

Study of elements of spring camelina technology in the forest-steppe of the Central Chernozem region

V. A. Gulidova¹✉

¹ Yelets State University named after I. A. Bunin, Yelets, Russia

✉ E-mail: Guli49@yandex.ru

Abstract. Varieties of spring ginger included in the State Register of breeding achievements and recommended for the Central Chernozem region, cultivated in the conditions of the forest-steppe of the Lipetsk region, form different yields of oilseeds in specific production conditions. **The purpose of the research** was to identify the most adaptive high-yielding varieties of spring ginger, suitable for cultivation in the forest-steppe conditions of the Central Chernozem region and providing high productivity. **Research methods.** When studying varieties according to the main economic characteristics, the method of competitive variety testing was used in accordance with the requirements of the state testing methodology and the field experience methodology of B. A. Dospekhov. **Results.** Spring ginger is a precocious crop with a growing season in the context of the studied varieties: Omich – 84 days, Ekaterininskiy – 79 days and Yubilyar – 75 days. The height of the varieties ranged from 59.3 to 67.8 cm. The Omich variety was short, and the Jubilee variety was the tallest. The maximum number of pods was observed in the Ekaterininskiy variety – 49.5 pieces per plant. Among the studied varieties of spring ginger, according to the complex of positive signs, the Ekaterininskiy variety stood out, which has a higher yield (1.52 t/ha without fertilizers and 1.88 t/ha against the background of N₉₀P₆₀K₉₀), and the highest oil productivity (684 kg/ha without fertilizer and 833 kg/ha against the background of N₉₀P₆₀K₉₀). The Omich variety had a high oil content of seeds (48%), but it was inferior to other varieties in terms of oil collection. The Yubilyar variety provided the highest yield of crude protein from 1 ha. **Scientific novelty.** For the first time on leached chernozem in the conditions of a typical forest-steppe of the Central Chernozem region, a comparative study of new-generation spring ginger varieties by a complex of economically useful characteristics was carried out and the genotypes most adapted for this region were determined.

Keywords: spring ginger, varieties, Omich, Ekaterininskiy, Yubilyar, yield, oil content, crude protein, oil productivity, vegetation period.

For citation: Gulidova V. A. Izuchenie elementov tekhnologii yarovogo ryzhika v lesostepi Tsentral'nogo Chernozem'ya [Study of elements of spring camelina technology in the forest-steppe of the Central Chernozem region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 02 (205). Pp. 33–40. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-33-40. (In Russian.)

Paper submitted: 09.09.2020.

References

1. Buyankin V. I., Prakhova T. Ya. Ryzhik maslichnyy (Camelina sp.L.) [Oilseed ginger (Camelina sp. L.)]. Volgograd, 2016. 115 p. (In Russian.)
2. Gorlov S. L., Trubina V. S. Rezul'taty selektsionnoy raboty po gorchitse i ryzhiku vo VNIIMK [Results of breeding work on mustard and ginger in VNIIMK] // Collection of scientific papers. on the international. coord. meeting on rapeseed July 7-9, 2015: improving the efficiency of breeding, seed production and technology of cultivation of rapeseed and other oilseed cabbage crops . Yelets, 2016. Pp. 29–36. (In Russian.)
3. Gulidova V. A. Raps – vysokomazhinal'naya kul'tura Rossii [Rapeseed-high-margin culture of Russia]. Yelets, 2019. 310 p. (In Russian.)
4. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]: textbook for higher agricultural educational institutions. Stereotype ed., reprint. from the 5th ed., additional and reprint. 1985, Moscow: Alyans, 2014. 351 p. (In Russian.)
5. Kshniatkina A. N., Prakhova T. Ya., Krylov A. P., Galiullin A. A. Otsenka kachestva maslosemyan kapustnykh kul'tur v usloviyakh Srednevolzhskogo regiona [Quality assessment of cabbage seed oil in the conditions of the Middle Volga region] // Achievements of science and technology of the agroindustrial Complex . 2018. Vol. 32. No. 4. Pp. 41–43. (In Russian.)
6. Kshniatkina A. N., Prakhova T. Ya., Krylov A. P. Agroekologicheskoye izucheniye maslichnykh kul'tur semeystva Bras-sicaceae v usloviyakh Srednego Povolzh'ya [Agroecological study of oilseeds of the Brassicaceae family in the conditions of the Middle Volga region] // Niva of the Volga region. 2018. No. 1 (46). Pp. 54–59. (In Russian.)

7. Kuznetsova G. N., Polyakova R. S. Tekhnologiya vozdel'yvaniya ryzhika yarovogo v yuzhnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri [Technology of cultivation of spring ginger in the southern forest-steppe of Western Siberia] // Collection of scientific papers. on the international. coord. meeting on rapeseed July 7-9, 2015: improving the efficiency of breeding, seed production and technology of cultivation of rapeseed and other oilseed cabbage crops . Yelets, 2016. Pp. 53–57. (In Russian.)
8. Prakhova T. Ya., Smirnov A. A., Prakhov V. A., Turina E. L., Kulinich R. A. Produktivnost' ryzhika ozimogo v zavisimosti ot srokov seva v raznykh klimaticheskikh regionakh [Productivity of winter ginger depending on the time of sowing in different climatic regions] // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2017. No. 66. Pp. 203–207. DOI: 10.21515/1999-1703-66-203-207. (In Russian.)
9. Prakhova T. Ya., Prakhov V. A., Turina E. L. Agroekologicheskiye aspekty formirovaniya agrotsenozov netraditsionnykh maslichnykh kul'tur [Agroecological aspects of the formation of agrocenoses of non-traditional oilseeds] // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018. Vol. 20. No. 2 (2). Pp. 357–362. (In Russian.)
10. Siskevich Yu. I., Nikonorenkov V. A., Dolgikh O. V., Akhtyrtev A. B., Sushkov V. D. Pochvy Lipetskoy oblasti [Soils of the Lipetsk region]. Lipetsk, 2018. 209 p. (In Russian.)
11. Savenkov V. P., Karpachev V. V. Nauchno-prakticheskiye osnovy upravleniya agrotekhnologiyami proizvodstva yarovogo rapsa [Scientific and practical bases of management of agrotechnologies of production of spring rapeseed]. Lipetsk, 2017. 461 p. (In Russian.)
12. Turina E. L., Prakhova T. Ya., Turin E. N., Zubochenko A. A., Prakhov V. A. Otsenka sortoobraztsov ryzhika ozimogo (*Camelina sylvestris* Waller ssp. *pilosa* Zing.) po ekologicheskoy adaptivnosti [Evaluation of winter ginger cultivars (*Camelina sylvestris* Waller ssp. *pilosa* Zing.) on environmental adaptability] // Agricultural biology. 2020. Vol. 55. No. 3. Pp. 564–572. DOI: 10.15389/agrobiology. 2020. 3. 564 rus. (In Russian.)
13. Campbell M. Camelina – an alternative oil crop // In: Biokerosene M. Kaltschmitt, U. Neuling (eds.). Springer, Berlin, Heidelberg, 2018. Pp. 259–275. DOI: 10.1007/978-3-662-53065-8_12.
14. Chengci Ch., Bekkerman A., Afshar R. K., et. al. Intensification of dryland cropping systems for bio-feedstock production: Evaluation of agronomic and economic benefits of *Camelina sativa* // Industrial Crops and Products. 2015. Vol. 71. Pp. 114–121.
15. Gulidova V. A., Zubkova T. V., Kravchenko V. A., Dubrovina O. A. The dependence of photosynthetic indices of spring rape on foliar fertilization with microfertilizers // Online Journal of Biological Sciences. 2017. Vol. 17. No. 4. Pp. 404–407.
16. Gulidova V. A., Kravchenko V. A., Zakharov V. L Optimization of the soil agrophysical properties for spring Rape on leached Black soil// Amazonia Investiga. 2020. T. 9. No. 29. Pp. 63–68.
17. Mostofa U. H., Nazrul I., Monjurul K., Noor H. M. Performance of rapeseed and mustard (*Brassica* sp.) varieties/lines in north-east region (Sylhet) of Bangladesh // Agricultural Research & Technology. 2016. Vol. 1 (5). Pp. 1–6. DOI: 10.19080/ARTOAJ.2016.02.555576.
18. Sharma N. Assessment of biofuel potential in India // International Journal of Recent Scientific Research. 2017. No. 8. Pp. 17125–17127. DOI: 10.24327/ijrsr. 2017. 0805. 0287.
19. Tomasi P., Wang H., Lohrey G. T., et. al. Characterization of leaf cuticular waxes and cutin monomers of *Camelina sativa* and closely-related *Camelina* species // Industrial Crops and Products. 2017. Vol. 98. Pp. 130–138.
20. Zubkova T. V., Gulidova V. A. Methods to Increase Spring Rape Yield and Rape product quality in the conditions of Central Black Earth Region Woodland Grass // Indian Journal of Science and Technology. 2015. Vol. 8. No. 34. Article number. IPL0867.

Authors' information:

Valentina A. Gulidova¹, doctor of agricultural sciences, professor, honored worker of agriculture of the Russian Federation, professor of the department of storage and processing technology of agricultural products, ORCID 0000-0001-7585-0956, AuthorID 305651; +7 920 244-47-15, Guli49@yandex.ru

¹ Yelets State University named after I. A. Bunin, Yelets, Russia

Флуоресценция хлорофилла кукурузы и механизм повышения ее урожайности при внесении минеральных удобрений

Ю. А. Овсянников¹✉

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: ovs122333@yandex.ru

Аннотация. В ранее проведенных опытах было установлено, что улучшение минерального питания растений способствует повышению чистой продуктивности фотосинтеза. Однако использованные методики для определения этого показателя базируются не на прямом определении значений фотосинтетических показателей, а на расчетах, основанных на учете площади листьев растений и образовании сухого вещества. **Цель** работы состояла в прямом определении влияния удобрений на флуоресценцию хлорофилла и фотосинтетическую активность растений. **Методология исследований.** Для непосредственной оценки влияния минеральных удобрений на эффективность функционирования фотосинтетического аппарата использовался флуориметр РАМ-250. Наблюдения проводились на листьях кукурузы. Измерение флуоресценции осуществлялось в шестикратной повторности. **Результаты.** Установлено, что внесение минеральных удобрений незначительно изменяло интенсивность фотосинтеза по показателю F_v/F_m . Так, среднее значение F_v/F_m возросло с 0,763 по фону без удобрений до 0,775 отн. ед. по удобренному фону. Дисперсионный анализ показал, что эти изменения носят несущественный характер. Но в то же время при внесении минеральных удобрений урожайность зеленой массы кукурузы возрастала с 20,5 т/га до 24,0 т/га, т. е. на 17 %, а сбор сухого вещества с 5,5 т/га до 6,7 т/га или на 22 %. Одновременно наблюдалось соответствующее увеличение на 25 % размеров корневой системы растений кукурузы. Таким образом, было установлено, что внесение минеральных удобрений повышая урожайность растений кукурузы не обязательно сопровождается увеличением активности их фотосинтетического аппарата. В этом состоит новизна исследований. Дано объяснение механизма повышения продуктивности растений кукурузы при внесении минеральных удобрений.

Ключевые слова: кукуруза, фотосинтез, чистая продуктивность фотосинтеза, флуоресценция, минеральные удобрения, корневая система, корневые выделения, урожайность, ризосфера, микроорганизмы.

Для цитирования: Овсянников Ю. А. Флуоресценция хлорофилла кукурузы и механизм повышения ее урожайности при внесении минеральных удобрений // Аграрный вестник Урала. 2021. № 02 (205). С. 41–47. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-41-47.

Дата поступления статьи: 08.10.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

Решение проблемы повышения продуктивности сельскохозяйственных культур базируется на проведении исследований по различным направлениям. Изучаются вопросы связанные с почвами, их обработкой, применением минеральных удобрений, созданием оптимальных севооборотов, структуры посевов и их защиты [1–3]. Большое внимание уделяется созданию новых сортов и повышению качества получаемой продукции. В последние годы также изучаются вопросы создания агрофитоценозов, которые бы не нарушали биогеохимические потоки веществ в агроэкосистемах [4]. Внедрение в производство результатов исследований по этим традиционным направлениям с учетом технических и информационных аспектов позволяет постоянно совершенствовать технологии выращивания сельскохозяйственных растений и увеличивать их урожайность.

Одним из путей повышения продуктивности культурных растений является использование их физиологиче-

ских характеристик [5]. Наиболее эффективным в этом плане может рассматриваться фотосинтез, который лежит в основе образования органического вещества растительного происхождения. Значительный вклад в изучении роли фотосинтеза в росте и развитии отдельного растения и формирования урожая сельскохозяйственных культур внесли А. Т. Мокроносов и А. А. Ничипорович. Так, А. А. Ничипоровичем были разработаны методические рекомендации по определению оптимальной площади листьев культурных растений обеспечивающих максимальную фотосинтетическую активность посевов. В их основе лежат периодическое определение площади листьев посевов и объема накопления органического вещества, индекса листовой поверхности, фотосинтетического потенциала. Описываемая методика позволяет соответствующим расчетом определять способность единицы листовой поверхности синтезировать органического вещества.

Основные позиции этих рекомендаций применяются и в настоящее время [6–8]. При определении особенностей

продукционного процесса кормовых корнеплодов были использованы работы А. А. Ничипоровича. В настоящем исследовании, как и в работах других авторов, было отмечено повышение чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) посевов при внесении минеральных удобрений. Следует отметить, что указанная методика позволяет определять только расчетные показатели продукционного процесса посева в целом и не позволяет оценить реальную интенсивность первичных этапов фотосинтеза. Этим, очевидно, и объясняется большое различие в результатах определения показателей ЧПФ, что затрудняет их оценку.

В целом изучение фотосинтеза и отдельных его процессов является сложной задачей, т. к. это требует использования сложного, часто стационарного лабораторного оборудования. Одним из способов решения обозначенной проблемы является использование более современной приборной базы. В настоящее время имеется возможность изучения первичных процессов фотосинтеза на основе регистрации интенсивности флуоресценции хлорофилла. Для этого используются флуориметры. Они позволяют измерять фоновую и максимальную флуоресценции и оценивать фотосинтетическую активность хлорофилла в относительных единицах. В ранее опубликованной работе мы более подробно рассматривали особенности этого подхода [9]. Его преимущество состоит в том, что он позволяет более точно оценивать процессы фотосинтеза, чем ЧПФ.

В наших исследованиях для изучения влияния уровня минерального питания на фотосинтетическую активность хлорофилла кукурузы мы использовали флуориметрический метод. Было установлено, что при выращивании кукурузы на разных уровнях минерального питания (без удобрений и при внесении удобрений) средние показатели фотосинтетической активности хлорофилла изменялись незначительно (в зависимости от варианта от 0,762 до 0,772 отн. ед.), но одновременно наблюдались заметные различия в продуктивности кукурузы. На фоне с минеральными удобрениями сбор сухого вещества увеличился на 43 % [9]. Таким образом, проявились явные противоречия между незначительными изменениями в фотосинтетической активности хлорофилла при внесении удобрений

и существенным повышением сбора сухого вещества. В целях разрешения возникшей проблемы были проведены дополнительные исследования.

Методология и методы исследования (Methods)

Цель дополнительных исследований состояла в уточнении влияния уровня минерального питания на фотосинтетическую активность хлорофилла кукурузы. Для наблюдений использовались растения кукурузы гибрида Обский 140 СВ, которые выращивались в полевых условиях в 2015–2017 гг. в опытах С. К. Мингалева и И. В. Сурина [9] на двух фонах минерального питания – без удобрений и при внесении NPK по 60 кг/га каждого элемента. Площадь опытной делянки – 10 м², повторность четырехкратная. Учет урожая проводили сплошным методом. Защитная зона между фонами минерального питания – 1,2 м. Удобрения вносили весной перед посевом разбросным способом с последующей их заделкой в почву. Кукуруза высевалась с междурядьями 60 см.

Регистрация флуоресценции хлорофилла проводилась на приборе РАМ-2500 в периоды начала образования воздушных корней, выметывания и молочной спелости зерна кукурузы. Для наблюдений использовались листья, расположенные в верхней части стебля. Измерение флуоресценции проводили в шестикратной повторности. Образцы листа вырезались на расстоянии 15–20 см от верхнего края. Перед наблюдением они подвергались темновой адаптации на протяжении 12 минут. Период времени между отбором образца и его анализом с учетом темновой адаптации не превышал 15 минут. В целом методика проведения опыта была аналогичной ранее проведенным исследованиям [9].

Результаты (Results)

В результате проведенных исследований было установлено, что внесение минеральных удобрений несколько повышает интенсивность фотосинтеза по показателю F_v/F_m . Так, среднее значение F_v/F_m возросло с 0,763 по фону без удобрений до 0,775 отн. ед. по удобренному фону. Однако дисперсионный анализ показал, что эти изменения носят несущественный характер, т. к. $F_{\text{факт}}$ оказалось меньше $F_{\text{теор}}$ (таблица 1).

Таблица 1
Влияние минеральных удобрений на фотосинтетическую активность хлорофилла кукурузы, F_v/F_m в отн. ед.

Уровень минерального питания	Фаза развития растений			
	Начало образования воздушных корней	Выметывание	Молочная спелость зерна	Средние по уровням питания $F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$
Без удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$	0,768 0,770	0,763 0,775	0,774 0,773	0,768 0,773

Table 1
Effect of mineral fertilizers on photosynthetic activity of corn chlorophyll, F_v/F_m in relative units

The level of mineral nutrition	Phase of plant development			
	The beginning of the formation of aerial roots	Appearance of inflorescences	Milk ripeness of grain	Average food levels $F_{\text{fact}} < F_{\text{theor}}$
Without fertilizers $N_{60}P_{60}K_{60}$	0.768 0.770	0.763 0.775	0.774 0.773	0.768 0.773

С целью получения дополнительной информации, необходимой для объяснения результатов эксперимента, был проведен учет урожая и определен сбор сухой биомассы кукурузы. Было установлено, что при внесении минеральных удобрений урожайность зеленой массы кукурузы возрастает с 20,5 т/га до 24,0 т/га, т. е. на 17 %, а сбор сухого вещества с 5,5 т/га до 6,7 т/га, или на 22 %.

Одновременно при внесении минеральных удобрений наблюдалось и соответствующее увеличение размеров корневых систем растений кукурузы. Ее масса увеличилась на 25 %. Различия в развитии корневых систем растений кукурузы на изучаемых вариантах хорошо просматриваются на рис. 1.

Таким образом, как и в предыдущих исследованиях, на фоне незначительных положительных изменений в фотосинтетической активности хлорофилла мы наблюдали существенное увеличение в продуктивности посевов кукурузы. Это значит, что повышение урожайности выращиваемой культуры нельзя связать с изменениями, произошедшими в фотосинтетическом аппарате растения. Очевидно, существует другой механизм повышения продуктивности культурных растений при внесении минеральных удобрений. Объяснить возникающее противоречие, по-нашему мнению, можно следующим образом.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Одним из направлений использования растениями продуктов фотосинтеза является образование корневых выделений [10–12]. Они представлены в основном разнообразными органическими кислотами и углеводами. Как было установлено, они имеют большое значение в жизни растений. Поступающие в ризосферу растений органические вещества корневых выделений оказывают благотворное воздействие на почвенную микрофлору. Она начинает более активно вовлекать минеральные соединения почвы в биохимические процессы и тем самым повышать их доступность для растений. Но длительное время это явление оставалось не оцененным в полной мере. Даже после публикации в 1972 г. работы С. А. Самцевич «Взаимоотношения микроорганизмов почвы и высших растений», в которой он предположил, что корневые выделения растений принимают большое участие в формировании почвенного плодородия, этому вопросу не уделялось должного внимания.

Было установлено, что объем веществ, выделяемых растениями в зону ризосферы, сопоставим с образованием надземной массы. По данным С. А. Самцевич, в переводе на сухое вещество в почву из корневых систем ежегодно поступает до 5 т органических соединений. Благодаря им



Рис. 1. Влияние минеральных удобрений на формирование корневой системы растений кукурузы



Fig. 1. Influence of mineral fertilizers on the formation of the corn root system

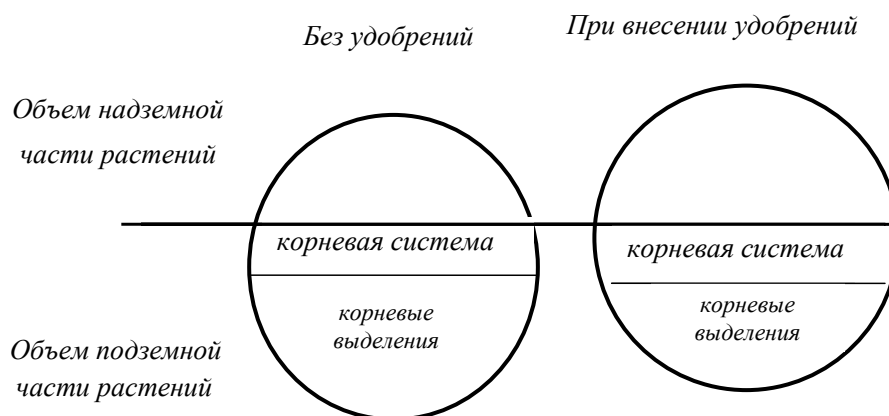


Рис. 2. Влияние минеральных удобрений на перераспределение в растениях продуктов фотосинтеза

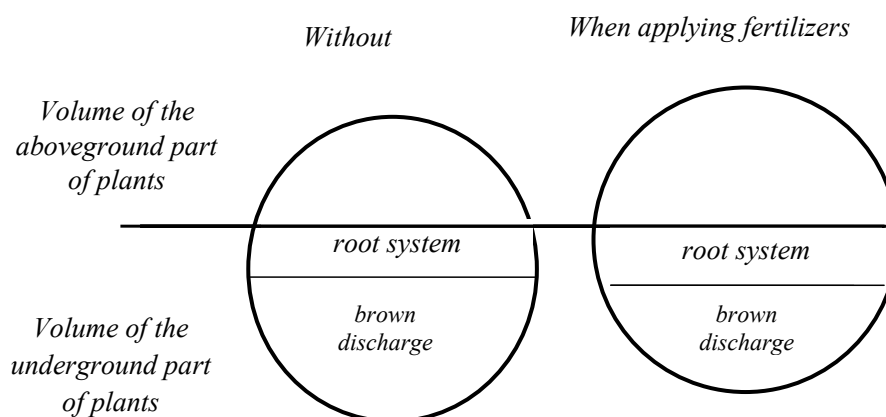


Fig. 2. The influence of mineral fertilizer redistribution in plants the products of photosynthesis

на границе корневых систем с почвой формируется зона насыщенная органическими веществами. Эта среда становится благоприятной для развития специфических микроорганизмов улучшающих минеральное питание растений [13]. В настоящее время становится ясно, что именно за счет активной микробиологической деятельности почвенные минеральные соединения становятся доступными для растений. Последние исследования также показали, что корневые выделения имеют решающее значение для ассоциативной азотфиксации [14–15].

Анализируя взаимоотношения растений и микроорганизмов через корневые выделения, можно сделать вывод, что они формировались на протяжении длительного периода. Их эволюционное развитие было сопряженным и направлено на повышение независимости и тех, и других живых организмов от внешних факторов окружающей среды, придания ей необходимых для нормальной жизнедеятельности параметров, а также формирование взаимовыгодных отношений и устойчивых сообществ.

Внесение минеральных удобрений существенно меняет условия функционирования агроэкосистем. С одной стороны, как было установлено в наших исследованиях, это не меняет эффективность фотосинтеза, но с другой стороны, в почву искусственно привносится значительные объемы легкодоступных для растений элементов минерального питания. В этих условиях растения теряют «заинтересованность» в поддержании выделительной функции корневых систем, необходимой для активной микробиологической деятельности ризосферных микро-

организмов обеспечивающих нормальное минеральное питание. В результате этого в растениях меняются донорно-акцепторные отношения, на важность которых в свое время обращал внимание А. Т. Мокроносов. Отсутствие «запроса» в продуктах фотосинтеза, необходимых для образования корневых выделений, меняет общую картину их распределения. Это проявляется в том, что они направляются не на образование корневых выделений, а на формирование надземной части растений, что и обуславливает повышение продуктивности сельскохозяйственных культур при внесении минеральных удобрений. Схематично этот процесс представлен на рис. 2.

Общий объем образования продуктов фотосинтеза при внесении минеральных удобрений существенно не меняется. Изменения затрагивают только их направления использования. Объем образования корневых выделений снижается в пользу образования надземной части и соответствующей массы корневой системы. Очевидно, это характерно для всех сельскохозяйственных растений. Подтверждением служат результаты исследований некоторых авторов, которые наблюдали снижение выделительных функций корневых систем при улучшении минерального питания растений. Также имеются многочисленные данные о снижении эффективности симбиотической и ассоциативной азотфиксации при внесении азотных удобрений [15].

Изучение литературных источников по этому вопросу показало, что имеются и другие подтверждения сделанным предположениям. Так, в работе С. М. Самосовой «Не-

которые аспекты изучения взаимоотношений между озимой пшеницей и микрофлорой ризосферы корней» приводятся результаты, полученные в полевых и вегетационных опытах. Было установлено, что при внесении химических элементов наблюдалось существенное (в 2–3 раза) подавление выделительной функции корней. При этом снижение содержания элементов минерального питания в субстрате, наоборот, усиливало это свойство растений. Такая реакция на изменение условий обитания, по сведениям С. М. Самосовой, характерна не только для растений, но и для дрожжевых клеток. Это служит дополнительным обоснованием справедливости сделанных выше заключений.

Предложенный механизм повышения урожайности при внесении минеральных удобрений может иметь большое значение для объяснения причин отрицательного влияния регулярного внесения минеральных удобрений на показатели плодородия почвы, что наблюдалось в целом ряде исследований. Вероятно, это связано с сокращением поступления в почву органических соединений, содержащихся в корневых выделениях культурных растений в условиях появления в зоне корневых систем доступных элементов минерального питания.

Важно также обратить внимание на то, что изменения в направлениях использования продуктов фотосинтеза в растениях в сторону образования корневых выделений

может быть использовано в практических целях. Так, усиливая поступление корневых выделений в почву, мы можем оказывать существенное положительное влияние на ее плодородие. При этом очевидно, что выделительные функции корневых систем культурных растений могут быть значительно усилены за счет селекционного процесса. Это позволит заметно увеличить объемы поступления органического вещества в почву за счет самих растений и, таким образом, активизировать естественные почвообразовательные процессы. В целом усиление выделительных функций корневых систем растений в перспективе может стать одним из важнейших приемов воздействия по почве и повышения их плодородия.

На основании анализа результатов исследований можно сделать следующие выводы:

1. Внесение минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) оказывает несущественное влияние на фотосинтетическую активность хлорофилла кукурузы, регистрируемую флуориметрическим методом.

2. Увеличение продуктивности растений при внесении минеральных удобрений происходит не за счет повышения активности фотосинтетического аппарата, а за счет перераспределения продуктов фотосинтеза в пользу надземной части и корневой системы. Объем образования корневых выделений при этом резко сокращается.

Библиографический список

1. Постников Д. А., Постников А. Н., Лошаков В. Г., Темирбекова С. К. Стратегия и тактика в принятии агроэкологических решений для Нечерноземной зоны // Успехи современной науки. 2017. Т. 1. № 10. С. 147–154.
2. Тойгильдин А. Л., Морозов В. И., Подсёвалов М. И. Биологизация севооборотов и качество зерна яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2 (46). С. 58–64. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-58-64.
3. Ториков В. Е., Соколов Н. А., Ториков В. В., Осипов А. А. Биологизация земледелия – важнейшее направление ресурсосбережения в АПК России. // Биологизация и продовольственная безопасность – векторы развития современного АПК: материалы международной научно-практической конференции. Орел, 2019. С. 107–124.
4. Овсянников Ю. А. Производство полноценных продуктов питания на основе эколого-биосферного земледелия // Аграрный вестник Урала. 2017. № 12-2 (167). С. 8–11.
5. Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г., Чернова И. В. Оценка состояния растений методами экспресс-диагностики // Аграрный вестник Урала. 2019. № 7 (186). С. 19–25. DOI: 10.32417/article_5d52af440f71b8.16701399.
6. Заикин В. В., Амелин А. В. Фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтеза у сортов гречихи разных периодов селекции // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (67). С. 10–16.
7. Гаджиумаров Р. Г. Фотосинтетическая деятельность посевов сои в зависимости от технологии и возделывания // Новости науки в АПК. 2019. № 3 (12). С. 419–423. DOI: 10.25930/2218-855X/106.3.12.2019.
8. Тедеева В. В., Абаев А. А., Тедеева А. А. Фотосинтетическая деятельность посевов различных сортов нута в условиях лесостепной зоны РСО-Алания // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 1691.
9. Мингалев С. К., Овсянников А. Ю., Овсянников Ю. А., Сурин И. В. Влияние минерального питания на показатели фотосинтетической активности хлорофилла кукурузы // Аграрный вестник Урала. 2014. № 10 (128). С. 25–27.
10. Демина О. С., Ларинова Ю. С., Кондратьев М. Н. Эффект корневых выделений культурных растений на рост сорных видов. Требования к методике проводимых экспериментов // Научная жизнь. 2017. № 9. С. 89–100.
11. Демина О. С., Ларинова Ю. С., Кондратьев М. Н. Эффект корневых выделений культурных растений на рост сорных видов // Природа. 2018. № 1 (1229). С. 59–64.
12. Кондратьев М. Н., Ларинова Ю. С., Демина О. С. Физиологические функции корневых выделений у растений // Доклады ТСХА. 2015. С. 35–39.
13. Соболева О. М. Роль ризосферных бактерий в повышении экологизации агрофитоценозов // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 19–22.
14. Завалин А. А., Алферов А. А., Чернова Л. С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрохимия. 2019. № 8. С. 83–96. DOI: 10.1134/S0002188119080143.
15. Завалин А. А., Соколов О. А., Шмырева Н. Я. Экология азотфиксации, Саратов, 2019. 252 с.

Об авторах:

Юрий Алексеевич Овсянников¹, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры растениеводства и селекции, ORCID 0000-0003-4937-4268, AuthorID 129091; +7 (343) 221-41-16, 221-41-17, ovs122333@yandex.ru

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

Fluorescence of corn chlorophyll and the mechanism of increasing its yield when applying mineral fertilizers

Yu. A. Ovsyannikov¹✉

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: ovs122333@yandex.ru

Abstract. In previously conducted experiments it was found that the improvement of mineral nutrition of plants contributes to the increase of net productivity of photosynthesis. However, the methods used to determine this indicator are not based on direct determination of the values of photosynthetic indicators, but on calculations based on taking into account the area of plant leaves and the formation of dry matter. **The aim** of the work was to directly determine the effect of fertilizer application on chlorophyll fluorescence and photosynthetic activity of plants. **Research methodology.** To directly assess the effect of mineral fertilizers on the efficiency of the photosynthetic apparatus, the RAM-250 fluorometer was used. Observations were made on corn leaves. The fluorescence was measured six times over. **Results.** It was found that the application of mineral fertilizers slightly changed the intensity of photosynthesis in terms of F_v/F_m . So the average value of F_v/F_m increased from 0.763 for the background without fertilizers to 0.775 Rel. units for the fertilized background. Dispersion analysis showed that these changes are insignificant. But, at the same time, when applying mineral fertilizers, the yield of green corn mass increased from 20.5 t/ha to 24.0 t/ha, i. e. by 17 %, and the collection of dry matter from 5.5 t/ha to 6.7 t/ha, or by 22 %. At the same time, a corresponding 25 % increase in the size of the root system of maize plants was observed. Thus, it was found that the introduction of mineral fertilizers increasing the yield of cultivated plants is not necessarily accompanied by an increase in the activity of their photosynthetic apparatus. This is the **novelty** of the research. The explanation of the mechanism of increasing the productivity of maize plants when applying mineral fertilizers is given.

Keywords: corn, photosynthesis, net photosynthetic productivity, fluorescence, mineral fertilizers, root system, root secretions, yield, rhizosphere, microorganisms.

For citation: Ovsyannikov Yu. A. Fluorescentsiya khlorofilla kukuruzy i mekhanizm povysheniya ee urozhaynosti pri vnesenii mineral'nykh udobreniy [Fluorescence of corn chlorophyll and the mechanism of increasing its yield when applying mineral fertilizers] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 02 (205). Pp. 41–47. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-41-47. (In Russian.)

Paper submitted: 08.10.2020.

References

1. Postnikoov D. F., Postnikov A. N., Loshakov V. G., Temirbekova S. K. Strategiya i taktika v prinyatii agroekologicheskikh resheniy dlya Nechernozemnoy zony [Strategy and tactics in the adoption of agro-ecological solutions for the non-Chernozem zone] // Modern Science Success 2017. Vol. 1. No. 10. Pp. 147–154. (In Russian.)
2. Toygildina A. L., Morozov V. I., Podsevalov M. I. Biologizatsiya sevooborotov i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy v usloviyakh lesostepnoy zony Povolzhya [Biologization of crop rotations and quality of spring wheat grain in the conditions of the Volga forest-steppe zone] // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2019. No. 2 (46). Pp. 58–64. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-58-64. (In Russian.)
3. Torikov V. E., Sokolov N. A., Torikov V. V., Osipov A. A. Biologizatsiya zemledeliya – vazhneyshee napravlenie resursoberezheniya v APK Rossii [Biologization of agriculture – the most important direction of resource conservation in the Russian agro-industrial complex] // Biologizatsiya i prodovolstvennaya bezopasnost – vektory razvitiya sovremennogo APK: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel, 2019. Pp. 107–124. (In Russian.)
4. Ovsyannikov Yu. A. Proizvodstvo polnothennykh produktov pitaniya na osnove ekologo-biosfernogo zemledeliya [Production of high-grade food products based on eco-biosphere agriculture] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2017. No. 12-2 (167). Pp. 8–11. (In Russian.)
5. Eroshenko F. V., Storchak I. G., Chernova I. V. Otsenka sostoyaniya rasteniy metodami ekspress-dagnostiki [Assessment of the state of plants by methods of Express diagnostics] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 7 (186). Pp. 19–25. DOI: 10.32417/article_5d52af440f71b8.16701399. (In Russian.)

6. Zaikin V. V., Amelin A. V. Fotosinteticheskiy potentsial i chistaya produktivnost' fotosinteza u sortov grechikhi raznykh periodov selektsii [Photosynthetic potential and net productivity of photosynthesis in buckwheat Varieties of different breeding periods] // Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. No. 4 (67). Pp. 10–16. (In Russian.)
7. Gadzhimuratov R. G. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' posevov soi v zavisimosti ot tekhnologii vozdeleyvaniya [Photosynthetic activity of soybean crops depending on the technology and cultivation] // Novosti nauki v APK. 2019. No. 3 (12). Pp. 419–423. (In Russian.)
8. Tedeeva V. V., Abaev A. A., Tedeeva A. A. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' posevov razlichnykh sortov nuta v usloviyakh lesostepnoy zony RSO-Alaniya [Photosynthetic activity of crops of various varieties of chickpeas in the conditions of the forest-steppe zone of RSO-Alania] // Modern problems of science and education. 2015. No. 1-1. P. 1691. (In Russian.)
9. Mingalev S. K., Ovsyannikov A. Yu., Ovsyannikov Yu. A., Surin I. V. Vliyanie mineralnogo pitaniya na pokazateli fotosinteticheskoy aktivnosti khlorofilla kukuruzy [Influence of mineral nutrition on indicators of photosynthetic activity of corn chlorophyll] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2014. No. 10 (128). Pp. 25–27. (In Russian.)
10. Demina O. S., Larikova Yu. S., Kondrat'ev M. N. Effekt kornevykh vydeleniy kulturnykh rasteniy na rost sornykh vidov. Trebovaniya k metodike provodimykh eksperimentov [Effect of root secretions of cultivated plants on the growth of weed species. Requirements for the method of conducting experiments] // Scientific life. 2017. No. 9. Pp. 89–100. (In Russian.)
11. Demina O. S., Larikova Yu. S., Kondrat'ev M. N. Effekt kornevykh vydeleniy kulturnykh rasteniy na rost sornykh vidov [Effect of root secretions of cultivated plants on the growth of weed species] // Nature. 2018. No. 1 (1229). Pp. 59–64. (In Russian.)
12. Kondrat'ev M. N., Larikova Yu. S., Demina O. S. Fiziologicheskie funktsii kornevykh vydeleniy u rasteniy [Physiological functions of root excretions of plants] // Reports of the TAA. 2015. Pp. 35–39. (In Russian.)
13. Soboleva O. M. Rol' rizosfernykh bakteriy v povyshenii ekologizatsii agrofotsenosov [The role of rhizosphere bacteria in increasing the ecologization of agrocenoses] // Achievements of Science and Technology of AICis. 2018. Vol. 32. No. 5. Pp. 19–22. (In Russian.)
14. Zavalin A. A., Alferov A. A., Chernova L. S. Assotsiativnaya azotfiksatsiya i praktika primeneniya biopreparatov v posevakh sel'skokhozyaystvennykh kultur // Agrochemistry. 2019. No. 8. Pp. 83–96. DOI: 10.1134/S0002188119080143. (In Russian.)
15. Zavalin A. A., Sokolov O. A., Shmyreva N. Ya, Ekologiya azotfiksatsii [Ecology of nitrogen fixation]. Saratov, 2019. 252 p. (In Russian.)

Authors' information:

Yuriy A. Ovsyannikov¹, doctor of agricultural sciences, associate professor, professor of the department of plant production and breeding, ORCID 0000-0003-4937-4268, AuthorID 129091; +7 (343) 221-41-16, 221-41-17, ovs122333@yandex.ru

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

Производственная эффективность выращивания сортов сливы в аридных условиях Астраханской области

А. В. Солонкин^{1✉}, В. П. Зволинский², Т. И. Александрова²

¹ Федеральний научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Россия

² Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, Солёное Займище, Россия

✉ E-mail: mishamax73@mail.ru

Аннотация. Цель. Изучение биометрических показателей роста, особенностей прохождения основных фенологических фаз развития, изучение скороплодности, урожайности и товарных качеств плодов различных сортов сливы, обоснование возможности и экономической целесообразности их использования для закладки интенсивных насаждений в аридных условиях Астраханской области. **Методы.** Исследования проводятся в аридных условиях Северного Прикаспия в лаборатории плодовых и садовых культур Прикаспийского аграрного федерального научного центра РАН» (ФГБНУ ПАФНЦ РАН) по изучению наиболее перспективных сортоподвойных комбинаций сливы по методике сортоизучения плодовых культур для последующего подбора и рекомендации наиболее перспективных для промышленного садоводства. **Результаты.** Исходя из полученных и проанализированных данных получен наиболее высокий уровень рентабельности у сортов сливы Кубанская ранняя (71,4 %) с продуктивностью 2,48 кг/м³ объема кроны и окупаемостью 1,79 руб. на 1 руб. вложенных затрат и Анна Шпет (77,3 %) с продуктивностью 1,07 кг/м³ объема кроны и окупаемостью 1,77 руб. на 1 руб. вложенных затрат. При сравнении результатов исследований делается вывод о наиболее выгодном для промышленного возделывания сорта Кубанская ранняя, обладающем более высоким потенциалом по продуктивности и более эффективно использующим посадочную площадь в сравнении с другими изучаемыми сортами. Данный сорт может быть рекомендован для садов интенсивного типа Астраханской области. **Научная новизна** заключается в том, что, несмотря на широкий сортимент сливы, существующий на сегодняшний день, для каждой зоны необходим подбор как сортов, так и подвоев для стабильного и экономически целесообразного производства плодов.

Ключевые слова: слива, фенология, сорт, цветение, плодоношение, урожайность, масса плода.

Для цитирования: Солонкин А. В., Зволинский В. П., Александрова Т. И. Производственная эффективность выращивания сортов сливы в аридных условиях Астраханской области // Аграрный вестник Урала. 2021. № 02 (205). С. 48–55. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-48-55.

Дата поступления статьи: 25.08.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

Слива – одна из перспективных культур для наших садов: она рано вступает в плодоношение, дает ежегодные и стабильно высокие урожаи качественных плодов. Плоды сливы имеют привлекательный внешний вид, хорошие вкусовые характеристики, сбалансированный биохимический состав и пригодны для большинства видов переработки. В настоящее время сформировался достаточно широкий сортимент адаптивных и продуктивных сортов, а также создана серия клоновых подвоев различной силы роста [1–5]. Однако, несмотря на широкий сортимент как сортов сливы, так и подвоев для нее, актуальной была и остается разработка интенсивных технологий ее возделывания. Для каждой агроклиматической зоны необходим свой подбор наиболее продуктивных и адаптивных сортоподвойных комбинаций этой культуры [6–11].

В аридных условиях Северного Прикаспия в лаборатории плодовых и садовых культур Федерального государственного бюджетного научного учреждения «При-

каспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (ФГБНУ ПАФНЦ РАН) на протяжении последних нескольких лет ведется работа по подбору и изучению наиболее перспективных сортоподвойных комбинаций сливы. Наряду с изучением морфобиологических, количественных и качественных характеристик проводится оценка экономической эффективности использования различных комбинаций при производстве плодов сливы в условиях Астраханской области [12]. На наш взгляд, данный аспект является одним из основополагающих при планировании и закладке промышленных насаждений сливы.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились на орошаемом участке плодового сада ФГБНУ ПАФНЦ РАН. Территория, на которой расположен опытный участок, относится ко второму агроклиматическому району Астраханской области и приближена по условиям к полупустыням. Почвы участка светло-каштановые, карбонатные, среднемощные, легко-суглинистого состава, с низкой обеспеченностью легкого-

дрозизируемым азотом (21 мг/кг почвы) и подвижным фосфором (30 мг/кг почвы), но с повышенным содержанием подвижного калия (212 мг/кг почвы). Реакция почвенной среды варьирует от нейтральной до слабощелочной (7,0–7,4). Грунтовые воды залегают на глубине ниже 3,5 м.

Плодовый сад был заложен в 2014 году, схема посадки 5 × 2 м (1000 деревьев на 1 га). Изучалось 5 сортов сливы, из которых 1 отечественной и 4 зарубежной селекции, привитые на подвой ВВА-1. В качестве контроля выступал сорт Кубанская ранняя.

Изучаемые сорта различались по срокам созревания. Сорта Кубанская ранняя и Бербанк – раннего срока созревания, Великая синяя и Ренклюд Альтана – среднего, Анна Шпет – позднего.

На опытном участке проводились следующие учеты и наблюдения: фенологические фазы развития растений, биометрические параметры (высота, ширина и объем кроны, окружность и площадь поперечного сечения штамба), количественные и качественные характеристики (масса плода, урожайность, биохимический состав плодов). Была проведена экономическая оценка выращивания сливы. Все учеты и наблюдения выполнены согласно общепринятым методикам [13–14].

Результаты (Results)

Зимние условия Астраханской области характеризуются частыми перепадами температур, сильными ветрами и

низким снежным покровом. В связи с тем, что различные сорта сливы имеют разный период глубокого покоя, резкие перепады температуры способствуют преждевременному началу вегетации и снижению зимостойкости у сортов с коротким периодом покоя. При возвратных морозах это приводит к угнетению растений и снижению их продуктивности [15]. При изучении сортов сливы выявлено, что наименьший период глубокого покоя имеют сорта Кубанская ранняя и Бербанк, которые при благоприятном температурном режиме, на 8–10 дней раньше других сортов начинают вегетацию (II декада января), позже всех сортов заканчивается период глубокого покоя у сорта позднего срока созревания Анна Шпет – во второй декаде января (таблица 1).

В результате наблюдений за фенологическими фазами сортов сливы установлено, что распускание почек варьирует в пределах 5–7 дней. Наиболее раннее распускание почек отмечено у сортов Ренклюд Альтана и Бербанк (с 31 марта по 10 апреля) в зависимости от складывающихся условий года. У других сортов сливы распускание почек проходило на 3–4 дня позже, что не оказывает какого-либо существенного влияния на дальнейший рост и развитие растений. Цветение сортов сливы в зависимости от сортовых особенностей и складывающихся условий текущего года проходило с середины апреля до середины мая (таблица 1).

Таблица 1
Фенологические фазы развития сортов сливы, среднее по годам

Сорт	Выход из периода глубокого покоя	Распускание почек		Цветение		Созревание плодов	Листопад	
		Вегетативных	Генеративных	Начало	Конец		Начало	Конец
Кубанская ранняя (st)	05.01–11.01	6.04–13.04	8.04–20.04	24.04–2.05	5.05–9.05	29.07–8.08	28.09–30.09	25.10–27.10
Ренклюд Альтана	10.01–15.01	31.03–10.04	9.04–24.04	17.04–26.04	27.04–8.05	16.08–27.08	25.09–27.09	10.10–14.10
Бербанк	06.01–11.01	1.04–10.04	15.04–22.04	20.04–30.04	5.05–9.05	6.08–12.08	20.09–22.09	15.10–20.10
Великая синяя	10.01–13.01	11.04–18.04	22.04–27.04	24.04–2.05	6.05–13.05	12.08–21.08	20.10–23.10	1.11–7.11
Анна Шпет	11.01–24.01	11.04–22.04	24.04–29.04	26.04–3.05	5.05–12.05	20.09–26.09	20.10–25.10	4.11–8.11

Table 1
Phenological phases of development of plum varieties, average over the years

Variety	Exit from a period of deep dormancy	Dissolving buds		Flowering		Maturation fruit	Leaf fall	
		Vegetative	Generative	Beginning	End		Beginning	End
Kubanskaya rannaya (st)	05.01–11.01	6.04–13.04	8.04–20.04	24.04–2.05	5.05–9.05	29.07–8.08	28.09–30.09	25.10–27.10
Althana	10.01–15.01	31.03–10.04	9.04–24.04	17.04–26.04	27.04–8.05	16.08–27.08	25.09–27.09	10.10–14.10
Burbank	06.01–11.01	1.04–10.04	15.04–22.04	20.04–30.04	5.05–9.05	6.08–12.08	20.09–22.09	15.10–20.10
Grand Duke	10.01–13.01	11.04–18.04	22.04–27.04	24.04–2.05	6.05–13.05	12.08–21.08	20.10–23.10	1.11–7.11
Anna Szpet	11.01–24.01	11.04–22.04	24.04–29.04	26.04–3.05	5.05–12.05	20.09–26.09	20.10–25.10	4.11–8.11

Продолжительность цветения сливы при благоприятных условиях составляет от 6 до 8 дней и практически не зависит от сортовых особенностей. Основным лимитирующим фактором продолжительности цветения является температурный режим: чем он выше, тем быстрее протекает цветение, и наоборот. В связи с тем, что за годы наблюдений не было существенных отклонений от среднелетних температур, продолжительность цветения также не отходила от многолетних параметров и составила в среднем по сортам 5–8 дней. Это положительно повлияло на завязывание плодов и дальнейший урожай. За время наблюдений наиболее дружным и обильным цветением (5 баллов) характеризовались сорта Кубанская ранняя, Бербанк и Великая синяя. По остальным изучаемым сортам также отмечено хорошее цветение в пределах 4,0–4,5 балла.

Срок созревания плодов сливы является сортовым признаком и контролируется генотипом [14]. При этом в зависимости от складывающихся погодных условий текущего года разница во времени созревания плодов в пределах сорта может достигать 10 дней [16]. За время наблюдения существенных различий по срокам созревания плодов в пределах сорта не наблюдалось. Наиболее раннее созревание плодов отмечено у сорта Кубанская ранняя (29.07), наиболее позднее – у сорта Анна Шпет (26.09). Окончание вегетации у всех сортов сливы наблюдался в один срок (с 25.10) с интервалом в 3–4 дня.

Важными хозяйственными характеристиками сортоподвойных комбинаций являются сила роста дерева, развитие и объем кроны, прирост окружности штамба [14]. Наблюдения за параметрами деревьев сливы в 6-летнем возрасте показали, что в зависимости от сорта высота варьировала от 1,9 до 3,2 м (таблица 2). Наиболее сильно-рослыми на подвое ВВА-1 в 6-летнем возрасте отмечены

сорта Великая синяя и Анна Шпет с высотой деревьев до 3,2 м. Среди других изучаемых сортов наименьшей силой роста деревьев (1,9 м) характеризовался сорт Бербанк (таблица 2). Остальные сорта также имели слабый рост деревьев – до 2,2 м. Данный показатель может быть использован для планирования схемы посадки тех или иных сортов и более эффективного использования участков под плодовыми насаждениями.

Одними из важных показателей, характеризующих продуктивность сорта и непосредственно влияющих на продуктивность дерева, являются окружность и площадь поперечного сечения штамба. В наших наблюдениях наибольшая окружность штамба отмечена у сортов Великая синяя (23,0 см) и Анна Шпет (26,1 см), наименьшая – у сорта Ренклюд Альтана (16,5 см).

У контрольного сорта Кубанская ранняя окружность штамба составила 18,6 см. Высокие значения площади поперечного сечения отмечены также у сортов Великая синяя и Анна Шпет (42,09–54,29 см²). Одной из наиболее существенных характеристик дерева является площадь проекции кроны, показывающая, какую часть отведенной площади питания занимает тот или иной сорт. Данный показатель позволяет с наибольшей точностью рассчитать потребность сорта в площади питания и подобрать для него оптимальную схему посадки, позволяющую наиболее эффективно использовать земельные ресурсы. В нашем случае схема посадки деревьев составляла 5 × 2 метра, т. е. на каждое дерево отводилось площадь питания, равная 10 м² площади сада. К 6-летнему возрасту более 80 % площади питания, отведенной дереву, было занято у сортов Великая синяя и Анна Шпет. Остальные сорта занимали менее 80 % отведенной площади (таблица 2), что позволяет эти сорта размещать в саду по более уплотненным схемам посадки.

Таблица 2
Биометрические показатели деревьев сливы на подвое ВВА-1, 2019 год

Сорт	Высота деревьев, м	Параметры кроны, м		Площадь проекции кроны, м ²	Объем кроны, м ³	Окружность штамба, см	Площадь сечения штамба, см ²
		Ширина	Длина				
Кубанская ранняя (st)	2,2	2,2	2,1	7,25	4,35	18,6	27,53
Ренклюд Альтана	2,1	2,5	2,4	7,69	5,3	16,5	21,7
Бербанк	1,9	2,6	2,3	7,69	4,6	16,8	22,43
Великая синяя	3,2	2,5	2,7	8,16	10,35	23,0	42,09
Анна Шпет	3,2	2,8	2,6	8,48	11,16	26,1	54,29
НСР _{0,5}	0,8	0,7	0,7	0,39	0,36	1,01	1,68

Table 2
Biometric indicators of plum trees on VVA-1 rootstock, 2019

Variety	Height of trees, m	Crown parameters, m		Crown projection area, m ²	Volume crowns, m ³	Trunk circumference, cm	Sectional area of the trunk, cm ²
		Width	Length				
Kubanskaya rannyaya (st)	2.2	2.2	2.1	7.25	4.35	18.6	27.53
Althana	2.1	2.5	2.4	7.69	5.3	16.5	21.7
Burbank	1.9	2.6	2.3	7.69	4.6	16.8	22.43
Grand Duke	3.2	2.5	2.7	8.16	10.35	23.0	42.09
Anna Szpet	3.2	2.8	2.6	8.48	11.16	26.1	54.29
LSD _{0,5}	0.8	0.7	0.7	0.39	0.36	1.01	1.68

Таблица 3
Хозяйственно-полезные показатели сортов сливы, 2019 г.

Сорт	Урожайность				Масса, г		% косточки от массы плода
	т/га	кг/дерева	кг/см ² площади штамба	кг/м ³ объема кроны	Плода	Косточки	
Кубанская ранняя (st)	10,8	10,8	0,39	2,48	39,2	1,5	3,8
Ренклюд Альтана	8,0	8,0	0,37	1,51	21,5	1,5	7,0
Бербанк	8,1	8,1	0,36	1,76	45,0	5,0	11,8
Великая синяя	12,3	12,3	0,29	1,19	41,3	4,3	10,4
Анна Шпет	12,0	12,0	0,22	1,07	36,0	1,8	5,0
НСР _{0,5}	0,51	0,51	0,016	0,08	1,83	0,14	–

Table 3
Economically useful indicators of plum varieties, 2019

Variety	Productivity,				Weight, g		% bones from the weight of the fruit
	t/ha	kg/tree	kg/cm ² trunk area	kg/m ³ volume crowns	Fruit	Bones	
Kubanskaya rannyyaya (st)	10.8	10.8	0.39	2.48	39.2	1.5	3.8
Althana	8.0	8.0	0.37	1.51	21.5	1.5	7.0
Burbank	8.1	8.1	0.36	1.76	45.0	5.0	11.8
Grand Duke	12.3	12.3	0.29	1.19	41.3	4.3	10.4
Anna Szpet	12.0	12.0	0.22	1.07	36.0	1.8	5.0
LSD _{0.5}	0.51	0.51	0.016	0.08	1.83	0.14	–

Таблица 4
Химический состав плодов сливы в условиях Астраханской области, 2019 г.

Сорт	Титруемая кислота, %	Сумма сахаров, %	Витамин С, мг / 100 г	Сахаро-кислотный индекс	Дегустационная оценка, балл
	На сырое вещество				
Кубанская ранняя (st)	0,76	9,18	6,60	12,08	4,8
Ренклюд Альтана	1,47	8,78	44,0	5,97	5,0
Бербанк	0,90	10,1	5,50	11,22	4,5
Великая синяя	1,57	9,62	6,60	6,13	4,8
Анна Шпет	0,54	11,2	22,4	20,74	5,0

Table 4
The chemical composition of plum fruits in the conditions of the Astrakhan region, 2019

Variety	Titrateable acid, %	Sum of sugars, %	Vitamin C, mg / 100 g	Sugar-acid index	Tasting assessment, score
	On raw matter				
Kubanskaya rannyyaya (st)	0.76	9.18	6.60	12.08	4.8
Althana	1.47	8.78	44.0	5.97	5.0
Burbank	0.90	10.1	5.50	11.22	4.5
Grand Duke	1.57	9.62	6.60	6.13	4.8
Anna Szpet	0.54	11.2	22.4	20.74	5.0

Одним из наиболее значимых показателей адаптивности любой плодовой культуры является продуктивность [17]. Выделившиеся по урожайности с единицы площади и с одного дерева сорта Великая синяя (12,3 т/га) и Анна Шпет (12,0 т/га) характеризовались статистически достоверной разницей относительно контроля (таблица 3).

Однако урожайность с единицы площади и с одного дерева не может всесторонне и полностью охарактеризовать потенциальную продуктивность сорта. Если считать урожайность с единицы объема кроны, то картина стано-

вится несколько иная, и наибольшая продуктивность уже наблюдается у сорта Кубанская ранняя, причем превышение над продуктивностью сортов Великая синяя и Анна Шпет составляет более чем два раза. Этот показатель наглядно демонстрирует эффективность использования как потенциала сорта, так и занимаемой им площади.

Важным показателем характеристики сорта является качество плодов. При изучении качественных показателей наиболее крупные плоды по сравнению с контролем Кубанская ранняя (39,2 г) отмечены у сортов Великая синяя

и Бербанк – 41,3 и 45,0 г соответственно. Наименьшие по величине плоды отмечались у сорта Ренклюд Альтана – до 21,5 г. Остальные сорта можно отнести к группе крупноплодных с плодами массой от 36,0 до 45,0 г. Процент содержания косточки в плоде варьировал, в зависимости от сорта, от 3,4 до 5,0 % (таблица 3).

Одним из показателей, определяющим вкусовые качества плодов и влияющим на возможность использования сорта для различного назначения (десертный, универсальный, столовый и т. д.), является наличие в них сбалансированного состава сахаров и кислот, составляющих основу растворимых веществ [18].

Вкусовые качества и питательная ценность плодов определяются содержанием сухих веществ, благоприятно сбалансированных сахаров, органических кислот, дубильных и красящих веществ. В связи с этим большого внимания заслуживает отбор сортов с высокими биохимическими показателями качества плодов. Плоды, характеризующиеся лучшими свойствами, внешним видом и вкусом, более ценны для употребления [11]. Вместе с тем биохимический состав, несмотря на то что контролируется определенным набором генов, может в зависимости от складывающихся условий года различаться. В более прохладные и влажные годы может снижаться количество сахаров и повышаться содержание растворимых кислот. В теплые и сухие годы количество сахаров увеличивается, а кислотность снижается, что более благоприятно сказывается на качественных показателях и вкусовых характеристиках плодов. Изучение биохимического состава плодов сливы показало, что максимальное содержание сахара отмечено у плодов сорта Анна Шпет (20,74 %) и сорта Кубанская ранняя (12,08 %) (таблица 4).

Минимальное содержание сахаров выявлено у сортов Ренклюд Альтана (5,97 %) и Великая синяя (6,13 %).

Вкусовые качества определяются сахарокислотным индексом – отношением сахара и кислоты. Исходя из величины сахарокислотного индекса, наиболее гармоничным вкусом обладают сорта Кубанская ранняя, Бербанк и Анна Шпет (11,22–20,74).

Слива не относится к культурам, богатым аскорбиновой кислотой. Содержание в плодах витамина С у исследуемых сортов варьирует от 5,50 мг % Бербанк до 44,0 мг % Ренклюд Альтана. Наибольшая концентрация аскорбиновой кислоты содержится в плодах Ренклюд Альтана (44,0 мг) и Анны Шпет (22,4 мг). Дегустационная оценка свежих плодов среди изучаемых сортов сливы существенных различий не имела и составила от 4,5 до 5,0 балла.

Характеристика сорта не была бы полной без экономической эффективности выращивания его в той или иной зоне. На экономическую эффективность производства плодов сливы в первую очередь оказывают влияние такие показатели, как: урожайность, качество плодов, от которого зависит стоимость валовой продукции, затраты на производство продукции, рентабельность, чистый доход и цена реализации продукции [19] (таблица 5). Высокий уровень рентабельности получен у контрольного сорта Кубанская ранняя (71,4 %) с урожайностью 10,8 т/га, и окупаемостью 1,71 руб. на 1 руб. вложенных затрат и Анна Шпет (77,3 %) с урожайностью 12,0 т/га, с окупаемостью 1,77 руб. на 1 руб. вложенных затрат.

У сорта Великая синяя оказалась самая низкая себестоимость продукции – 21 руб./кг, однако в связи с низкой ценой реализации рентабельность этого сорта была на среднем уровне – 42,7 %.

Таблица 5
Экономическая эффективность выращивания сливы на 6-й год после посадки, 2019 г.

Сорт	Урожайность, т/га	Затраты, тыс. р/га	Себестоимость, тыс. руб/т	Цена реализации, тыс. руб/т	Валовый доход, руб/га	Прибыль, тыс. руб/га	Рентабельность, %	Окупаемость, руб/руб
Кубанская ранняя (st)	10,8	283,44	26,24	45,00	486,00	202,56	71,4	1,71
Ренклюд Альтана	8,0	248,34	31,04	40,00	320,00	71,66	29,0	1,29
Бербанк	8,1	271,34	33,50	40,00	324,00	52,66	19,4	1,19
Великая синяя	12,3	258,54	21,02	30,00	369,00	110,46	42,7	1,43
Анна Шпет	12,0	270,74	22,56	40,00	480,00	209,26	77,3	1,77

Table 5
Economic efficiency of growing plums in the 6th year after planting, 2019

Variety	Productivity, t/ha	Expenses, thousand rub/ha	Cost price, thousand rub/ha	Price sold nation, thousand rub/t	Gross income, thousand rub/ha	Profit thousand rub/ha	Profitability, %	Payback rub/rub
Kubanskaya rannaya (st)	10.8	283.44	26.24	45.00	486.00	202.56	71.4	1.71
Althana	8.0	248.34	31.04	40.00	320.00	71.66	29.0	1.29
Burbank	8.1	271.34	33.50	40.00	324.00	52.66	19.4	1.19
Grand Duke	12.3	258.54	21.02	30.00	369.00	110.46	42.7	1.43
Anna Szpet	12.0	270.74	22.56	40.00	480.00	209.26	77.3	1.77

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

На основании полученных результатов установлено, что наиболее выгодно выращивать в условиях севера Астраханской области сорт Кубанская ранняя раннего срока созревания, во-первых, за счет высокой цены реализации, во-вторых, за наиболее эффективные использования как потенциала дерева, так и посадочной площади. На шестой год после посадки в сад этот сорт занимал чуть более 70 % площади питания, что позволяет увеличить количество деревьев на единицу площади и тем самым повысить выход товарной продукции с единицы площади. Также перспективным для выращивания можно считать сорт Анна Шпет за счет позднего созревания плодов и их высокое качество, что позволяет иметь хорошую рентабельность на уровне 77,3 %. Однако этот сорт, а также

сорт Великая синяя, несмотря на высокие показатели по урожайности, качеству плодов и рентабельности, имеют один очень существенный недостаток, а именно крупные деревья, в связи с чем неэффективно используется площадь насаждений и потенциал сорта.

В результате проведенных исследований все сорта сливы, несмотря на складывающиеся погодно-климатические условия, накапливают достаточное количество питательных веществ, способствующих формированию плодов с отличными вкусовыми качествами, и могут выращиваться в личных подсобных хозяйствах.

Вместе с этим большое разнообразие современных сортов делает необходимым продолжать изучение сортоподвойных комбинаций косточковых культур, адаптированных к аридным условиям Северного Прикаспия.

Библиографический список

1. Еремин В. Г., Еремин Г. В. Перспективы использования в промышленном садоводстве России клоновых подвоев косточковых культур // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Т. 50. С. 111–115.
2. Еремин Г. В., Еремин В. Г. Использование генофонда дикорастущих видов рода *Prunus* L. в селекции клоновых подвоев косточковых культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2015. Т. 176. № 4. С. 416–425. DOI: 10.30901/2227-8834-2015-4-416-428.
3. Еремин Г. В., Еремин В. Г. Совершенствование сортимента клоновых подвоев для косточковых культур // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 73. С. 60–64. DOI: 10.21515/1999-1703-73-60-64.
4. Pérez-Jiménez M., Hernández-Munuera M., Carmen Piñero M., López-Ortega G., del Amor F. M. Are commercial sweet cherry rootstocks adapted to climate change? Short-term waterlogging and CO₂ effects on sweet cherry cv. 'Burlat' // Plant, Cell & Environment. 2018. Vol. 41. Iss. 5. Pp. 908–918.
5. Солонкин А. В., Еремин Г. В. Использование местных и новых сортов Нижнего Поволжья в селекции адаптивных сортов сливы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 134. С. 368–378. DOI: 10.21515/1990-4665-134-031.
6. Солонкин А. В., Никольская О. А., Киктева Е. Н. Предварительная оценка сорто-подвойных комбинаций сливы в условиях Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1 (53) С. 105–113. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-13.
7. Солонкин А. В., Зволинский В. П., Иваненко Е. Н., Александрова Т. И. Комплексная оценка сортов сливы в условиях интенсивного сада Северного Прикаспия // Теоретические и прикладные проблемы АПК. 2019. № 4. С. 35–39. DOI: 10.32935/2221-7312-2019-42-4-35-38.
8. Попов М. А., Новоторцев А. А. Сорто-подвойные комбинации вишни и сливы в средней полосе РФ // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 7. С. 30–32.
9. Jiménez S., Fattahi M., Bedis K., Nasrolahpour-moghadam S., Irigoyen J. J., Gogorcena Y. Interactional effects of climate change factors on the water status, photosynthetic rate, and metabolic regulation in peach // Frontiers in Plant Science. 2020. Vol. 11. P. 43.
10. Joshua J., Mmbaga M. T., Mackasmie L. A. Cherry leaf spot disease management in ornamental cherries in mid-Tennessee // Canadian Journal of Plant Science. 2017. Vol. 97 (1). Pp. 110–118.
11. Иваненко Е. Н., Меншутина Т. В., Александрова Т. И. Подбор сорто-подвойных комбинаций сливы для аридных условий Северного Прикаспия // Научное обеспечение устойчивого развития плодоводства и декоративного садоводства: материалы научно-практической конференции, посвященной 125-летию ВНИИЦСК и 85-летию Ботанического сада «Дерево Дружбы». Сочи, 2019. С. 170–173.
12. Иваненко Е. Н., Дроник А. А., Александрова Т. И. Хозяйственно-биологическая характеристика сортов сливы при выращивании в условиях интенсивного сада [текст] // Достижения молодых ученых в развитии сельскохозяйственной науки и АПК: материалы VIII Международной научно-практической конференции молодых ученых. Солонное Займище, 2019. С. 73–77. DOI: 10.26150/PAFNC.2019.45.557-2-019.
13. Современные методология, инструментарий оценки и отбора селекционного материала садовых культур и винограда: монография / Под ред. Е. А. Егорова, Г. В. Еремина, И. А. Ильина, Р. Ш. Заремук, Е. В. Ульяновской, В. С. Петрова. Краснодар: ФГБНУ СКФНЦСВВ, 2017. 282 с.
14. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел: ВНИИСПК, 1999. – 606с.
15. Богданов Р. Е., Юшков А. Н., Земисов А. С., Борзых Н. В. Изучение зимостойкости сортов сливы с использованием оптических методов // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Т. 49. С. 52–55.
16. Заремук Р. Ш. Продуктивность и экологическая пластичность сливы (*Prunus domestica*) в нестабильных условиях // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 1. С. 85–91. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.1.85rus.
17. Лукичева Л. А., Горина В. М. Оценка продуктивности сортов сливы домашней (*Prunus domestica*) селекции Никитского ботанического сада // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2018. № 4. С. 81–85.
18. Ашурбаева М., Расулова А., Абдуллаев Ш. Химические составляющие сливы // Современные проблемы гуманитарных и естественных наук: материалы XXII международной научно-практической конференции. Москва, 2015. С. 35–37.

19. Поух Е. В., Шудловский А. Ф. Экономическая эффективность выращивания сливы домашней сорта Виктория на семенных и клоновых подвоях // Плодоводство: сборник научных трудов. Самохваловичи, Беларусь, 2015. С. 93–100.

Об авторах:

Андрей Валерьевич Солонкин¹, доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора,

ORCID 0000-0002-1576-7824, AuthorID 822657; +7 903 376-76-92, mishamax73@mail.ru

Вячеслав Петрович Зволинский², доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, ORCID 0000-0002-6475-865X, AuthorID 159653; +7 929 572-47-22, vpzvol@mail.ru

Татьяна Ивановна Александрова², аспирант, младший научный сотрудник лаборатории плодовых и садовых культур, ORCID 0000-0002-9257-6191, AuthorID 893633; +7 929 743-87-19, t.i.matveeva@mail.ru

¹ Федеральний научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Россия

² Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, Солёное Займище, Россия

Production efficiency of cultivation of plum varieties under arid conditions of the Astrakhan region

A. V. Solonkin¹✉, V. P. Zvolinskiy², T. I. Aleksandrova²

¹ Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

² Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Solenoe Zaymishche, Russia

✉ E-mail: mishamax73@mail.ru

Abstract. Purpose. The study of biometric growth indicators, the peculiarities of the passage of the main phenological phases of development, the study of early maturity, yield and commercial qualities of fruits of various varieties of plum, substantiation of the possibility and economic feasibility of their use for setting up intensive plantings in the arid conditions of the Astrakhan region. **Methods.** Research is carried out in the arid conditions of the Northern Caspian region, in the laboratory of fruit and horticultural crops of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, to study the most promising variety-rootstock combinations of plums, according to the method of variety study of fruit crops for subsequent selection and recommendation of the most promising for industrial gardening. **Results.** Based on the data obtained and analyzed, the highest level of profitability was obtained for varieties of plum Kubanskaya rannyaya (71.4 %) with a productivity of 2.48 kg/m³ of crown volume, and a payback of 1.79 rubles. for 1 rub. invested costs, and Anna Szpet (77.3 %) with a productivity of 1.07 kg/m³ of crown volume, with a payback of 1.77 rubles. for 1 rub. investment costs. Comparing the research results, it is concluded that the Kubanskaya rannyaya variety, which is the most profitable for industrial cultivation, has a higher productivity potential and more efficiently uses the planting area in comparison with other studied varieties. This variety can be recommended for intensive gardens in the Astrakhan region. **The scientific novelty** lies in the fact that, despite the wide assortment of plums that exists today, for each zone it is necessary to select both varieties and rootstocks for stable and economically viable fruit production.

Keywords: plum, phenology, variety, flowering, fruiting, yield, fruit weight.

For citation: Solonkin A. V., Zvolinskiy V. P., Aleksandrova T. I. Proizvodstvennaya effektivnost' vyrashchivaniya sortov slivy v aridnykh usloviyakh Astrakhanskoy oblasti [Production efficiency of cultivation of plum varieties under arid conditions of the Astrakhan region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 02 (205). Pp. 48–55. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-48-55. (In Russian.)

Paper submitted: 25.08.2020.

References

1. Eremin V. G., Eremin G. V. Perspektivy ispol'zovaniya v promyshlennom sadovodstve Rossii klonovykh podvoev kostochkovykh kul'tur [Prospects for the use of clonal rootstocks of stone fruit crops in industrial gardening in Russia] // Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2017. T. 50. Pp. 111–115. (In Russian.)
2. Eremin G. V., Eremin V. G. Ispol'zovanie genofonda dikorastushchikh vidov roda Prunus L. v selektsii klonovykh podvoev kostochkovykh kul'tur [The use of the gene pool of wild species of the genus Prunus L. in the selection of clonal rootstocks of stone fruit crops] // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2015. T. 176. No. 4. Pp. 416–425. DOI: 10.30901/2227-8834-2015-4-416-428. (In Russian.)
3. Eremin G. V. Sovershenstvovanie sortimenta klonovykh podvoev dlya kostochkovykh kul'tur [Improvement of the of clonal rootstocks for stone fruit crops] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. No. 73. Pp. 60–64. DOI: 10.21515/1999-1703-73-60-64. (In Russian.)
4. Pérez-Jiménez M., Hernández-Munuera M., Carmen Piñero M., López-Ortega G., del Amor F. M. Are commercial sweet cherry rootstocks adapted to climate change? Short-term waterlogging and CO₂ effects on sweet cherry cv. ‘Burlat’ // Plant, Cell & Environment. 2018. Vol. 41. Iss. 5. Pp. 908–918.

5. Solonkin A. V., Eremin G. V. Ispol'zovanie mestnykh i novykh sortov Nizhnego Povolzh'ya v selektsii adaptivnykh sortov slivy [The use of local and new varieties of the Lower Volga region in the selection of adaptive varieties of plum] // Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2017. No. 134. Pp. 368–378. DOI: 10.21515/1990-4665-134-031. (In Russian.)
6. Solonkin A. V., Nikol'skaya O. A., Kikteva E. N. Predvaritel'naya otsenka sorto-podvoynykh kombinatsiy slivy v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya [Preliminary assessment of variety-rootstock combinations of plum in the conditions of the Lower Volga region] // Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex. 2019. No. 1 (53). Pp. 105–113. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-13. (In Russian.)
7. Solonkin A. V., Zvolinskiy V. P., Ivanenko E. N., Aleksandrova T. I. Kompleksnaya otsenka sortov slivy v usloviyakh intensivnogo sada Severnogo Prikaspiya [Comprehensive assessment of plum varieties in an intensive garden of the Northern Caspian region] // Theoretical and Applied Problems of Agro-industry. 2019. No. 4. Pp. 35–39. DOI: 10.32935/2221-7312-2019-42-4-35-38. (In Russian.)
8. Popov M. A., Novotortsev A. A. Sorto-podvoynye kombinatsii vishni i slivy v sredney polose RF [Variety-rootstock combinations of cherry and plum in the middle zone of the Russian Federation] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2017. T. 31. No. 7. Pp. 30–32. (In Russian.)
9. Jiménez S., Fattahi M., Bedis K., Nasrolahpour-moghadam S., Irigoyen J. J., Gogorcena Y. Interactional effects of climate change factors on the water status, photosynthetic rate, and metabolic regulation in peach // *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. P. 43.
10. Joshua J., Mmbaga M. T., Mackasmiel L. A. Cherry leaf spot disease management in ornamental cherries in mid-Tennessee // *Canadian Journal of Plant Science*. 2017. Vol. 97 (1). Pp. 110–118
11. Ivanenko E. N., Menshutina T. V., Aleksandrova T. I. Podbor sorto-podvoynykh kombinatsiy slivy dlya aridnykh usloviy Severnogo Prikaspiya [Selection of variety-rootstock combinations of plums for arid conditions of the Northern Caspian Sea] // Nauchnoe obespechenie ustoychivogo razvitiya plodovodstva i dekorativnogo sadovodstva: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 125-letiyu VNIITsiSK i 85-letiyu Botanicheskogo sada "Derevo Druzhby". Sochi, 2019. Pp. 170–173. (In Russian.)
12. Ivanenko E. N., Dronik A. A., Aleksandrova T. I. Khozyaystvenno-biologicheskaya kharakteristika sortov slivy pri vyrashchivani v usloviyakh intensivnogo sada [Economic and biological characteristics of plum varieties when grown in an intensive garden] // Dostizheniya molodykh uchenykh v razvitii sel'skokhozyaystvennoy nauki i APK: materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. Solenoe Zaymishche, 2019. Pp. 73–77. DOI: 10.26150/PAFNC.2019.45.557-2-019. (In Russian.)
13. Sovremennye metodologiya, instrumentariy otsenki i otbora selektsionnogo materiala sadovykh kul'tur i vinograda [Modern methodology, tools for the assessment and selection of breeding material for horticultural crops and grapes]: monograph / Edited by E. A. Egorov, G. V. Eremin, I. A. Ilyin, R. Sh. Zaremuk, E. V. Ulyanovskaya, V. S. Petrov. Krasnodar, 2017. 282 p. (In Russian.)
14. Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur [Program and methodology for the study of varieties of fruit, berry and nut crops]. Orel: VNIISP, 1999. 606 p. (In Russian.)
15. Bogdanov R. E., Yushkov A. N., Zemisev A. S., Borzykh N. V. Izuchenie zimostoykosti sortov slivy s ispol'zovaniem opticheskikh metodov [Study of winter hardiness of plum varieties using optical methods] // Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2017. T. 49. Pp. 52–55. (In Russian.)
16. Zaremuk R. Sh. Produktivnost' i ekologicheskaya plastichnost' slivy (*Prunus domestica*) v nestabil'nykh usloviyakh sredy [Productivity and ecological plasticity of plum (*Prunus domestica*) in unstable environmental conditions] // *Agricultural biology*. 2015. T. 50. No. 1. Pp. 85–91. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.1.85rus. (In Russian.)
17. Lukicheva L. A., Gorina V. M. Otsenka produktivnosti sortov slivy domashney (*Prunus domestica*) selektsii Nikitskogo botanicheskogo sada [Evaluation of productivity of varieties of domestic plum (*Prunus domestica*) bred by Nikitsky botanical garden] // *Bulletin of Michurinsky State Agrarian University*. 2018. No. 4. Pp. 81–85. (In Russian.)
18. Ashurbayeva M., Rasulova A., Abdullayev Sh. Khimicheskkiye sostavlyayushchiye slivy [Chemical components of plum] // *Sovremennye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk: materialy XXII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Moscow, 2015. Pp. 35–37. (In Russian.)
19. Poukh E. V., Shudlovskiy A. F. Ekonomicheskaya effektivnost' vyrashchivaniya slivy domashney sorta Viktoriya na semennykh i klonovykh podvoynakh [Economic efficiency of growing domestic plum variety Victoria on seed and clonal rootstocks] // *Plodovodstvo: sbornik nauchnykh trudov*. Samokhvalovich, Belarus, 2015. Pp. 93–100. (In Russian.)

Authors' information:

Andrey V. Solonkin¹, doctor of agricultural sciences, deputy director, ORCID 0000-0002-1576-7824, AuthorID 822657; +7 903 376-76-92, mishamax73@mail.ru

Vyacheslav P. Zvolinskiy², doctor of agricultural sciences, professor, academician of the Russian Academy of Sciences, scientific director, ORCID 0000-0002-6475-865X, AuthorID 159653; +7 929 572-47-22, vpzvol@mail.ru

Tatyana I. Aleksandrova², postgraduate, junior researcher of the laboratory of fruit and horticultural crops, ORCID 0000-0002-9257-6191, AuthorID 893633; +7 929 743-87-19, t.i.matveeva@mail.ru

¹ Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

² Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Solenoe Zaymishche, Russia

Реакция семян и эксплантов льна на осмотический стресс

Е. Г. Виноградова^{1✉}

¹ Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

✉ E-mail: egv.vinogradova@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования – получение экспериментальных данных для разработки методики получения форм льна-долгунца, устойчивых к стрессовым факторам (засухе) методами клеточной селекции. **Методы.** Работу проводили в Тверской области в лаборатории селекционных технологий в 2017–2019 гг. В качестве объектов исследований использовали сорта льна Barbara, Belinka, ЛМ-98, Светоч, Дипломат, Symfonia. Семена получены из Национальной коллекции льна Федерального научного центра лубяных культур. Влияние раствора сахарозы на длину первичного корешка выявляли при концентрациях 0, 8,7, 14,9 %. Для возможности оценки энергии прорастания семян в условиях осмотического стресса концентрация сахарозы была снижена и рассматривался диапазон от 0 (контроль) до 9 %. **Результаты.** Сахароза в качестве селективного агента в культуре незрелых зародышей льна *in vitro* в концентрации 5,0–7,0 % может быть селективным только для определенных генотипов, например, сорт Светоч. При культивировании каллусных тканей с использованием в качестве осмотика маннита в концентрациях 0; 30,0; 36,4; 37,0; 37,4; 38,0 мг/л отбор устойчивых каллусных клеток с последующим формированием в меристематических очагах адвентивных почек и побегов можно проводить на средах, содержащих 30,0 либо 36,4 мг/л осмотика. **Научная новизна** исследований заключается в том, что методика получения *in vitro* устойчивых эксплантов к осмотическому стрессу для льна разрабатывается впервые.

Ключевые слова: лен (*Linum usitatissimum* L.), сахароза, маннит, засухоустойчивость, семена, гипокотильные сегменты, незрелые зародыши.

Для цитирования: Виноградова Е. Г. Реакция семян и эксплантов льна на осмотический стресс // Аграрный вестник Урала. 2021. № 02 (205). С. 56–64. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-56-64.

Дата поступления статьи: 18.09.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

Лен-долгунец (*Linum usitatissimum* L.) – уникальная техническая культура, обеспечивающая сырьем многие отрасли промышленности. Выделяемые на льноводство в последние годы дотации привели к увеличению посевных площадей льна и расширению их географии.

В последние десятилетия с использованием традиционных методов селекции достигнуты положительные результаты в направлении создания сортов, обладающих высокой потенциальной продуктивностью [1, с. 1921], [2, с. 3], [3, с. 51]. Однако несовершенство и нарушение технологии возделывания, влияние неконтролируемых условий среды позволяют получать только 30–35 % урожайности от потенциала сорта [4, с. 254], [5, с. 42].

В последние годы засуху отмечают на значительных площадях, что может быть связано с изменением климата [6, с. 162]. И даже непродолжительные периоды нехватки влаги (14–21 дней) в совокупности с высокими температурами могут негативно сказываться на формировании урожайности. Для выведения устойчивых форм к засухе возможно использование методов *in vitro*, при условии моделирования трудности поступления жидкости в клетки культуры. Создание высокого осмотического потенциала в питательной среде возможно путем введения сахарозы, маннита, полиэтиленгликоля.

Первое сообщение о выделении клеточных линий табака, устойчивых к стрессу, индуцированному полиэтиленгликолем (ПЭГ), появилось в 1979 г. [7, с. 83]. Позже для селекции на засухоустойчивость Р. Брессан с соавторами использовали клеточные линии томата. Для получения адаптированных к водному стрессу клеточных линий также применялись среды, содержащие в качестве осмотика маннитол [8, с. 59], [9, с. 50]. Во всех системах при определенной концентрации осмотиков полученные клетки обладали повышенной выносливостью к засухе. Учеными России с использованием методов биотехнологии (гаплоидия, клеточная селекция) созданы засухоустойчивые формы и линии яровой мягкой пшеницы [10]. Во Франции создан консорциум, в рамках которого над созданием засухоустойчивых растений работают ученые из 17 стран. Китайскими учеными с использованием методов биотехнологии создано 46 засухоустойчивых линий пшеницы, из которых 4 рекомендованы производству. В Австралии также выведены засухоустойчивые формы пшеницы, обеспечивающие 20-процентную прибавку урожая при проявлении этого лимитирующего урожайность фактора [11]. В Аргентине создан сорт сои, несущий геном устойчивости к засухе [12, с. 18].

При разработке методов отбора на устойчивость к засухе в культуре *in vitro* можно использовать возможность

предварительного скрининга методом проращивания семян в концентрированных растворах осмотиков. На многих культурах была показана прямая корреляция между возможностью прорастания семян под воздействием осмотического стресса и засухоустойчивостью [13, с. 40], [14, с. 289].

В решении проблемы создания новых высокопродуктивных сортов льна устойчивых к стрессовым факторам среды использования биотехнологических методов перспективно.

Цель работы – получение экспериментальных данных по реакции семян и незрелых зародышей на осмотический стресс для разработки методики получения форм льна-долгунца устойчивых к стрессовым факторам (засухе) методами клеточной селекции.

Методология и методы исследования (Methods)

В качестве объектов исследований использовали сорта льна Barbara, Belinka и ЛМ-98, Aurore, Тверской, Светоч, Дипломат, Symfonia. Семена получены из Национальной коллекции льна Федерального научного центра лубяных культур. Лабораторные исследования проводили во Все-

российском научно-исследовательском институте льна (на сегодняшний день – обособленное подразделение г. Торжок ФГБНУ ФНИЦ ЛК) в лаборатории селекционных технологий в 2017–2019 гг.

Для создания осмотического стресса, моделирования засухи семена проращивали на растворах сахарозы в чашках Петри по 50 семян на фильтровальной бумаге в трехкратной повторности.

На первом этапе с целью моделирования водного стресса семена проращивали на растворах сахарозы в чашках Петри по 50 семян на фильтровальной бумаге в трехкратной повторности. Концентрация сахарозы составляла 0 (контроль), 8,7 % и 14,9 %. В ходе эксперимента оценивали способность семян формировать первичный корешок, а также его длину.

Растения-доноры для получения первичных эксплантов выращивались в сосудах Митчерлиха (50 растений на сосуд) в условиях вегетационного домика на территории Научного центра. Почва была завезена с поля предназначенного для посева льна. Уход за растениями заключался в поливе и подвязывании растений к колышкам.

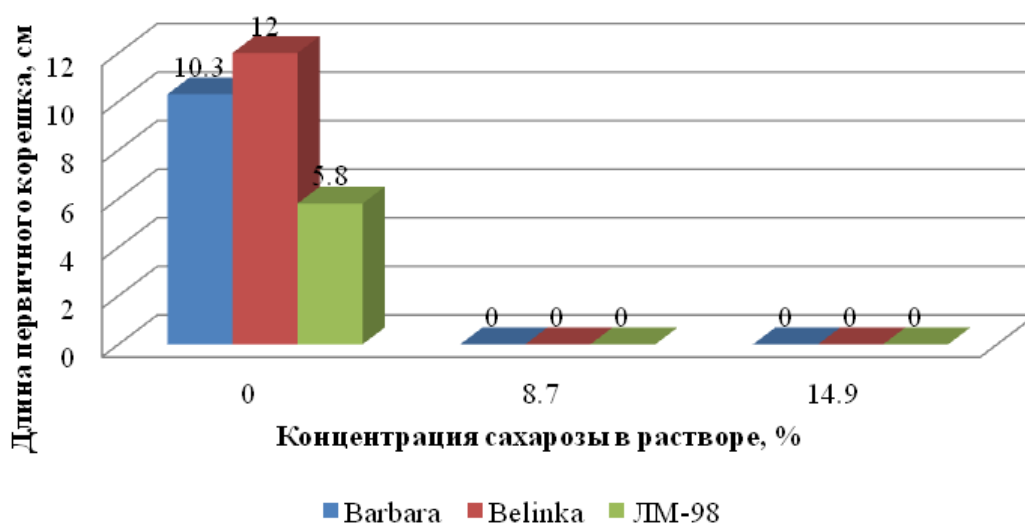


Рис. 1. Влияние сахарозы на длину первичного корешка льна (2-е сутки)

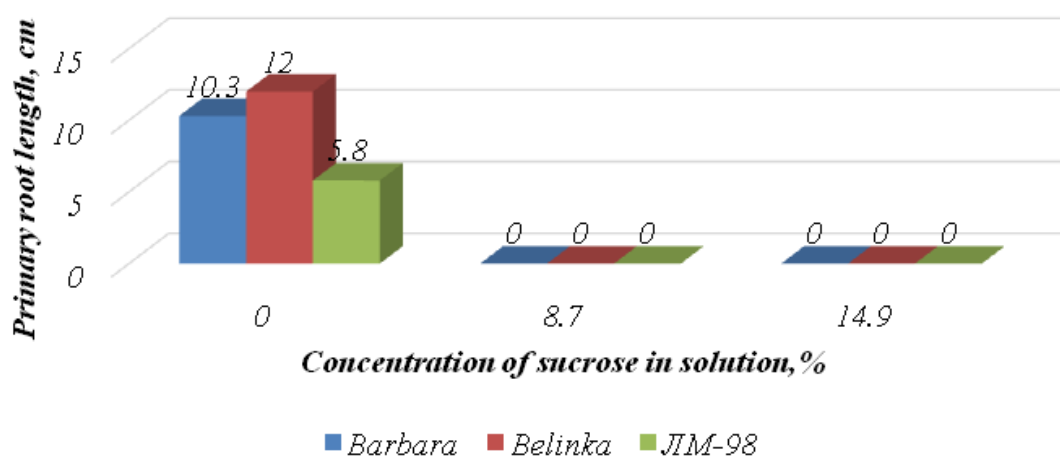


Fig. 1. Influence of sucrose on the length of the primary flax root (2nd day)

Незрелые зародыши изолировали из коробочек на 10-е сутки после цветения. Стерилизацию коробочек проводили в асептических условиях раствором этанола (70 % с экспозицией 1 мин.) и хлорамина «Б» (1 % – 2 мин.) [15, с. 25].

Экспланты культивировали на агаризованной среде MS, pH среды – 5,8, при температуре 24 ± 1 °C, освещенности 4000 люкс и фотопериоде: 16 часов – день и 8 часов – ночь. Концентрация сахарозы в средах для незрелых зародышей составляла 3, 7 и 9 %. Морфогенный каллус, полученный на основе незрелых зародышей, культивировали на средах, содержащих манит в концентрациях 0 (контроль); 30,0; 36,4; 37,0; 37,4; 38,0. Оценку устойчивости каллусов к селективному агенту проводили по количеству сформировавшихся побегов.

Математическую обработку полученных данных выполняли методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ «Биостат» и Excel.

Результаты (Results)

Для отбора устойчивых к осмотическому стрессу в культуре *in vitro* растений-регенерантов необходимо на первом этапе подобрать оптимальную концентрацию осмотика. Его действие должно быть достаточно селективным. Однако концентрация не должна быть сублетальной, поскольку в этом случае не удастся провести отбор устойчивых клеток.

В результате исследований выявлено, что при проращивании семян льна на растворах сахарозы в контрольном варианте уже на вторые сутки у всех генотипов льна наблюдали рост первичного корешка. Длина корешка составляла у сорта Barbara – 10,3 мм, у Belinka – 12 мм, у ЛМ-98 – 5,8 мм, в то время как в вариантах концентрации сахарозы 8,7 и 14,9 % рост корешков не был отмечен (рис. 1). На шестые сутки в контрольном варианте рост корешков несколько снизился у генотипов Barbara и Belinka.

У сорта ЛМ-98 наблюдали прирост корешка на 5,4 мм. Отмечен рост корешков в варианте сахарозы в концентрации 8,7 %. Так, у Barbara длина корешка на 6-е сутки составляла 0,01 мм, у Belinka – 0,2 мм, у ЛМ-98 – 0,01 мм. Полное ингибирование прорастания семян наблюдали в варианте концентрации сахарозы 14,9 % у всех генотипов (рис. 2). Поэтому дальнейший поиск селективных концентраций мы продолжили в диапазоне от 0 до 9 % с шагом в 1 %.

В результате анализа действия растворов сахарозы в указанных концентрациях было отмечено, что прорастание семян сортов Barbara и Belinka наблюдали во всех вариантах, кроме концентрации сахарозы 9 %, а у линии ЛМ-98 кроме вариантов 8 и 9 % (рис. 3). В зависимости от генотипа энергия прорастания колебалась во всех вариантах и составляла в контроле: от 60 % у сорта Belinka до 100 % у ЛМ-98, а, например, в варианте концентрации сахарозы 4 % от 80 % у Barbara до 90 % у двух других сортов. По-видимому, на энергию прорастания семян льна оказывали влияние и генотипические особенности сортов. Не было выявлено прямой корреляции между увеличением концентрации сахарозы и энергией прорастания семян изучаемых сортов. Так энергия прорастания семян у сорта Barbara при концентрациях 5, 6, 7 и 8 % составляла, соответственно 70, 80, 40, 30 %, и полное ингибирование при 9 % сахарозы. На энергию прорастания семян сорта ЛМ-98 увеличение концентрации сахарозы сказывалось незначительно – от 100 % в контроле до 80 % в варианте концентрации сахарозы 7 %, однако при концентрации 8 % и выше прорастания первичного корешка не наблюдали. Семена сорта Belinka прорастали во всех вариантах опыта.

Оценка жизнеспособности семян льна при проращивании их на растворах сахарозы показала, что рост и развитие первичного корешка льна наблюдали у сорта Belinka во всех вариантах, сорта Barbara – во всех вариантах, кроме концентрации сахарозы 9 %, у линии ЛМ-98 – кроме концентрации 8 и 9 % (таблица 1).

Таблица 1

Длина первичного корешка льна в зависимости от концентрации сахарозы при проращивании семян, мм

Концентрация сахарозы, %	Длина первичного корешка, мм		
	Barbara	Belinka	ЛМ-98
0 (контроль)	20	41,7	21
4	6,4	40,2	12,1
5	6,5	18,8	41,8
6	7,6	4,4	23
7	1	5,1	19,9
8	1	2	0
9	0	1,5	0

Table 1

Length of the primary flax root depending on the concentration of sucrose during seed germination, mm

Sucrose concentration, %	Primary root length, mm		
	Barbara	Belinka	LM-98
0 (control)	20	41.7	21
4	6.4	40.2	12.1
5	6.5	18.8	41.8
6	7.6	4.4	23
7	1	5.1	19.9
8	1	2	0
9	0	1.5	0

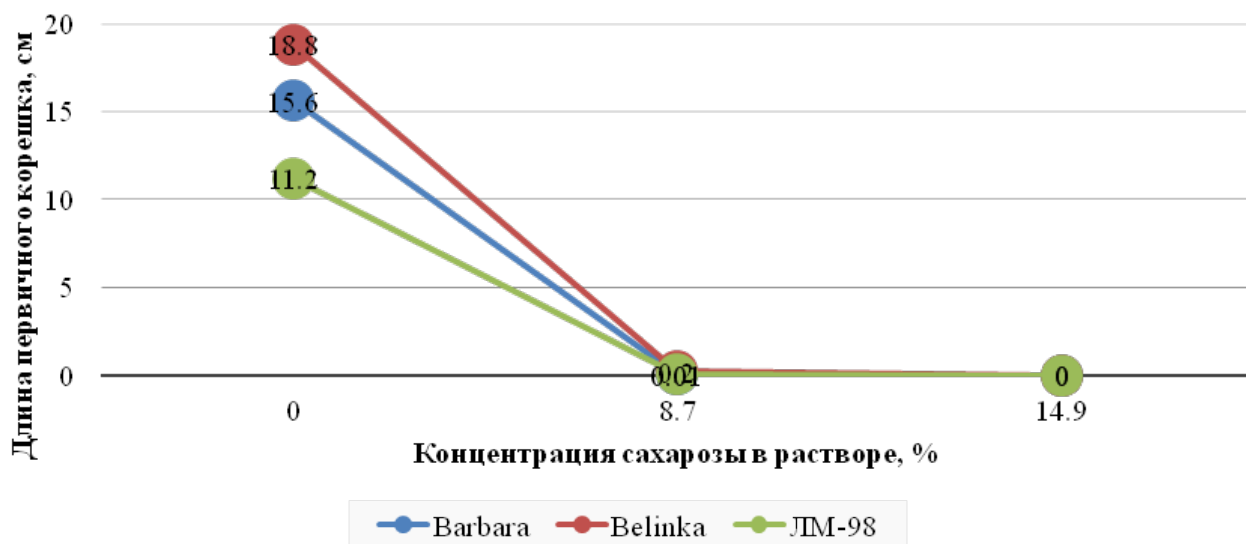
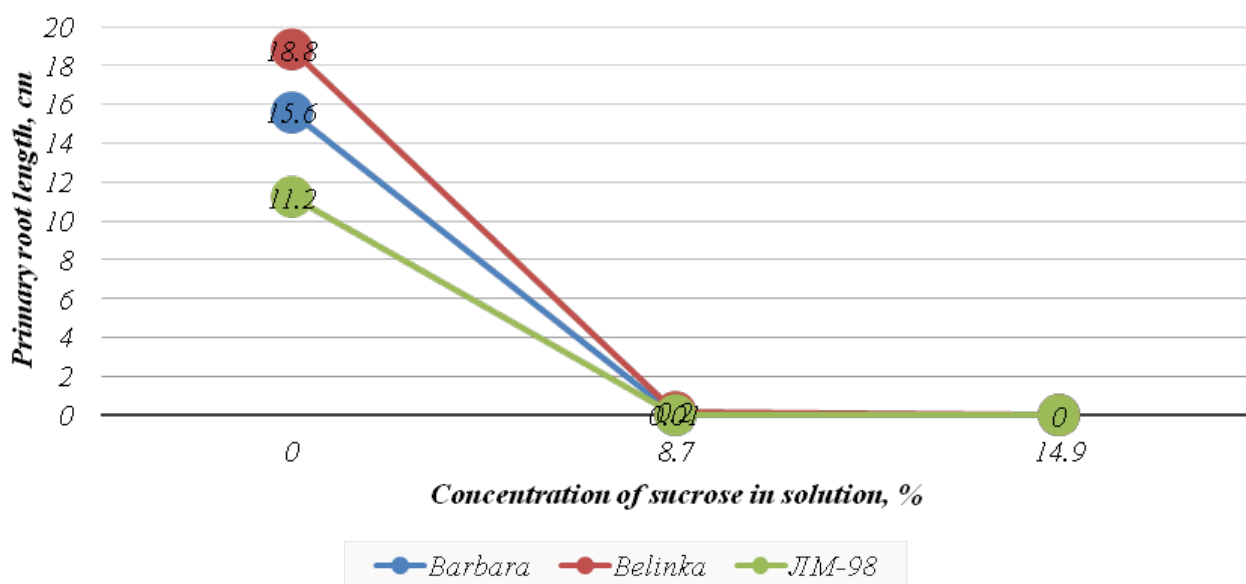


Рис. 2. Влияние сахарозы на длину первичного корешка (6-е сутки)

Fig. 2. Influence of sucrose on the length of the primary root (6th day)

Наибольшая длина первичного корешка отмечена в контроле у всех сортов: у сорта Barbara – 20,0 мм, у сорта Belinka – 41,7 мм, у ЛМ-98 – 21,0 мм. С увеличением концентрации сахарозы в растворе для проращивания семян отмечено снижение длины первичного корешка у всех генотипов. В то же время отмечено некоторое увеличение по сравнению с вариантами с меньшим содержанием сахарозы в растворе 16,9 %, длины корешка в варианте 6,0 % сахарозы у сорта Barbara, в варианте 7,0 % сахарозы у сорта Belinka, в варианте 5,0 % сахарозы у линии ЛМ-98. По полученным данным наиболее подходящими для исследований мы определили варианты 5,0, 6,0, 7,0 % сахарозы в растворе для проращивания.

Реакции клеток *in vivo* и *in vitro* на стрессовые факторы, как правило, похожи, поэтому для культивирования незрелых зародышей мы выбрали концентрации 7 % и 9 % сахарозы, для возможности отбора устойчивых эксплантов, клеток. В качестве контрольного варианта использовали питательные среды содержащих 3,0 % – оптимальные для роста и развития клеток льна-долгунца.

В контроле у всех незрелых зародышей наблюдали увеличение размера семядолей в несколько раз по сравнению с исходным. У некоторых эксплантов начинала развиваться апикальная почка. Каллус получен на эксплантах всех сортов, однако активность формирования была различной и изменялась от 43,8 % у сорта Светоч до 89,9 % у сорта Symfonia (таблица 2). Каллус характеризовался плотной консистенцией, зеленым цветом, с очагами новообразований.

Были выявлены и сортовые отличия. Так, сорт Светоч отличался пониженной способностью формировать каллус как в контроле (3 % сахарозы), так и в вариантах с более высокими концентрациями: от 43,8 % в контроле до 2,4 % в варианте с содержанием 9 % сахарозы. Частота формирования каллусных клеток у сортов Дипломат и Symfonia составила в контрольном варианте 87 % и 92 % соответственно.

Таблица 2
Каллусогенез незрелых зародышей льна на селективных средах в культуре *in vitro*
(сформировано морфогенных каллусов, % $\pm$ Sp)

Концентрация сахарозы, %	Сформировано морфогенных каллусов, $X \pm Sp$, %		
	Светоч	Дипломат	Symfonia
3,0 (контроль)	43,8 $\pm$ 2,1	78,4 $\pm$ 3,3	89,9 $\pm$ 5,5
7	18,5 $\pm$ 3,5	56,0 $\pm$ 3,8	61,0 $\pm$ 4,6
9	2,4 $\pm$ 0,8	38,4 $\pm$ 3,4	39,8 $\pm$ 3,8

Table 2
Callusogenesis of immature flax embryos on selective media in *in vitro* culture (morphogenic calli formed, % $\pm$ Sp)

Concentration of sucrose, %	Formed morphogenic calli, $X \pm Sp$, %		
	Svetoch	Diplomat	Symfonia
3.0 (control)	43.8 $\pm$ 2.1	78.4 $\pm$ 3.3	89.9 $\pm$ 5.5
7	18.5 $\pm$ 3.5	56.0 $\pm$ 3.8	61.0 $\pm$ 4.6
9	2.4 $\pm$ 0.8	38.4 $\pm$ 3.4	39.8 $\pm$ 3.8

Таблица 3
Морфогенетическая активность каллусов льна, полученных на основе незрелых зародышей,
в культуре *in vitro*

Концентрация раствора сахарозы, %	Количество побегов, сформированных в меристематических очагах, шт/каллус, $\pm Sp$		
	Светоч	Дипломат	Symfonia
3,0 (контроль)	2,0 $\pm$ 0,4	1,6 $\pm$ 0,2	1,1 $\pm$ 0,2
7	–	0,16 $\pm$ 0,02	0,29 $\pm$ 0,07
9	0,1 $\pm$ 0,1	1,1 $\pm$ 0,4	0,8 $\pm$ 0,4

Table 3
Morphogenetic activity of flax calli obtained from immature embryos in *in vitro* culture

Concentration of sucrose solution, %	Number of shoots formed in meristematic foci, pcs/callus, $\pm Sp$		
	Svetoch	Diplomat	Symfonia
3.0 (control)	2.0 $\pm$ 0.4	1.6 $\pm$ 0.2	1.1 $\pm$ 0.2
7	–	0.16 $\pm$ 0.02	0.29 $\pm$ 0.07
9	0.1 $\pm$ 0.1	1.1 $\pm$ 0.4	0.8 $\pm$ 0.4

Таблица 4
Морфогенетическая активность эксплантов льна на среде МС,
содержащей различные концентрации маннита

Концентрация маннита, мг/л	Сформировано морфогенных каллусов, % $\pm Sp$		
	Светоч	Дипломат	Symfonia
0	53,4 $\pm$ 3,5	77,5 $\pm$ 6,3	82,8 $\pm$ 5,2
30	45,3 $\pm$ 2,2	69,0 $\pm$ 5,5	82,0 $\pm$ 8,3
36,4	27,7 $\pm$ 6,1	35,8 $\pm$ 2,3	42,2 $\pm$ 8,4
37	20,0 $\pm$ 5,2	23,9 $\pm$ 2,2	15,5 $\pm$ 6,9
37,4	6,2 $\pm$ 1,1	17,7 $\pm$ 2,0	3,0 $\pm$ 1,9
38	10,5 $\pm$ 3,1	0	1,9 $\pm$ 0,6

Table 4
Morphogenetic activity of flax explants on MS medium containing various concentrations of mannitol

Mannitol concentration, mg/L	Morphogenic calli formed, % $\pm Sp$		
	Svetoch	Diplomat	Symfonia
0	53.4 $\pm$ 3.5	77.5 $\pm$ 6.3	82.8 $\pm$ 5.2
30	45.3 $\pm$ 2.2	69.0 $\pm$ 5.5	82.0 $\pm$ 8.3
36.4	27.7 $\pm$ 6.1	35.8 $\pm$ 2.3	42.2 $\pm$ 8.4
37	20.0 $\pm$ 5.2	23.9 $\pm$ 2.2	15.5 $\pm$ 6.9
37.4	6.2 $\pm$ 1.1	17.7 $\pm$ 2.0	3.0 $\pm$ 1.9
38	10.5 $\pm$ 3.1	0	1.9 $\pm$ 0.6

Побегообразовательная способность эксплантов льна в культуре *in vitro*

Концентрация маннита, мг/л	Сформировано морфогенных каллусов, % $\pm$ Sp		
	Светоч	Дипломат	Symfonia
0	3,8 $\pm$ 1,1	0,68 $\pm$ 0,02	1,5 $\pm$ 0,3
30	1,0 $\pm$ 0,4	0,8 $\pm$ 0,2	1,1 $\pm$ 0,5
36,4	1,2 $\pm$ 0,6	0,63 $\pm$ 0,2	1,0 $\pm$ 0,2
37	0	0	0
37,4	0	0	0
38	0	0	0

Table 5

Shoot-forming ability of flax explants in *in vitro* culture

Mannitol concentration, mg/L	Morphogenic calli formed, % $\pm$ Sp		
	Svetoch	Diplomat	Symfonia
0	3.8 $\pm$ 1.1	0.68 $\pm$ 0.02	1.5 $\pm$ 0.3
30	1.0 $\pm$ 0.4	0.8 $\pm$ 0.2	1.1 $\pm$ 0.5
36.4	1.2 $\pm$ 0.6	0.63 $\pm$ 0.2	1.0 $\pm$ 0.2
37	0	0	0
37.4	0	0	0
38	0	0	0

Для сорта Дипломат не было отмечено ингибирования морфогенеза ни в одном варианте. Хорошо растущий, зеленый, морфогенный каллус был получен во всех вариантах. Частота его формирования составила для незрелых зародышей сорта Дипломат в контрольном варианте 78,4 %, а в вариантах, содержащих повышенные концентрации селективного агента (7,0 и 9,0 %), – 56,0 и 38,4 % соответственно. Экспланты сорта Symfonia отличались наименьшей реакцией на увеличение селективной нагрузки. Можно предположить, что для этих сортов порог осмотического стресса находится в более высоком диапазоне концентраций сахарозы.

Для получения комплектных растений-регенерантов очень важно при культивировании каллусов получить почки и побеги.

Морфогенетическая активность у каллусов, полученных на основе незрелых зародышей, разных сортов была различной. Наименьшее количество почек и побегов было получено у эксплантов сорта Светоч (таблица 3). На каллусах сортов Дипломат и Symfonia во всех вариантах получены побеги, их количество изменялось от 1,6 шт/каллус в контрольном варианте у сорта Дипломат до 1,1 шт/каллус в варианте с максимальной концентрацией сахарозы у сорта Symfonia.

По полученным данным можно предположить, что экспланты сортов Дипломат и Symfonia обладают большей устойчивостью к осмотическому стрессу по сравнению с реакцией эксплантов сорта Светоч.

Представляет интерес применение других селективных агентов для получения устойчивых к водному стрессу эксплантов льна. В связи с этим в качестве осмотика мы решили включить в исследование маннит. Исследования, проведенные на других культурах [6, 9], выявили оптимальную концентрацию маннита в питательной среде – 36,4 мг/л. Мы расширили диапазон концентраций маннита и провели культивирование каллусных тканей на селективных средах, содержащих этот осмотик в концентрациях 0; 30,0; 36,4; 37,0; 37,4; 38,0 мг/л.

В результате было выявлено, что морфогенный каллус был сформирован практически во всех вариантах у всех генотипов, за исключением эксплантов сорта Дипломат. У него в варианте 38,0 мг/л маннита каллус не был получен (таблица 4). В вариантах 0 (контроль), 30,0 и 36,4 мг/л маннита наблюдали образование зеленого плотного каллуса с ярко выраженными меристематическими очагами, однако их количество стабильно снижалось (по сравнению с контрольными вариантами).

Так, у сорта Светоч в контроле было сформировано 53,4 % морфогенных каллусов, а в варианте 36,4 мг/л маннита – 27,7 % морфогенных каллусов. Дальнейшее снижение морфогенетической активности происходило волнообразно. В вариантах 37,0, 37,4 и 38,0 мг/л маннита наряду с зеленым морфогенным каллусом наблюдали формирование желтого водянистого каллуса без визуально просматривающихся меристематических очагов. Такую же картину наблюдали в этих вариантах у сортов Дипломат и Symfonia. У сортов Дипломат и Symfonia отмечено стабильное снижение морфогенетической активности каллусных клеток по сравнению с контрольным вариантом. У сорта Дипломат количество сформированных морфогенных каллусов снизилось от 77,5 % (в контроле) до 17,7 % (вариант 37,4 мг/л маннита). У сорта Symfonia снижение количества морфогенных каллусов было отмечено с варианта 36,4 мг/л маннита от 82,0 % до 1,9 % (вариант 38,0 мг/л маннита).

Анализируя способность генотипов на селективном фоне с маннитом формировать почки и побеги, было выявлено, что побеги в меристематических очагах формировались только в трех вариантах: контрольном, 30,0 и 36,4 мг/л маннита. Количество сформированных побегов снижалось с возрастанием концентрации маннита в среде (таблица 5).

Так, у сорта Светоч в контрольном варианте было сформировано 3,8 побегов на каллус, а в варианте 36,4 мг/л маннита – только 1,2 шт/каллус.

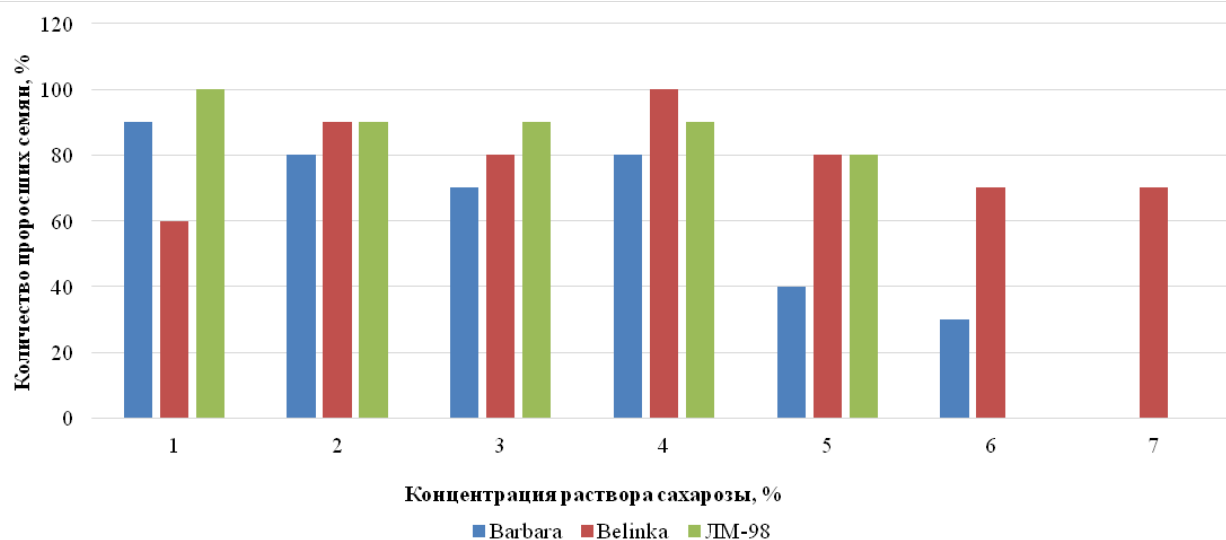


Рис. 3. Влияние сахарозы на энергию прорастания семян льна

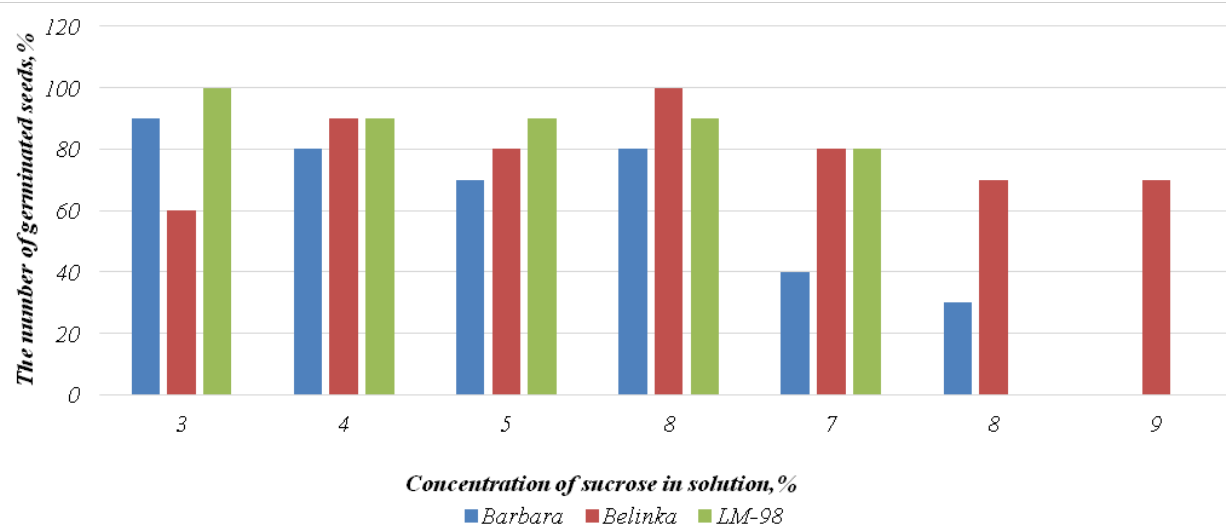


Fig. 3. Influence of sucrose on the germination energy of flax seeds

У сорта Дипломат побегообразовательная способность была самая низкая и составила в контрольном варианте 0,68 побегов на каллус, в варианте 30,0 мг/л маннита – 0,8 шт/каллус; в варианте 36,4 мг/л маннита – 0,63 шт/каллус.

У сорта Symfonia в контрольном варианте было сформировано 1,5 шт/каллус, в варианте 30,0 мг/л маннита – 1,1 шт/каллус; в варианте 36,4 мг/л маннита – 1,0 шт/каллус.

Результаты исследований показали, что отбор устойчивых к манниту каллусных клеток с последующим формированием в меристематических очагах адвентивных почек и побегов можно проводить на средах, содержащих 30,0 либо 36,4 мг/л осмотика.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По результатам исследований получены экспериментальные данные о воздействии осмотиков (сахароза, маннит) на развитие семян, гипокотилей и каллуса льна, выявлены генотипические различия изучаемых сортов.

При подборе оптимальных концентраций сахарозы для определения ее влияния на энергию роста и развитие корешков семян льна, выявлены наиболее оптимальные – 5,0, 6,0 и 7,0 %. В этих вариантах проросло 10–80 % семян у сорта Belinka, 80–100 % семян у сорта Barbara, 80–90 % семян у линии ЛМ-98.

Отбор устойчивых к манниту каллусных клеток с последующим формированием в меристематических очагах адвентивных почек и побегов можно проводить на средах, содержащих 30,0 либо 36,4 мг/л осмотика.

Библиографический список

1. Dmitriev A. A., Krasnov G. S., Rozhmina T. A., et al. Glutathione S-transferases and UDP-glycosyltransferases Are Involved in Response to Aluminum Stress in Flax // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. Article number 1920. DOI: 10.3389/fpls.2016.01920.
2. Dmitriev A. A., Kudryavtseva A. V., Bolsheva N. L., et al. MIR319, MIR390, and MIR393 are involved in aluminum response in flax (*Linum usitatissimum* M. L.) // *Bio Med Research International*. 2017. Vol. 2017. Article number 4975146. DOI: 10.1155/2017/4975146.

3. Понажев В. П. Влияние методов отбора растений на эффективность создания оригинальных семян льна-долгунца в первичном семеноводстве // Аграрный вестник Верхневолжья. 2020. № 2 (31). С. 51–56.
4. Dmitriev A. A., Krasnov G. S., Rozhmina T. A., et al. Differential gene expression in response to *Fusarium oxysporum* infection in resistant and susceptible of flax (*Linum usitatissimum* L.) // BMC Plant Biologi. 2017. No. 17. Supp. 2. Article number 253. DOI: 10.1186/s12870-017-1192-2.
5. Пролетова Н. В. Селективная система in vitro «ГРИБ *COLLETOTRICHUM LINI* – ЛЁН» – эффективный способ создания генотипов, устойчивых к антракнозу // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2019. Т. 2. С. 42–50.
6. Тищенко В. А., Козельцева В. Ф., Кузнецова Н. Н. Повторяемость засушливых периодов в Москве в теплое полугодие // Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2016. № 359. С. 161–177.
7. Бугара И. А., Юнусова Э. А. Клеточная селекция каллусных культур *Glycine max* на устойчивость к осмотическому стрессу // Экосистемы. № 8 (38). 2016. С. 83–87.
8. Сельдимирова О. А. Тестирование селективных агентов для оценки яровой мягкой пшеницы на устойчивость к засухе // Экобиотех. 2019. Т. 2. № 1. С. 51–62.
9. Пакуль В. Н., Плиско Л. Г. Засухоустойчивость сортов яровой мягкой пшеницы // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 12 (78). Ч. 2. С. 49–52.
10. В Австралии начнут испытывать устойчивую к засухе пшеницу [Электронный ресурс] // Крестьянские ведомости. Газета агробизнеса. URL: <https://kvedomosti.ru/news/43819.html> (дата обращения: 25.08.2020).
11. Rueda D. G. Récord para la historia: tras 20 años, la producción de maíz superó a la de soja [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lanueva.com/nota/2020-8-11-6-30-53-record-para-la-historia-tras-20-anos-la-produccion-de-maiz-supero-a-la-de-soja> (дата обращения: 25.08.2020).
12. Манукян И. Р., Басиева М. А., Мирошникова Е. С., Абиев В. Б. Оценка адаптивности генотипов озимой пшеницы к засушливым условиям предгорной зоны центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2019. № 5 (184). С. 17–22.
13. Кокина Л. П., Щенникова И. Н., Зайцева И. П. Оценка коллекционных образцов ячменя на устойчивость к осмотическому стрессу // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Том 66. № 5. С. 40–44.
14. Виноградова Е. Г. К разработке методики клеточной селекции получения устойчивых эксплантов льна к абиотическим факторам среды // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2019. № 2 (54). С. 289–296.
15. Пролетова Н. В. Использование биотехнологических методов для создания новых генотипов льна, устойчивых к антракнозу // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 8. С. 24–28.

Об авторах:

Елена Григорьевна Виноградова¹, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0002-0209-1626, AuthorID 317437; +7 (48251) 9-18-44, +7 904 007-32-68, egv.vinogradova@yandex.ru

¹ Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

Reaction of flax seeds and explants to osmotic stress

E. G. Vinogradova¹✉

¹ Federal Scientific Center of Bast Crops, Tver, Russia

✉E-mail: egv.vinogradova@yandex.ru

Abstract. Purpose. Obtaining experimental data for the development of methods for obtaining fiber flax forms resistant to stress factors (drought) by cell selection methods. **Methods.** The work was carried out in the Tver region in the laboratory of breeding technologies in 2017–2019. The flax varieties Varbara, Belinka, LM-98, Svetoch, Diplomat, Symfonia were used as objects of research. The seeds were obtained from the National Flax Collection Federal state budgetary scientific institution “Federal scientific center of lubyak kultur”. The effect of sucrose solution on the length of the primary root was detected at concentrations of 0, 8.7, 14.9 %. To assess the energy of seed germination under osmotic stress, the concentration of sucrose was reduced and the range from 0 (control) to 9 % was considered. **Results.** Sucrose as a selective agent in the culture of immature flax embryos in vitro at a concentration of 5.0–7.0 % can be selective only for certain genotypes, for example, the Svetoch variety. When culturing callus tissues, using mannitol as an osmotic at concentrations of 0; 30.0; 36.4; 37.0; 37.4; 38.0 mg/l, selection of resistant callus cells with subsequent formation in meristematic foci of adventive buds and shoots can be carried out on media containing 30.0 or 36.4 mg/l osmotic. **The scientific novelty** of the research lies in the fact that the method for obtaining in vitro resistant explants to osmotic stress for flax is being developed for the first time.

Keywords: flax (*Linum usitatissimum* L.), sucrose, mannitol, drought resistance, seeds, hypocotyl segments, immature embryos.

For citation: Vinogradova E. G. Reaktsiya semyan i eksplantov l'na na osmoticheskiy stress [Reaction of flax seeds and explants to osmotic stress] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 02 (205). Pp. 56–64. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-56-64. (In Russian.)

Paper submitted: 18.09.2020.

References

1. Dmitriev A. A., Krasnov G. S., Rozhmina T. A., et al. Glutathione S-transferases and UDP-glycosyltransferases Are Involved in Response to Aluminum Stress in Flax // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. Article number 1920. DOI: 10.3389/fpls.2016.01920.
2. Dmitriev A. A., Kudryavtseva A. V., Bolsheva N. L., et al. MIR319, MIR390, and MIR393 are involved in aluminum response in flax (*Linum usitatissimum* M. L.) // *Bio Med Research International*. 2017. Vol. 2017. Article number 4975146. DOI: 10.1155/2017/4975146.
3. Ponazhev V. P. Vliyaniye metodov otbora rasteniy na effektivnost' sozdaniya original'nykh semyan l'na-dolgutsa v pervichnom semenovodstve [The influence of methods of creating original fiber flax seeds on their yield and quality] // *Agrarnyy vestnik Verkhnevolzh'ya*. 2020. No. 2 (31). Pp. 51–56. (In Russian.)
4. Dmitriev A. A., Krasnov G. S., Rozhmina T. A., et al. Differential gene expression in response to *Fusarium oxysporum* infection in resistant and susceptible of flax (*Linum usitatissimum* L.) // *BMC Plant Biology*. 2017. No. 17. Supp. 2. Article number 253. DOI: 10.1186/s12870-017-1192-2.
5. Proletova N. V. Selektivnaya sistema in vitro "GRIB COLLETOTRICHUM LINI – LEN" – effektivnyy sposob sozdaniya genotipov, ustoychivyykh k antraknozu [Selective system in vitro "FUNGI COLLETOTRICHUM LINI – LINEN" as an efficient way to find out genotypes resistant to the pod spot] // *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2019. T. 2. Pp. 42–50. (In Russian.)
6. Tishchenko V. A., Kozel'tseva V. F., Kuznetsova N. N. Povtoryaemost' zasushlivyykh periodov v Moskve v teploe polugodie [Repeatability of periods of aridity in moscow during the warm half of the year] // *Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation*. 2016.No. 359. Pp. 161–177. (In Russian.)
7. Bugara I. A., Yunusova E. A. Kletochnaya selektsiya kallusnykh kul'tur *Glycine max* na ustoychivost' k osmoticheskomu stress [Cell selection of callus cultures *glycine max* for resistance to osmotic stress] // *Ekosistemy*. 2016. No. 8 (38). Pp. 83–87.
8. Sel'dimirova O. A. Testirovaniye selektivnykh agentov dlya otsenki yarovoy myagkoy pshenitsy na ustoychivost' k zasukhe [Testing of selective agents for evaluation of spring soft wheat for drought resistance] // *Ekobiotech*. 2019. T. 2. No. 1. Pp. 51–62. (In Russian.)
9. Pakul' V. N., Plisko L. G. Zasukhoustoychivost' sortov yarovoy myagkoy pshenitsy [Drought-resistance of varieties of spring soft wheat] // *International Research Journal*. 2018. No. 12 (78). Ch. 2. Pp. 49–52. (In Russian.)
10. V Avstralii nachnut ispytyvat' ustoychivuyu k zasukhe pshenitsu [Australia will start testing drought-resistant wheat] [e-resource] // *Krest'yanskije vedomosti. Gazeta agrobiznesa*. URL: <https://kvedomosti.ru/news/43819.html> (date of reference: 25.08.2020). (In Russian.)
11. Rueda G. D. Récord para la historia: tras 20 años, la producción de maíz superó a la de soja [e-resource]. URL: <https://www.lanueva.com/nota/2020-8-11-6-30-53-record-para-la-historia-tras-20-anos-la-produccion-de-maiz-supero-a-la-de-soja> (date of reference: 25.08.2020).
12. Manukyan I. R., Basieva M. A., Miroshnikova E. S., Abiev V. B. Otsenka adaptivnosti genotipov ozimoy pshenitsy k zasushlivym usloviyam predgornoy zony tsentral'nogo Kavkaza [Assessment of ecological plasticity of winter wheat varieties in the conditions of a foothill zone of the central Caucasus] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019. No. 5 (184). Pp. 17–22. (In Russian.)
13. Kokina L. P., Shchennikova I. N., Zaytseva I. P. Otsenka kollektsionnykh obraztsov yachmenya na ustoychivost' k osmoticheskomu stressu [Estimation of barley collection samples on resistance to osmotic stress] // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2018. T. 66. No. 5. Pp. 40–44. (In Russian.)
14. Vinogradova E. G. K razrabotke metodiki kletochnoy selektsii polucheniya ustoychivyykh eksplantov l'na k abioticheskim faktoram sredy [To the development of a method of cell selection for obtaining flax explants stable to abiotic factors of the environment] // *Bulletin of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2019. No. 2 (54). Pp. 289–296. (In Russian.)
15. Proletova N. V. Ispol'zovaniye biotekhnologicheskikh metodov dlya sozdaniya novykh genotipov l'na, ustoychivyykh k antraknozu [Use of biotechnological methods for the development of new flax genotypes resistant to anthracnose] // *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019. T. 33. No. 8. Pp. 24–28. (In Russian.)

Authors' information:

Elena G. Vinogradova¹, candidate of biological sciences, senior researcher, leading researcher, ORCID 0000-0002-0209-1626, AuthorID 317437; +7 (48251) 9-18-44, +7 904 007-32-68, egv.vinogradova@yandex.ru

¹ Federal Scientific Center of Bast Crops, Tver, Russia

Показатели мясной продуктивности свиней пород ландрас и йоркшир в зависимости от генотипов по генам *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4*

Ю. С. Казутова¹, А. А. Бальников^{1✉}, И. Ф. Гридюшко¹

¹ Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, Жодино, Республика Беларусь

✉ E-mail: lab.breed.selec.pig@yandex.by

Аннотация. Потребность в эффективном ДНК-маркировании продуктивных качеств животных возрастает с каждым годом, поскольку использование ДНК-маркеров в селекции позволяет повысить продуктивность животных до 20 %. Это обуславливает **актуальность** научных исследований в данной области. **Цель исследования** – изучение показатели мясной продуктивности свиней пород ландрас и йоркшир в зависимости от генотипов по генам *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4*. Объектом исследований являлись популяции чистопородного племенного молодняка свиней пород йоркшир и ландрас, разводимые в ГП «ЖодиноАгроПлемЭлита» Минской области. **Методы.** Анализ ДНК проводили в лаборатории генетики животных ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси». В исследованиях использовались зоотехнические и молекулярно-генетические методы (ПЦР-ПДРФ). **Результаты.** Установлено, что у тестируемых пород животных частота встречаемости предпочтительного аллеля А гена *MYF4* составляла 0,126–0,298, А-*MC4R* – 0,184–0,345, С-*MYOD1* – 1,0–0,532 соответственно. Разработанная в процессе исследований комплексная система оценки племенной ценности свиней пород йоркшир и ландрас по генам-маркерам *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4* позволила выявить предпочтительные аллели и найти связь с показателями продуктивности, которые обеспечили повышение среднепопуляционных значений: по собственной продуктивности – на 2–4 %, по откормочным качествам – на 2,7–12,5 %, по мясным качествам – на 2,8–34,4 %. **Новизна** состоит в том, что в своем исследовании мы предлагаем более дешевый метод выявления генетических полиморфизмов, ассоциированных с хозяйственно-полезными признаками свиней с помощью ДНК-технологии мультилокусного генотипирования в мультиплексных реакциях, в сравнении с геномным анализом, проводимым с использованием чипов (матриц) с 50–60 тысячами SNP.

Ключевые слова: молодняк, порода свиней йоркшир и ландрас, селекция, откормочные и мясные качества, ДНК-тестирование, полиморфизм, аллель, гены-маркеры *MYF4*, *MC4R* и *MYOD1*.

Для цитирования: Казутова Ю. С., Бальников А. А., Гридюшко И. Ф. Показатели мясной продуктивности свиней пород ландрас и йоркшир в зависимости от генотипов по генам *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4* // Аграрный вестник Урала. 2021. № 02 (205). С. 65–71. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-65-71.

Дата поступления статьи: 13.01.2021.

Постановка проблемы (Introduction)

Интеграция традиционных методов селекции и современных молекулярно-генетических методов с их внедрением в свиноводство позволяет проводить оценку животных не только по фенотипическим признакам, но и по генотипу. Поэтому выявление генов, ассоциированных с признаками продуктивности у свиньи домашней, в том числе и генных сочетаний, ассоциированных с повышенной вероятностью развития у животных желательного фенотипа по комплексу хозяйственно-ценных признаков, является одной из важных задач свиноводства. Выявление и использование генетических маркеров (полиморфизмов) является актуальным и перспективным направлением, однако требует дифференцированного подхода в зависимости от породной принадлежности, генетической структуры популяции, конкретной селекционной задачи. В связи с этим необходим молекулярно-генетический

скрининг животных различных пород свиней по локусам, определяющим селекционно-значимые признаки, для мониторинга и оценки генофонда популяций. В большинстве зарубежных стран с развитым животноводством действуют широкомасштабные научные программы по разработке и использованию молекулярно-генетических методов и ДНК-технологии в селекционном процессе. Выявлены полиморфные варианты генов, которые используются в селекционных программах разведения свиней, и их комплексное влияние на продуктивные признаки свиней. Применение этих ДНК-маркеров позволяет улучшать продуктивные показатели животных.

Потребность селекционной практики в эффективном ДНК-маркировании продуктивных качеств животных возрастает с каждым годом, что обуславливает актуальность научных исследований в данной области. Результаты ряда исследований свидетельствуют, что использование ДНК-

маркеров в селекции позволяет повысить продуктивность животных до 20%. В Республике Беларусь подобные работы находятся на начальном этапе.

Геном свиньи был расшифрован в 2009 г. Разработан SNP-чип, позволяющий выявлять 60 000 полиморфизмов (возможных генетических маркеров) свиньи домашней. Образец ДНК свиньи можно тестировать на наличие или отсутствие практически всех важных точечных мутаций, определяющих продуктивные признаки. Таким образом, отбор лучших животных может быть основан на генетических маркерах без измерения фенотипических показателей. Эти достижения привели к внедрению новой технологии – геномной селекции.

Геномная селекция – это тестирование генома сразу по большому количеству маркеров, покрывающих весь геном, так что локусы количественных признаков (QTL) находятся в неравновесном сцеплении хотя бы с одним маркером. В геномной селекции сканирование генома происходит с использованием чипов (матриц) с 50–60 тысячами SNP, которые маркируют основные гены количественных признаков, для выявления однонуклеотидных полиморфизмов вдоль генома животного, определения генотипов с желательным проявлением совокупности продуктивных признаков и оценки племенной ценности животного. Однако такой геномный анализ очень дорогой, в лучшем случае он может быть применен в нашей республике только для создания референтных популяций крупного рогатого скота и свиней. В своем исследовании мы предлагаем более дешевый метод выявления генетических полиморфизмов, ассоциированных с хозяйственно-полезными признаками свиней, с помощью ДНК-технологии мультилокусного генотипирования в мультиплексных реакциях.

Целью исследования явилось изучение показателя мясной продуктивности свиней пород йоркшир и ландрас в зависимости от генотипов по генам *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4*.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились в 2019–2020 гг. в ГП «ЖодиноАгроПлемЭлита» Минской области. Объектом исследований являлись популяции чистопородного племенного молодняка свиней пород йоркшир и ландрас. В процессе выполнения научно-исследовательской работы проводился контрольный откорм 200 голов свиней данных пород согласно ОСТ-10 3-86 «Свиньи: Метод контрольного откорма» и оценка откормочных и мясных качеств по следующим показателям: возрасту достижения живой массы 100 кг (дней), среднесуточному приросту (г), расходу корма на 1 кг прироста (к. ед.). Также определяли: длину туши (см), убойный выход (%), толщину шпика над 6–7-м грудными позвонками (мм), площадь «мышечного глазка» (см²), массу задней трети полутуши (кг), выход мяса в туше (%). Затем сопоставляли генетические исследования с показателями продуктивности. Анализ ДНК проводили в лаборатории генетики животных ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси» (г. Минск). У исследуемых животных брали биопробы ткани уха, из которых выделена ДНК методом ПЦР-ПДРФ для выявления генотипов животных по следующим генам: миогенного фактора роста (*MYF4*, *rs342220685*), меланокортинового рецептора 4 (*MC4R*, *rs81219178*), миогенного регулятора роста (*MYOD1*, *rs55619453*). Биометрическая обработка материалов исследований проводилась методами вариационной статистики по Е. К. Меркурьевой на персональном компьютере с использованием пакета программы Microsoft Excel.

Таблица 1
Панель маркерных генов *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4* по породам ландрас и йоркшир

Ген-маркер	Порода	Частота встречаемости генотипов, %						Частота аллелей, %	
		<i>n</i>	<i>AA</i>	<i>n</i>	<i>AG</i>	<i>n</i>	<i>GG</i>	<i>A</i>	<i>G</i>
<i>MC4R</i>	Ландрас	–	–	11	35,5	20	64,5	0,184	0,816
	Йоркшир	3	9,40	16	50	13	40,6	0,345	0,655
<i>MYOD1</i>			<i>AA</i>		<i>AC</i>		<i>CC</i>	<i>A</i>	<i>C</i>
	Ландрас	–	–	–	–	32	100	–	1,00
	Йоркшир	8	25	14	43,7	10	31,3	0,468	0,532
<i>MYF4</i>			<i>AA</i>		<i>AG</i>		<i>GG</i>	<i>A</i>	<i>G</i>
	Ландрас	–	–	8	25	24	75	0,126	0,874
	Йоркшир	1	3,13	17	53,1	14	43,8	0,298	0,702

Table 1
Panel of marker genes *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4* for Landrace and Yorkshire breeds

Marker gene	Breed	Frequency of genotypes, %						Frequency of allele, %	
		<i>n</i>	<i>AA</i>	<i>n</i>	<i>AG</i>	<i>n</i>	<i>GG</i>	<i>A</i>	<i>G</i>
<i>MC4R</i>	Landrace	–	–	11	35.5	20	64.5	0.184	0.816
	Yorkshire	3	9.40	16	50	13	40.6	0.345	0.655
<i>MYOD1</i>			<i>AA</i>		<i>AC</i>		<i>CC</i>	<i>A</i>	<i>C</i>
	Landrace	–	–	–	–	32	100	–	1.00
	Yorkshire	8	25	14	43.7	10	31.3	0.468	0.532
<i>MYF4</i>			<i>AA</i>		<i>AG</i>		<i>GG</i>	<i>A</i>	<i>G</i>
	Landrace	–	–	8	25	24	75	0.126	0.874
	Yorkshire	1	3.13	17	53.1	14	43.8	0.298	0.702

Таблица 2
Откормочные качества чистопородного молодняка, полученного от хряков пород ландрас и йоркшир по гену маркеру MC4R

Генотип хряка	n	Возраст достижения живой массы 100 кг, дней	Среднесуточный прирост от рождения, г	Затраты корма на 1 кг прироста, к. ед.
Ландрас				
AG	58	157,7 ± 0,95***	948,8 ± 14,5	2,70 ± 0,02***
GG	62	168,3 ± 0,36	817,1 ± 4,27	2,90 ± 0,01
Йоркшир				
AA	25	155,4 ± 0,73	947,8 ± 10,27	2,50 ± 0,04
AG	27	165,1 ± 0,42	825,0 ± 5,07	3,20 ± 0,04
GG	28	173,2 ± 0,48	746,4 ± 5,02	3,70 ± 0,03

* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$. То же для таблиц 3–4.

Table 2
Fattening traits of purebred young animals obtained from boars of Landrace and Yorkshire breeds according to the MC4R gene marker

Boar's genotype	n	Age of gaining 100 kg of body weight, days	Average daily weight gain, g	Cost of feed per 1 kg of weight gain, feed units
Landrace				
AG	58	157.7 ± 0.95***	948.8 ± 14.5	2.70 ± 0.02***
GG	62	168.3 ± 0.36	817.1 ± 4.27	2.90 ± 0.01
Yorkshire				
AA	25	155.4 ± 0.73	947.8 ± 10.27	2.50 ± 0.04
AG	27	165.1 ± 0.42	825.0 ± 5.07	3.20 ± 0.04
GG	28	173.2 ± 0.48	746.4 ± 5.02	3.70 ± 0.03

* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$. The same for tables 3–4.

Таблица 3
Показатели мясных качеств чистопородного молодняка, полученного от хряков пород ландрас йоркшир по гену маркеру MYOD1

Генотип хряка	n	Выход мяса в туше, %	Количество мяса-мякоти, кг	Площадь «мышечного глазка», см ²
Ландрас				
CC	5	68,5 ± 1,05	48,0 ± 1,22	74,3 ± 8,56
Йоркшир				
CC	5	65,1 ± 0,58*	47,3 ± 0,70***	62,3 ± 5,25**
AA	6	60,3 ± 1,57	41,4 ± 0,88	38,8 ± 1,45

Table 3
Indicators of meat traits of purebred young animals, obtained from boars of Landrace and Yorkshire breeds according to the MYOD1 gene marker

Boar's genotype	n	Carcass meat yield, %	Amount of meat-pulp, kg	Loin area, cm ²
Landrace				
CC	5	68.5 ± 1.05	48.0 ± 1.22	74.3 ± 8.56
Yorkshire				
CC	5	65.1 ± 0.58*	47.3 ± 0.70***	62.3 ± 5.25**
AA	6	60.3 ± 1.57	41.4 ± 0.88	38.8 ± 1.45

Результаты (Results)

В результате молекулярно-генетического тестирования по гену MC4R чистопородного племенного молодняка пород ландрас и йоркшир (таблица 1) установлено, что частота встречаемости генотипов MC4R составила у породы ландрас AG – 35,5 %, GG – 64,5%, а у породы йоркшир AA – 9,4%, AG – 50 %, GG – 40,6 %. При этом концентрация аллеля A была 0,184 и 0,345, а G – 0,816 и 0,655 соответственно.

По гену MYOD1 у чистопородного молодняка породы ландрас доминировал генотип CC – 100 %. Молодняк породы йоркшир имел 3 генотипа по гену MYOD1: AA (25 %), AC (43,7 %), CC (31,3 %). Частота аллелей по гену MYOD1 у породы ландрас C – 1,0, а у породы йоркшир A – 0,468 и C – 0,532.

Таблица 4

Распределение хребтового шпика у чистопородного молодняка свиней, полученного от хряков пород ландрас йоркшир по гену маркеру MYF4

Генотип хряка	<i>n</i>	На холке	Над 6–7-м грудными позвонками	На пояснице	Среднее трех точек на крестце	Разница между наибольшей и наименьшей толщиной
Ландрас						
AG	4	24,5 ± 0,87*	9,0 ± 1,78*	16,5 ± 1,19	8,3 ± 0,24**	16,2 ± 0,93
GG	5	31,0 ± 2,41	14,8 ± 1,20	19,4 ± 1,12	12,9 ± 0,72	18,1 ± 2,07
Йоркшир						
AA	4	34,3 ± 2,78	15,5 ± 1,32	17,3 ± 2,02*	14,3 ± 1,79	20,0 ± 3,23
GG	5	35,8 ± 1,62	18,8 ± 0,97	25,0 ± 1,92	14,8 ± 1,14	21,0 ± 2,04

Table 4

Distribution of backbone fat in purebred young pigs, obtained from boars of Landrace and Yorkshire breeds according to the MYF4 gene marker

Boar's genotype	<i>n</i>	At the withers	Above the 6–7 th thoracic vertebrae	At the joint	Average of three points at the sacrum the sacrum	Difference between largest and smallest thickness
Landrace						
AG	4	24.5 ± 0.87*	9.0 ± 1.78*	16.5 ± 1.19	8.3 ± 0.24**	16.2 ± 0.93
GG	5	31.0 ± 2.41	14.8 ± 1.20	19.4 ± 1.12	12.9 ± 0.72	18.1 ± 2.07
Yorkshire						
AA	4	34.3 ± 2.78	15.5 ± 1.32	17.3 ± 2.02*	14.3 ± 1.79	20.0 ± 3.23
GG	5	35.8 ± 1.62	18.8 ± 0.97	25.0 ± 1.92	14.8 ± 1.14	21.0 ± 2.04

Среди чистопородного молодняка породы ландрас по гену MYF4 выявлены следующие генотипы: AG – 25 %, GG – 75 %. В то же время по породе йоркшир были следующие результаты: AA – 3,13 %, AG – 53,1 %, GG – 43,8 %. Частота встречаемости аллелей у породы ландрас и йоркшир A – 0,126 и 0,298, G – 0,874 и 0,702 соответственно.

Сопоставив результаты исследований генов-маркеров с продуктивными качествами, мы установили, что по гену MC4R молодняк, полученный от хряков породы ландрас генотипа AG, по комплексу откормочных качеств превосходил животных, полученных от хряков с генотипом GG, по возрасту достижения живой массы 100 кг – на 10,6 дня (или на 6,3 %), по среднесуточному приросту – на 131,7 г (или на 16,1 %), по затратам корма – на 0,20 к. ед. (или на 6,9 %) соответственно (таблица 2).

Такая же тенденция сохранилась и по животным породы йоркшир: так, возраст достижения живой массы 100 кг у животных предпочтительного генотипа AA составил 155,4 дня, то есть на 17,8 дня (или на 10,3 % ($P \leq 0,001$)) более скороспелые, среднесуточный был выше на 201,4 г (или на 14,8 %), а экономия кормов – на 1,20 к. ед. (или на 3,24 %) по отношению к генотипу GG.

Установлено, что у подсвинков породы йоркшир – носителей предпочтительного аллеля по гену MYOD1^{CC} – было преимущество по выходу мяса в туше на 4,8 %,

количеству мяса-мякоти – на 5,9 кг (или на 14,2 %), площади «мышечного глазка» – на 23,5 см² (или 60,6 %) по отношению к аналогам с генотипом MYOD1^{AA}, характеризующимся пониженными показателями мясных качеств (таблица 3).

Исследование по гену-маркеру MYF4, влияющему на уменьшение или увеличение толщины шпика, показало, что наименьшим слоем хребтового шпика в области холки (24,5–34,3 мм) отличались туши подсвинков ландрас и йоркшир предпочтительных генотипов MYF4^{AG} и MYF4^{AA}, что на 1,5–6,5 мм (или на 4,18–20,9 %) ниже аналогичных показателей туш животных генотипа MYF4^{GG} (таблица 4).

Что касается равномерности распределения шпика вдоль хребта, то минимальное отложение его в области 6–7-го грудных позвонков наблюдалось у животных – носителей предпочтительных генотипов MYF4^{AG} и MYF4^{AA}, что на 3,3–5,8 мм (или на 17,5–39,2 %) тоньше, чем у животных с генотипом GG. Самый тонкий слой шпика на пояснице отмечен у молодняка генотипов AG и AA, у которых данный показатель составил 16,5–17,3 мм, что на 2,9–7,7 мм (или на 14,9–30,8 %) меньше, чем у аналогов с аллелями GG. Минимальные значения толщины шпика (8,3–14,3 мм) в области крестца фиксировались у подсвинков аллелем A в генотипах MYF4^{AG} и MYF4^{AA}, что на 0,5–4,6 мм (или на 3,37–35,6 %) соответственно ниже, чем

у подсвинков генотипа *GG*. На хребте у чистопородного молодняка йоркшир и ландрас различных генотипов по гену *MYF4* разница между наибольшей и наименьшей толщиной шпика превышала 10 мм, что свидетельствует о невыровненности туш и резерве улучшения этого показателя в сторону снижения и выровненности толщины шпика.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенные исследования по оценке откормочной и мясной продуктивности свиней пород йоркшир и ландрас позволяют определить по полиморфным генам-маркерам

MYF4, *MC4R*, *MYOD1* генотип тестируемого животного и выявить животных с показателями продуктивности, превышающими средние популяционные по откормочным показателям на 2,7–12,5 %, мясным качествам – на 2,8–34,4 %. Использование комплексной оценки в свиноводстве позволит ускорить селекционную работу по увеличению показателей откормочной и мясной продуктивности создаваемых селекционных стад свиней пород йоркшир и ландрас.

Библиографический список

1. Бальников А. А. О скрытых резервах повышения прибыльности отечественного свиноводства // Наше сельское хозяйство. 2019. № 14. С. 16–21.
2. Бальников А. А. Драйвер свиноводства – не вал, а качество и себестоимость // Наше сельское хозяйство. 2020. № 6. С. 4–12.
3. Костюнина О. В., Зиновьева Н. А., Сизарева Е. И., Калугина А. И., Гладырь Е. А., Гетманцева Л. В., Форнара М. С., Харзинова В. Р. Полиморфизм гена рецептора меланокортина *MC4R* и его влияние на мясные и откормочные качества свиней // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 8. С. 49–51.
4. Зиновьева Н. А. Подготовка проб, выделение ДНК и оптимизация метода ПЦР-анализа // Методы исследований в биотехнологии сельскохозяйственных животных: шк.-практикум / Под ред. Н. А. Зиновьевой. Дубровицы: ВИЖ, 2004. Вып. 3. С. 40–41.
5. Verner J., et al. Impact of MYOD family genes on pork traits in Large White and Landrace pigs // Journal of Animal Breeding and Genetics. 2007. Vol. 124 (2). Pp. 81–85.
6. Шейко И. П., Ганджа А. И., Журина Н. В., Ковальчук М. А., Курак О. П. Методические рекомендации по применению технологии генотипирования свиней по микросателлитным локусам ДНК. Жодино, 2016. 16 с.
7. Nidup K., Moran C. Genetic diversity of domestic pigs as revealed by microsatellites: a mini-review // Genomics and Quantitative Genetics. 2011. Vol. 2. Pp. 5–18.
8. Бальников А. А. Мясопродуктивные качества чистопородного и помесного молодняка свиней различных генотипов // Ученые записки УО ВГАВМ. 2012. Т. 48. Вып. 2. Ч. II. С. 10–12.
9. Мельникова Е. Е., Бардуков Н. В., Форнара М. С., Костюнина О. В., Сермягин А. А., Зайцев А. М., Зиновьева Н. А. Влияние генотипов по *IGF2*, *CCAR* и *MC4R* на фенотипические показатели и племенную ценность свиней по хозяйственно полезным признакам // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 4. С. 723–734.
10. Колосова М. А., Колосов А. Ю., Бакоев Ф. С. ДНК-маркеры продуктивности в свиноводстве // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2019. № 4. Ч. 1 (34). С. 16–20.
11. Охохонина Е. Н., Голощапов А. А. Использование ДНК-маркеров в селекции свиней // Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи : сб. статей по материалам XII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 125-летию Т. С. Мальцева. Курган, 2020. С. 253–259.
12. Гетманцева Л. В., Третьякова О. Л., Леонова М. А. Практическое использование полиморфизма гена *MC4R* в селекционной работе: научно-практические рекомендации. Персиановский, 2015. 16 с.
13. Раскатова С. М., Шавырина К. М., Костюнина О. В., Зиновьева Н. А. Изучение мясных и откормочных качеств с учетом полиморфизма по генам *IGF2*, *MC4R*, *CAST*, *PRKAG3* и *CCAR* молодняка свиней // Свиноводство. 2015. № 1. С. 25–28.
14. Бальников А. А. Почему нужен генетический сертификат в племенном свиноводстве [беседа с экспертом] / Беседу вела А. Киселева // Наше сельское хозяйство. 2020. № 24. С. 38–43.

Об авторах:

Юлия Сергеевна Казутова¹, научный сотрудник лаборатории разведения и селекции свиней, ORCID 0000-0001-7463-2666

Артур Анатольевич Бальников¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий лабораторией разведения и селекции свиней, ORCID 0000-0002-6854-3576

Игорь Федорович Гридюшко¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории разведения и селекции свиней, ORCID 0000-0001-9882-788X

¹ Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, Жодино, Республика Беларусь

Indicators of meat performance of Landrace and Yorkshire breeds of pigs depending on genotypes according to genes *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4*

Yu. S. Kazutova¹, A. A. Balnikov^{1✉}, I. F. Gridyushko¹

¹ Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding, Zhodino, Republic of Belarus

✉ E-mail: lab.breed.selec.pig@yandex.by

Abstract. The need for effective DNA marking of the performance traits of animals is increasing every year, since the use of DNA markers in breeding can increase performance of animals by up to 20 %. This determines **the relevance** of scientific research in this area. **The purpose** of the research is to study the indicators of meat productivity of pigs of Landrace and Yorkshire breeds depending on genotypes for genes *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4*. The subject of the research was populations of purebred young pigs of Yorkshire and Landrace breeds bred at the State Enterprise “ZhodinoAgroPlemElita”, Minsk region. **Methods.** DNA analysis was carried out in the laboratory of animal genetics of the State Scientific Institution “Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus”. Zoology engineering and molecular genetic methods (PCR/RFLP) were used. **Results.** It has been determined that the frequency of occurrence of the preferred allele A of the *MYF4* gene in the animals tested made 0.126–0.298, *A-MC4R* – 0.184–0.345, and *C-MYOD1* – 1.0–0.532, respectively. A comprehensive system for assessing the breeding value of Yorkshire and Landrace pigs based according to the *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4* marker genes, developed in the course of research, made it possible to identify preferred alleles and find correlation with performance traits, which ensured increase in the average population values: for self-performance – by 2–4 %, for fattening traits – by 2.7–12.5 %, for meat traits – by 2.8–34.4 %. **The novelty** lies in the fact that in our research we propose a cheaper method for detecting genetic polymorphisms associated with economically useful traits of pigs using the DNA technology of multilocus genotyping in multiplex reactions, in comparison with genomic analysis using chips (matrices) with 50–60 thousand of SNP.

Keywords: young animals, Yorkshire and Landrace pigs, breeding, fattening and meat traits, DNA testing, polymorphism, allele, gene markers *MYF4*, *MC4R* and *MYOD1*.

For citation: Kazutova Yu. S., Balnikov A. A., Gridyushko I. F. Pokazateli myasnoy produktivnosti sviney porod landras i yorkshir v zavisimosti ot genotipov po genam *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4* [Indicators of meat performance of Landrace and Yorkshire breeds of pigs depending on genotypes according to genes *MC4R*, *MYOD1*, *MYF4*] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 02 (205). Pp. 65–71. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-65-71. (In Russian.)

Paper submitted: 13.01.2021.

References

1. Bal'nikov A. A. O skrytykh rezervakh povysheniya pribyl'nosti otechestvennogo svinovodstva [Hidden reserves to increase profitability of the domestic pig breeding] // Nashe sel'skoye khozyaystvo. 2019. No. 14. Pp. 16–21. (In Russian.)
2. Bal'nikov A. A. Drayver svinovodstva – ne val, a kachestvo i sebestoimost' [Pig breeding driver is not a shaft, but quality and cost] // Nashe sel'skoye khozyaystvo. 2020. No. 6. Pp. 4–12. (In Russian.)
3. Kostyunina O. V., Zinov'yeva N. A., Sizareva E. I., Kalugina A. I., Gladyr' E. A., Getmantseva L. V., Fornara M. S., Kharzinova V. R. Polimorfizm gena retseptora melanokortina MC4R i ego vliyaniye na myasnyye i otkormochnyye kachestva sviney [Polymorphism of the melanocortin receptor gene MC4R and its effect on meat and fattening qualities of pigs] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2012. No. 8. Pp. 49–51. (In Russian.)
4. Zinov'yeva N. A. Podgotovka prob, vydeleniye DNK i optimizatsiya metoda PTsR-analiza [Preparation of samples DNA isolation and optimization of PCR analysis] // Metody issledovaniy v biotekhnologii sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh: shk.-praktikum / Edited by N. A. Zinov'yeva. Dubrovitsy: VIZh, 2004. Vol. 3. Pp. 40–41. (In Russian.)
5. Verner J., et al. Impact of MYOD family genes on pork traits in Large White and Landrace pigs // Journal of Animal Breeding and Genetics. 2007. Vol. 124 (2). Pp. 81–85.
6. Sheyko I. P., Gandzha A. I., Zhurina N. V., Koval'chuk M. A., Kurak O. P. Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu tekhnologii genotipirovaniya sviney po mikrosatelitnym lokusam DNK [Guidelines for the use of pig genotyping technology for microsatellite DNA loci]. Zhodino, 2016. 16 p. (In Russian.)
7. Nidup K., Moran S. Genetic diversity of domestic pigs as revealed by microsatellites: a mini-review // Genomics and Quantitative Genetics. 2011. Vol. 2. Pp. 5–18.
8. Bal'nikov A. A. Myasosal'nyye kachestva chistoporodnogo i pomesnogo molodnyaka sviney razlichnykh genotipov [Meat quality of purebred and crossbred young pigs of various genotypes] // Uchenyye zapiski UO VGAVM. 2012. T. 48. Vol. 2. Ch. II. Pp. 10–12. (In Russian.)

9. Mel'nikova E. E., Bardukov N. V., Fornara M. S., Kostyunina O. V., Sermyagin A. A., Zaytsev A. M., Zinov'yeva N. A. Vliyaniye genotipov po IGF2, CCKAR i MC4R na fenotipicheskiye pokazateli i plemennuyu tsennost' sviney po khozyaystvenno poleznym priznakam [MC4R on phenotypic indicators and breeding value of pigs for economically useful traits] // Sel'skokhozyaystvennaya biologiya. 2018. T. 53. No 4. Pp. 723–734. (In Russian.)
10. Kolosova M. A., Kolosov A. Yu., Bakoyev F. S. DNK-markery produktivnosti v svinovodstve [DNA markers of productivity in pig breeding] // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. No 4. Ch. 1 (34). Pp. 16–20. (In Russian.)
11. Okhokhonina E. N., Goloshchapov A. A. Ispol'zovaniye DNK-markerov v seleksii sviney [Use of DNA markers in pig breeding] // Razvitiye nauchnoy, tvorcheskoy i innovatsionnoy deyatel'nosti molodezhi : sb. statey po materialam XII Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennykh 125-letiyu T. S. Mal'tseva. Kurgan, 2020. Pp. 253–259. (In Russian.)
12. Getmantseva L. V., Tret'yakova O. L., Leonova M. A. Prakticheskoye ispol'zovaniye polimorfizma gena MC4R v selektsionnoy rabote [Use of DNA markers in pig breeding]. Persianovskiy, 2015. 16 p. (In Russian.)
13. Raskatova S. M., Shavyrina K. M., Kostyunina O. V., Zinov'yeva N. A. Izucheniye myasnykh i otkormochnykh kachestv s uchetom polimorfizma po genam IGF2, MC4R, CAST, PRKAG3 i CCKAR molodnyaka sviney [The study of meat and fattening qualities taking into account the polymorphism of the IGF2, MC4R, CAST, PRKAG3 and CCKAR genes of young pigs] // Pig breeding. 2015. No. 1. Pp. 25–28. (In Russian.)
14. Bal'nikov A. A. Pochemu nuzhen geneticheskiy sertifikat v plemennom svinovodstve [Why do you need a genetic certificate in pig breeding] / The conversation was led by A. Kislekova // Nashe sel'skoye khozyaystvo. 2020. No. 24. Pp. 38–43. (In Russian.)

Authors' information:

Yliya S. Kazutova¹, researcher of laboratory for rearing and selection of pigs, ORCID 0000-0001-7463-2666

Artur A. Balnikov¹, candidate of agricultural sciences, associate professor, head of the laboratory for rearing and selection of pigs, ORCID 0000-0002-6854-3576

Igor F. Gridyushko¹, candidate of agricultural sciences, leading researcher of laboratory for rearing and selection of pigs, ORCID 0000-0001-9882-788X

¹ Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding, Zhodino, Republic of Belarus

Electing superior trees: a study on the phenotypic traits of stone pine (*Pinus pinea* L.)

M. Yu. Karpukhin¹✉, A. M. Yussef²

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

² University of Aleppo, Aleppo, Syria

✉ E-mail: mkarpukhin@yandex.ru

Abstract. The purpose of this study was electing superior Stone Pine trees to get the seeds with high genetic traits. **Methods.** This study is carried out in four sites using four samples per site. Ten phenotypic traits of the trees in our sample are examined to determine the maximum value for each trait (measured in points out of ten). We then calculate the percentage value for each tree; weighted of each trait's value. Then, the total number of points for each tree is calculated in order to be able to choose trees that have achieved the highest points i.e. considered superior. **As a result** four superior trees are elected from each site. Next, a one-way analysis of variance (Anova) is conducted on the superior trees in each site. The results show no significant differences between them. However, when the analysis is applied to traits, statistically significant differences are found where some traits outweigh the others in terms of the role they play in the evaluation of superior trees, and thus we can adopt these traits as basic traits for evaluate the superior trees. **Scientific novelty.** According to this study, these superior trees can be selected as distinct mother seeds which can be used in propagation *Pinus pinea*.

Keywords: election, superior trees, stone pine, Anova, traits.

For citation: Karpukhin M. Yu., Yussef A. M. Electing superior trees: a study on the phenotypic traits of stone pine (*Pinus pinea* L.) // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 02 (205). Pp. 72–78. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-72-78.

Paper submitted: 01.11.2020.

Introduction

Pinus pinea L. (Pinaceae), is one of the most characteristic tree species of the landscape because of its singular umbrella shape and the ancient use of its large, nutlike edible seeds for human consumption [1, p. 2]. The nut-bearing stone pine (*Pinus pinea* L.) is being a good source of unsaturated high quality fats, protein, vitamins, minerals, and bioactive compounds [2, p. 3]. Its pine nuts were already consumed by Neanderthals in the Middle Palaeolithic, before the last glacial maximum in [3, p. 359].

Stone pine is frequently preferred in afforestation practices due to its ecological, economic and aesthetical characteristics, and it is among the top species that provide important contribution to the national economy as a non-wood product [4, p. 416], [5, p. 161].

Turkey would have a potential to produce about 600,000 tons of cones and 15,600 tons of pine nut, which with current market prices would be worth 320 million to 550 million USD, respectively [6, p. 114]. In France the production of cones averages 3700 kg ha⁻¹ yr⁻¹, or about 1200 kg ha⁻¹ yr⁻¹ of pine nuts. In Spain, trees with a large canopy are reported to have yielded from 1000 to 2000 cones tree⁻¹ [7, p.76].

The main importers of pine nut are Italy, Turkey, Qatar, Saudi Arabia, Brazil, and United States. In Lebanon, pine nut is recognized as the “white gold” among managers and tenants of stone pine forests [8, p. 122].

Cultivation of stone pine allows the forest owners getting revenues from annual cone yields even on lands not adequate

for most agricultural crops [9, p. 669]. Stone pine is a tree that can be managed through thinning, pruning and grafting [10, p. 4].

Though current agronomic knowledge about stone pine as orchard nut crop is still limited, and most plantations continue to be managed as extensive forestry or agroforestry systems with trees grown from seeds without selected [11, p. 16].

No cultivars or cultivated varieties has been defined for stone pine yet, but recently, several elite clones and a clone mixture, selected for outstanding cone production, have been registered in Spain and Portugal for their grafted use in agroforestry systems or orchards [12, p. 79].

Selection is the first genetic improvement processes, this process means that a very small percentage of the population for one or more of the desired traits will be selected. The selection of an adapted population and seed trees inside them represents a chance to increase forest stability and productivity over the next generations of breeding [13, p. 2].

Phenotypic selection is a method of selection, which several trees in a group are selected according to their overall morphological characteristics or phenotypes. The external appearance of the individual is the first evidence of the selection process. The elector depends principally on the statistical probability which means that a good phenotype has a sufficient genetic background. The selection of superior trees is the first step to the success of improvement, and it has proven great effectiveness and unusual success in raising forest trees [14, p. 3].

The superior tree is known as the recommended tree for production or breeding after classification, it has distinct properties such as the stem is vertical/straight/cylindrical in shape, without branching at the base (bottom), rapid growth and balanced crown, resistant to diseases and pests, resistant to drought and cold. So the goal of selecting the superior trees is to obtain large amounts of genetic profit quickly and cheaply. The similarity of the external conditions which surround the trees and the comparison of trees based on the selection criteria and the best of them are chosen as a superior tree. The advantage of this method is the selected tree showed the best characteristics under a similar environment to other neighbor trees and this increases the possibility that the differentiation of the desired traits is genetically related (according to the genetic nature of the individual) and the influence of the environment on this differentiation is canceled, this increases the chances of transferring the desired traits to the offspring [15, p. 283].

The superior trees of stone pines had been selected as plus trees by phenotypic traits, namely their outstanding cone yield and good environmental adaptation [16, p. 73].

There is a study conducted in China on *Larix olgensis* trees, where superior trees chosen based on number of criteria: the diameter at breast height, Tree height, branch angle, crown width, and Stem straightness degree [17, p. 1].

There is a study conducted on *Ailanthus excelsa* Roxb trees the selection was made on phenotypic assessment of desirable characters of economic interest such as stem straightness, self-pruning ability; clear bole height, low branching habit, disease resistance [18, p. 543].

While in other study growth rate and morphology were chosen as selection criteria for early generations in *Pinus wallichiana* improvement programs in order to aim of improving growth of this specie [15, p. 279].

Family selection is an effective means of tree genetic improvement, which is crucial for improving the yield, wood characteristics, and stress resistance of forest trees. Family selection is based on the phenotypic value of a family [19, p. 7].

In this light, purpose of the research is election of superior *Pinus* pine trees by studying the phenotypic characteristics, and comparison of the studied phenotypes of the selected superior trees.

Methods

There are 4 different sites were selected in forest *Pinus* pine (AL, TA, RA, BR), four samples were selected within each site, the area of one or repeated sample is 400 m². These selected samples are representative of the whole site as shown in table 1.

Table 1
The symbol of the samples and the number of trees in the studied samples

Trees number	a	b	c	d
AL	40	36	40	38
TA	31	25	25	29
RA	31	33	30	30
BR	30	35	34	28

Within each sample, the following procedures and phenotypic characteristics were measured (for all studied trees):

* Numbering (Marking) trees of samples: paints were used to mark each tree at all selected sites with a number, to recognize the trees, and to know the number of them within each sample.

* Measuring the height of trees H: the height of all trees within the selected samples was measured by using an Altimeter for Measuring Height trees.

* Measuring the diameters of trees DBH: the diameters of all trees within the selected samples were measured by using the cloth meter scale by measuring the circumference of the tree at breast height 1.3m and calculating the diameter value by dividing the circumference by π .

The relationship used: $U = 2 \pi r$, where U is the circumference of the tree, r is the radius of the tree.

* Trunk Height Measurement Hs: the height of the trunk is the distance between the ground and the first major branch of the trunk, it was measured by using a height measuring device.

* Stump straightness St: the straightness of the trunk was determined by giving the straightness values for each tree, it was compared the tree trunks with the index of straightening the trunk.

* Weight of the fruiting cone CLw: after collecting the mature cones from the studied trees, the cones of each tree were weighted, to compute the average weight of the cone for each tree.

* The average angle of the suspension of the first three lateral branches An: the angle which formed between the first three lateral branches and the main stem was measured manually by using a protractor, then it was calculated the average angle of the first three branches.

* Average diameter of the first three lateral branches Db: firstly it was measured the circumference of the first three lateral branches by using a cloth meter scale, then it was calculated the diameter by dividing the circumference by π , finally the average of the measured branches diameters were computed.

* Diminishing stem thickness DS: it was measured by using the following equation: $DS = (DS1 - DS2)/L$ where:

DS: Diminishing stem thickness.

DS1: Diameter of minimum height (at breast height, 1.3 m).

DS2: Diameter of maximum height.

L: the distance between the two measurement levels.

* Crown width Cw: it was measured in two perpendicular directions by meter scale, then calculated the average.

* Crown height Ch: Crown height is the distance between the first main branch of the stem and the top of the tree, it was measured by using an Altimeter for Measuring Height trees.

Comparing the values of the studied tree traits with the maximum value of the traits and selecting the superior trees.

The maximum value for each of the studied traits was initially determined at the level of each sample, the maximum phenotypic traits would be given 100 points (10 characteristics), so that each characteristic would take 10 points, then the percentage of the value characteristic of each tree was calculated from the maximum value of this characteristic (weighting), so the percentage of the value of the characteristic at the

tree = (the value of the measured characteristic / the maximum value of the characteristic) $\times$ 100, according to this percentage this characteristic is given points out of ten-point, after calculating the points that each characteristic of the tree will obtain, we calculate the total number of points which achieved the described tree (the number of points out of 100 points), then it is possible to select the trees that achieved the highest points and consider them as the superior trees [20, p. 17]. It should be pointed out that the characteristic of the straightness of the trunk were calculated by using the guide of the straightness of the trunk as shown in table 2.

As for the straightness of the trunk was determined by giving the straightness values and comparing the tree trunks with the index of the straightness of the trunk as shown in table 3.

Comparison of the studied phenotypes of superior trees

After we knew the superior trees (one tree for each sample), the data of the studied characteristics of the superior trees (ten traits) were entered during SPSS, we aim to compare the superior trees within one site and compare the studied traits to discover the degree of their influence and their weight in evaluating the superior trees.

Results

1. Selected Superior Trees

1.1. The superior trees on the site TA: the results for each tree in site TAa showed that the TAa30th tree was the better and had score 90 points. Fig. 1 shows the superiority of the TAa30th tree over the rest of the sample.

The superior trees on the site TA: the results for each tree in site TAB showed that the TAB18th tree was the better and had score 86 points. Fig. 2 shows the superiority of the TAB18th tree over the rest of the sample.

The superior trees on the site TA: the results for each tree in site TAc showed that the TAc1st tree was the better and had score 96 points. Figure (3) shows the superiority of the TAc1st tree over the rest of the sample.

The superior trees on the site TA: the results for each tree in site TAd showed that the TAd23th tree was the better and had score 94 points. Fig. 4 shows the superiority of the TAd23th tree over the rest of the sample.

1.2. The superior trees on the site AL:

* The results for each tree in site ALa showed that the AL-a40th tree was the better and had score 88 points.

* The results for each tree in site ALb showed that the AL-b36th tree was the better and had score 86 points.

* The results for each tree in site ALc showed that the ALc40th tree was the better and had score 86 points.

* The results for each tree in site ALd showed that the AL-b37th tree was the better and had score 86 points.

1.3. The superior trees on the site RA:

* The results for each tree in site RAa showed that the RAa18th tree was the better and had score 88 points.

* The results for each tree in site RAb showed that the RAb9th tree was the better and had score 86 points.

* The results for each tree in site RAc showed that the RAc3rd tree was the better and had score 88 points.

* The results for each tree in site RAD showed that the RAb4th tree was the better and had score 88 points.

1.4. The superior trees on the site BR:

* The results for each tree in site BRa showed that the BRa16th tree was the better and had score 94 points.

* The results for each tree in site BRb showed that the BRb25th tree was the better and had score 90 points.

* The results for each tree in site BRc showed that the BRc-1st tree was the better and had score 82 points.

* The results for each tree in site BRd showed that the BRb28th tree was the better and had score 84 points.

2. Results of comparing studied phenotypic of superior trees:

2.1. Comparing the phenotypes of superior trees at the site AL: When we carried out analysis of variance ANOVA by using the statistical SPSS program between the superior trees at the site AL as shown in table 4, it found that there were no significant differences between the superior trees. Therefore, superior trees can be considered equal in their superiority at the site AL.

When carrying out analysis of variance ANOVA for the studied traits, it found that there were significant statistical differences $P \leq 0.05$, and the LSD test results showed the following:

Table 2
Scoring according to the studied characteristics

Character	Measure	0–30 % of MAX	< 30–50 % of MAX	< 50–70 % of MAX	< 70–90 % of MAX	< 90 % of MAX
Height (H)		2	4	6	8	10
Diameters (DBH)		2	4	6	8	10
Trunk Height (Hs)		2	4	6	8	10
Weight of the fruiting cone (CLw)		2	4	6	8	10
Average angle (An)		2	4	6	8	10
Diameter of the first three lateral branches (Db)		2	4	6	8	10
Diminishing stem thickness (DS)		2	4	6	8	10
Crown width (Cw)		2	4	6	8	10
Crown height (Ch)		2	4	6	8	10

Table 3
Scoring according to the trait St

Stump straightness (St)	5	4	3	2	1
Score	2	4	6	8	10

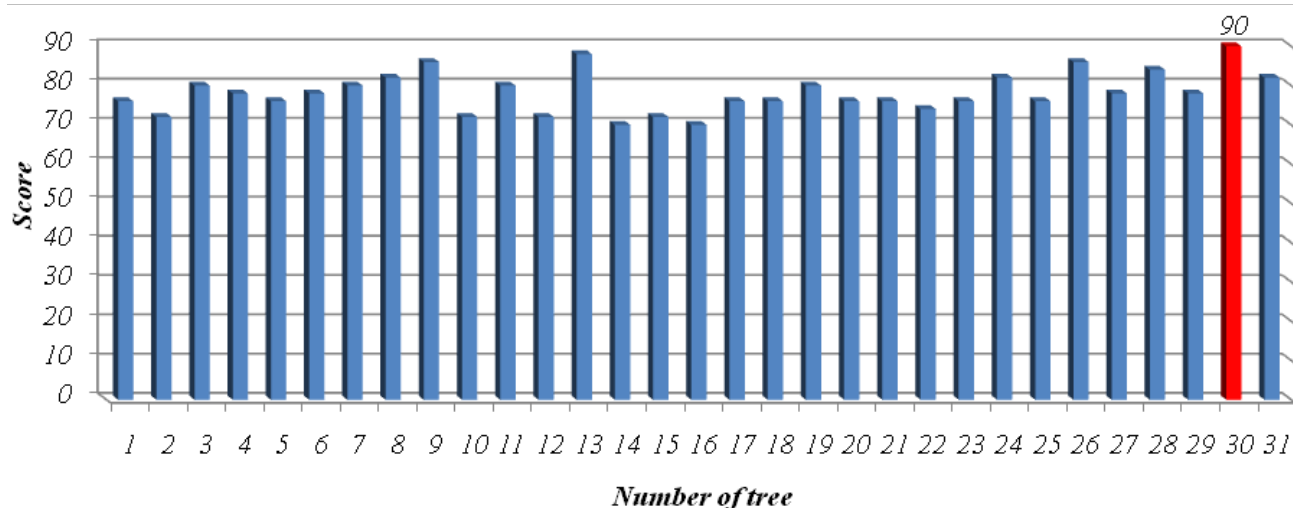


Fig. 1. The scores for each tree in TAA sample

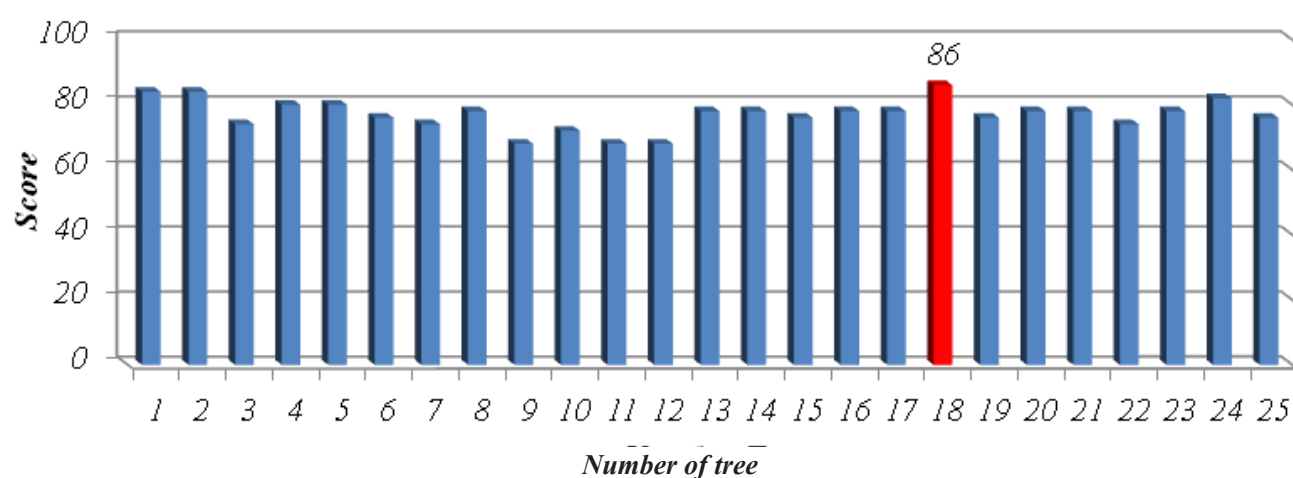


Fig. 2. The scores for each tree in TAB sample

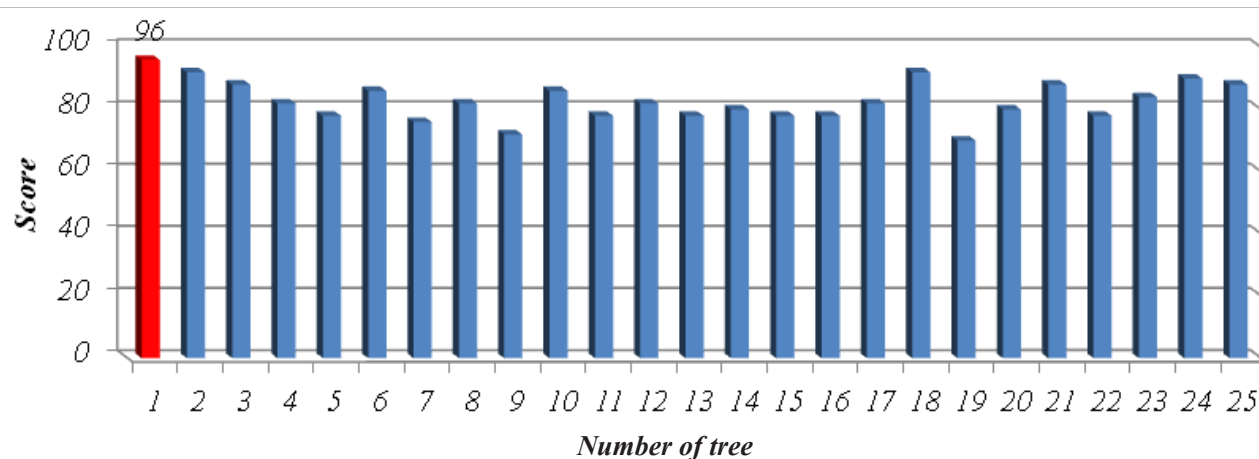


Fig. 3. The scores for each tree in TAC sample

* There are no significant differences between the traits (H, DBH, An, CLw, St, Cw, Ch) among them, therefore they can be considered as similar traits in degree of their impact on the evaluation and classification of superior trees.

* It was noted that there were significant differences between the traits (H, DBH, An, CLw, St, Cw, Ch) and (Hs, Ds, Db), where (H, DBH, An, CLw, St, Cw, Ch) were superior to (Hs, Ds, Db).

* It was noted that there were significant differences between the traits (Hs, Ds, Db), where trait (Hs) was superior to (Ds, DB), and trait (Ds) was superior to (Db).

* In this light, it can be said that traits (H, DBH, An, CLw, St, Cw, Ch) have the most influential and weight on the evaluation of superior trees then the trait (Hs), (Ds) respectively, and the trait (Db) has the least weight and the effect on the evaluation of superior trees.

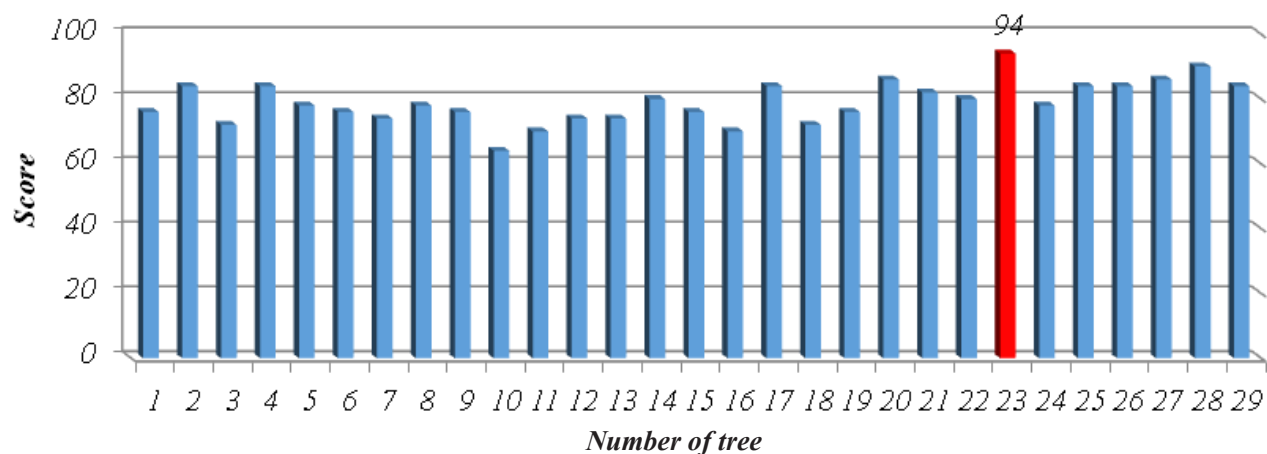


Fig. 4. The scores for each tree in TAd sample

Table 4
The points of characteristics superior tree at the site AL

Superior trees	Score studied traits									
	Height (H)	Trunk Height (Hs)	Diameters (DBH)	Diminishing stem thickness (DS)	Average angle (An)	Diameter of the first three lateral branches (Db)	Weight of the fruiting cone (CLw)	Stump straightness (St)	Crown width (Cw)	Crown height (Ch)
Ala40	10	8	10	8	10	2	10	10	10	10
ALb36	10	8	10	6	10	2	10	10	10	10
ALc40	10	8	8	6	10	4	8	10	10	10
ALd37	10	8	10	6	10	2	10	10	10	10

Table 5
The points of characteristics superior tree at the site TA

Superior trees	Score studied traits									
	Height (H)	Trunk Height (Hs)	Diameters (DBH)	Diminishing stem thickness (DS)	Average angle (An)	Diameter of the first three lateral branches (Db)	Weight of the fruiting cone (CLw)	Stump straightness (St)	Crown width (Cw)	Crown height (Ch)
TAa30	10	8	8	10	8	8	8	10	10	10
Tab18	10	8	8	6	10	8	8	10	8	10
TAc1	10	10	10	10	10	6	10	10	10	10
Tad23	10	10	10	8	10	6	10	10	10	10

Table 6
The points of characteristics superior tree at the site RA

Superior trees	Score studied traits									
	Height (H)	Trunk Height (Hs)	Diameters (DBH)	Diminishing stem thickness (DS)	Average angle (An)	Diameter of the first three lateral branches (Db)	Weight of the fruiting cone (CLw)	Stump straightness (St)	Crown width (Cw)	Crown height (Ch)
RAa18	10	6	10	10	10	6	10	10	10	10
RAb9	10	8	10	6	8	4	10	10	10	10
RAc3	10	8	8	10	8	8	8	10	8	10
RAd4	10	10	8	8	10	6	8	10	8	10

Table 7
The points of characteristics superior tree at the site BR

Superior trees	Score studied traits									
	Height (H)	Trunk Height (Hs)	Diameters (DBH)	Diminishing stem thickness (DS)	Average angle (An)	Diameter of the first three lateral branches (Db)	Weight of the fruiting cone (CLw)	Stump straightness (St)	Crown width (Cw)	Crown height (Ch)
BRa16	10	10	10	10	8	6	10	10	10	10
BRb25	10	8	10	8	10	4	10	10	10	10
BRc1	10	10	10	4	6	2	10	10	10	10
BRd28	10	10	8	8	8	4	8	10	8	10

2.2. Comparing the phenotypes of superior trees at the site TA: When we carried out analysis of variance ANOVA by using the statistical SPSS program between the superior trees at the site TA as shown in table 5, it found that there were no significant differences between the superior trees. Therefore, superior trees can be considered equal in their superiority at the site TA.

When carrying out analysis of variance ANOVA for the studied traits, it found that there were significant statistical differences $P \leq 0.05$, and the LSD test results showed the following:

* There are no significant differences between the traits (H, Hs, DBH, Ds, An, CLw, St, Cw, Ch) among them, therefore they can be considered as similar traits in degree of their impact on the evaluation and classification of superior trees.

* It was noted that there were significant differences between the traits (H, Hs, DBH, An, CLw, St, Cw, Ch) and (Db), where (H, Hs, DBH, An, CLw, St, Cw, Ch) were superior to (Db).

* While there were no significant differences between (Ds) and (Db). Therefore, it can be said that the traits (H, Hs, DBH, Ds, An, CLw, St, Cw, Ch) have the most influential and weight on the evaluation of superior trees and it found that trait (Db) has the least weight and the effect on the evaluation of superior trees.

2.3. Comparing the phenotypes of superior trees at the site RA: When we carried out analysis of variance ANOVA by using the statistical SPSS program between the superior trees at the site RA as shown in table 6, it found that there were no significant differences between the superior trees. Therefore, superior trees can be considered equal in their superiority at the site RA.

When carrying out analysis of variance ANOVA for the studied traits, it found that there were significant statistical differences $P \leq 0.05$, and the LSD test results showed the following:

* There are no significant differences between the traits (H, DBH, Ds, An, CLw, St, Cw, Ch) among them, therefore they can be considered as similar traits in degree of their impact on the evaluation and classification of superior trees.

* It was noted that there were significant differences between the traits (H, DBH, Ds, An, CLw, St, Cw, Ch) and (Hs, DB), where (H, DBH, Ds, An, CLw, St, Cw, Ch) were superior to (Hs, DB).

* It was noted that there were significant differences between the traits (Hs, Db), where trait (Hs) was superior to (Db).

* In this light, it can be said that traits (H, DBH, Ds, An, CLw, St, Cw, Ch) have the most influential and weight on the evaluation of superior trees then the trait (Hs), and the trait (Db) has the least weight and the effect on the evaluation of superior trees.

2.4. Comparing the phenotypes of superior trees at the site BR: When we carried out analysis of variance ANOVA by using the statistical SPSS program between the superior trees at the site BR as shown in table 7, it found that there were no significant differences between the superior trees. Therefore, superior trees can be considered equal in their superiority at the site BR.

When carrying out analysis of variance ANOVA for the studied traits, it found that there were significant statistical differences $P \leq 0.05$, and the LSD test results showed the following:

* There are no significant differences between the traits (H, Hs, DBH, CLw, St, Cw, Ch) among them, therefore they can be considered as similar traits in degree of their impact on the evaluation and classification of superior trees.

* It was noted that there were significant differences between the traits (H, Hs, DBH, CLw, St, Cw, Ch) and (Ds, Db), where (H, Hs, DBH, CLw, St, Cw, Ch) were superior to (Ds, Db).

* It was noted that there were significant differences between the traits (H, St, Ch) and trait (An), where the traits (H, St, Ch) were superior to (An).

* It was noted that there were significant differences between the traits (An) and trait (Db), where the trait (An) was superior to (Db).

* It was noted that there were significant differences between the traits (Ds) and trait (Db), where the trait (Ds) was superior to (Db).

* In this light, it can be said that the traits (H, Hs, DBH, CLw, St, Cw, Ch) have the most influential and weight on the evaluation of superior trees then the trait (An), and the trait (Db) has the least weight and the effect on the evaluation of superior trees.

Discussion and Conclusion

1. After studying the phenotypes (H, Hs, DBH, Ds, An, Db, CLw, St, Cw, Ch), It was selected four superior trees at the site AL (ALa40, ALb36, ALc40, ALd37), (TAa30, TAB18, TAc1, Tad23) at the site TA, (RAa18, RAb9, RAc3, RAd4) at the site RA, and (BRa16, BRb25, BRc1, BRd28) at the site BR. According to this study, these superior trees can be selected as distinct mother seeds which can be used in propagation *Pinus pinea*.

2. After comparing the superior trees within each site, it was found that there is no significant differences between them, while the comparing the studied traits showed that the traits (H, DBH, An, CLw, St, Cw, Ch) have the most influential and weight on the superior trees which were evaluated, then

trait (Hs) and (Ds) respectively, therefore the less influential traits can be excluded for the evaluation of the superior trees and give more focus on the most influential traits, thus we can adopt these traits as basic traits for evaluate the superior trees.

References

1. Pereira S., Prieto A., Calama R., Diaz-Balteiro L. Optimal management in *Pinus pinea* L. stands combining silvicultural schedules for timber and cone production, Spain // *Silva Fennica*. 2015. Vol. 49. No. 3. Pp. 1–16.
2. Loewe-Muñoz V., Balzarini M., Delard C., Álvarez A. Variability of stone pine (*Pinus pinea* L.) fruit traits impacting pine nut yield, France // *Annals of Forest Science*. 2019. Vol. 76. No. 37. Pp. 1–10.
3. Weyrich L. S., Duchene S., Soubrier J., Arriola L., Llamas B., Breen J., Morris A. G., Alt K. W., Car-amelli D., Dresely V., Farrell M., Farrer A. G., Francken M., Gully N., Haak W., Hardy K., Harvati K., Held P., Holmes E. C., Kaidonis J., Lalueza-Fox C., Rasilla M., Rosas A., Semal P., Soltysiak A., Townsend G., Usai D., Wahl J., Huson D. Hv, Dobney K., Cooper A. Neanderthal behaviour, diet, and disease inferred from ancient DNA indental calculus, United Kingdom // *Springer, Nature*. 2017. No. 544. Pp. 357–361.
4. Akyol A., Orucu O. K. Investigation and evaluation of stone pine (*Pinus pinea* L.) current and future potential distribution under climate change in Turkey, Turkey // *CERNE*. 2019. Vol. 25. No.4. Pp.v415–423.
5. Kurt R., Karayilmazlar S., İmren E., Cabuk Y. Nonwood forest products in Turkey forestry sector: Export Analysis, Turkey// *Journal of Bartın Faculty of Forestry*. 2016. Vol. 18. No. 2. Pp. 158–167.
6. Küçüker D. M., Baskent E. Z. State of stone pine (*Pinus pinea*) forests in Turkey and their economic importance for rural development, France // *Options Méditerranéennes*. 2017. No. 122. Pp. 111–117.
7. Sbay H., Hajib S. Le pin pignon: Une espèce de choix dans le contexte des changements Climatiques [Pinyon Pine: Species of Choice in the Context of Climate Change]. Morocco: Centre de recherches forestières, 2016. 76 p. (In French.)
8. Sattout S., Faour G. Insights on the value chain and management practices of stone pine forests in Lebanon, France // *Options Méditerranéennes*. 2017. No. 122. Pp. 119–124.
9. Zas R., Moreira X., Ramos M., Lima M. R. M., Nunes da Silva M., Solla A., Vasconcelos M. W., Sampedro L. Intraspecific variation of anatomical and chemical defensive traits in Maritime pine (*Pinus pinaster*) as factors in susceptibility to the pine-wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*) // *Springer, Trees*. 2015. Vol. 29. No. 3. Pp. 663–673.
10. Jaouadi W., Alsubeie M., Mechergui K., Naghmouchi S. Silviculture of *Pinus Pinea* L. in North Africa and The Mediterranean Areas // *Journal of Sustainable Forestry*. 2020. Pp. 1–13.
11. Mutke S., Vendramin G. G., Fady B., Bagnoli F., González-Martínez S. C. Molecular and Quantitative Genetics of Stone Pine (*Pinus pinea*) // In book: *Genetic Diversity in Horticultural Plants*, Chapter: 3, Springer Nature Switzerland AG. 2019. Pp. 1–27.
12. Guadaño C., Mutke S. Establecimiento de plantaciones clonales de *Pinus pinea* para la producción de piñón mediterráneo [Establishment of clonal *Pinus pinea* orchards as Mediterranean pine nut crop] // *Serie Forestal*. 2015. No. 28. Pp. 79. (In Spanish.)
13. Marcu N., Budeanu M., Apostol E. N., Radu R.G. Valuation of the Economic Benefits from Using Genetically Improved Forest Reproductive Materials in Afforestation, Switzerland // *Forests*. 2020. Vol. 11. No. 382. Pp. 1–13.
14. Kim I. S., Lee K. M., Shim Dv., Kim J. J., Kang H. I. Plus Tree Selection of *Quercus salicina* Blume and *Q. glauca* Thunb. and Its Implications in Evergreen Oaks Breeding in Korea // *Forests*. 2020. Vol. 11. No. 735. Pp. 1–15.
15. Aslam M., Arshid S., Bazaz M. A., Raina P. A., Khuraijam J. S., Reshi Z. A., Siddiqi T. O. Plus tree selection and their seed germination in *Pinus wallichiana* A. B. Jackson from Kashmir Himalaya, India – an approach basic and fundamental in genetic tree improvement of the species // *NeBio*. 2017. Vol. 8. No. 4. Pp. 279–286.
16. Mutke S., Guadaño C., Iglesias S., Leon D., Arribas S., Gordo J., Gil L., Montero G. Selection and identification of Spanish elite clones for Mediterranean pine nut as orchard crop, France // *Options Méditerranéennes*. 2017. No. 122. Pp. 71–75.
17. Zhang H., Zhang Y., Zhang D., Dong L., Liu K., Wang Y. Progeny performance and selection of superior trees within families in *Larix olgensis*, Netherland // *Euphytica*. 2020. Vol. 216. No. 60. Pp. 1–11.
18. Daneva V., Dhillon R. S., Johar V. Plus tree selection and progeny testing of superior candidate plus trees (CPTs) of *Ailanthus excelsa* // *Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2018. Vol. 7. No. 2. Pp. 543–545.
19. Li X., Liu X. T., Wei J. T., Li Y., Tigabu M., Zhao X. Y. Genetic Improvement of *Pinus koraiensis* in China: Current Situation and Future Prospects, Switzerland // *Forests*. 2020. Vol. 11. No. 142. Pp. 1–13.
20. Buvaneswaran C., Kumar K.V., Velumani R., Senthilkumar S. Experimental Design for Evaluation of Clones of *Casuarina* for Windbreak Agroforestry System, Institute of Forest Genetics and Tree Breeding // *Tree Sciences*. 2018. Vol. 37. No. 1. Pp. 11–18.

Authors' information:

Mikhail Yu. Karpukhin¹, candidate of agricultural sciences, associate professor, ORCID 0000-0002-8009-9121, AuthorID 339196; +7 912 253-04-13, mkarpukhin@yandex.ru

Abdo M. Yussef², assistant teacher in faculty of agriculture, ORCID 0000-0002-0104-166X, AuthorID 1090173; +7 992 341-95-15, abdousef86@gmail.com

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

² University of Aleppo, Aleppo, Syria

Сравнительный анализ химического состава растительного сырья некоторых представителей родов *Narcissus* L. и *Camassia* Lindl.

А. А. Реут¹✉, А. Р. Биглова¹, И. Н. Аллаярова¹

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

✉ E-mail: cvetok.79@mail.ru

Аннотация. Цель. Тяжелые металлы могут оказывать отрицательное влияние на растения, животных и человека, если их допустимая концентрация превышает определенные пределы. Поэтому актуальны установление особенностей накопления тяжелых металлов и определение элементного состава надземных (листья) и подземных (луковицы) органов в растительных образцах 8 сортов *Narcissus hybridus* hort. (Actaea, Arctic Gold, Cassata, Quail, Sir Winston Churchill, White Lady, Calgary, Pink Parasol) и вида *Camassia cusickii* S. Wats. в урбанизированной среде города Уфы (Республика Башкортостан). Методы. Изучение элементного состава образцов проводили по методике количественного химического анализа «Определение As, Pb, Cd, Sn, Cr, Cu, Fe, Mn и Ni в лабораторных пробах пищевых продуктов и пищевого сырья атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией № М-02-1009-08». Научная новизна. В работе впервые проанализированы результаты содержания отдельных элементов в надземных и подземных органах в образцах культивируемых цветочно-декоративных растений в лесостепной зоне Башкирского Предуралья. Результаты. Установлено, что содержание никеля, меди, кадмия, свинца, магния, железа, хрома во всех исследованных образцах не превышает норм, указанных в Государственной фармакопее Российской Федерации (ГФ РФ). Содержание мышьяка превышает нормативы, указанные в ГФ РФ, в 3,4 раза. Выявлена высокая интенсивность биологического поглощения меди. Отмечена особенность накопления отдельных элементов различными таксонами изученных растений. Установлено, что концентрации As, Cu, Pl, Mn, Fe в надземных органах больше, чем в подземной части растений; соотношение содержания Ni, Cr, Cd в надземных и в подземных органах совпадает. В результате проведенных исследований рекомендовано использовать изученные культивары в качестве фиторемедиатора мышьяка.

Ключевые слова: биология, интродукция, *Narcissus*, *Camassia*, тяжелые металлы, элементный состав.

Для цитирования: Реут А. А., Биглова А. Р., Аллаярова И. Н. Сравнительный анализ химического состава растительного сырья некоторых представителей родов *Narcissus* L. и *Camassia* Lindl. // Аграрный вестник Урала. 2021. № 02 (205). С. 79–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-79-90.

Дата поступления статьи: 19.01.2021.

Постановка проблемы (Introduction)

Экологическое состояние городской среды оказывает существенное влияние на жизнедеятельность человека. Из большого числа разнообразных химических веществ, поступающих в окружающую среду в результате природного и техногенного воздействия, особое место занимают тяжелые металлы (ТМ) [1, с. 36]. ТМ относятся к числу наиболее распространенных и опасных для биоты загрязнителей экологической среды [2, с. 46]. С одной стороны, они необходимы для нормального протекания физиологических процессов, а с другой – при повышенных концентрациях ТМ токсичны [3, с. 42], [4, с. 138], [5, с. 159]. В связи с этим установление уровня содержания ТМ в растениях играет важную роль в оценке биогенной миграции и необходимо для контроля в целях экологически безопасного их применения [6, с. 116].

На сегодняшний день в научной литературе описано множество методов очистки почвы от загрязнения ТМ.

Однако большинство из них направлены на восстановление почв сельскохозяйственного назначения и не нашли практического применения в городских условиях. Декоративные цветочные культуры, которые прочно занимают свою экологическую нишу, практически не рассматриваются с данной точки зрения [7, с. 190], [8, с. 203].

В связи с вышеизложенным актуально установление особенностей накопления ТМ и определение элементного состава надземных (листья) и подземных (луковицы) органов в растительных образцах 8 сортов *Narcissus hybridus* hort. (Actaea, Arctic Gold, Cassata, Quail, Sir Winston Churchill, White Lady, Calgary и Pink Parasol) и вида *Camassia cusickii* S. Wats. в урбанизированной среде города Уфы.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследование проводилось на базе Южно-Уральского ботанического сада-института – обособленного структурного подразделения Уфимского федерального

исследовательского центра Российской академии наук (далее – ЮУБСИ УФИЦ РАН) в весенне-летний период 2018–2020 гг.

Нарцисс – многолетнее декоративное луковичное растение, относящееся к роду *Narcissus* L. семейства *Amaryllidaceae* J. St.-Hil. Распространен в Центральной Европе, Средиземноморье, Китае и Японии. Широко применяется в озеленении городских территорий, а также используется в медицине и парфюмерии (содержит алкалоиды и эфирные масла) [9, с. 143]. Камассия – многолетнее перспективное декоративное луковичное растение, относящееся к роду *Camassia* Lindl. семейства *Hyacinthaceae* Batsch. Распространена в умеренных зонах Северной Америки. Название заимствовано у североамериканских индейцев, употребляющих в пищу луковицы [10, с. 68].

Изучение элементного состава образцов проводили по методике количественного химического анализа «Определение As, Pb, Cd, Sn, Cr, Cu, Fe, Mn и Ni в лабораторных пробах пищевых продуктов и пищевого сырья атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией № М-02-1009-08» [11, с. 144]. Отбор растительных образцов проводили в период полного развития листовой пластинки в фазе цветения для сортов *Narcissus* и в фазе завязывания плодов для *Camassia cusickii* (III декада мая). Пробы высушивали до воздушно-

сухого состояния при комнатной температуре и затем измельчали механическим способом. Масса лабораторной пробы составляла 50 г. Исследование элементного состава проводилось атомно-абсорбционным спектрофотометром (спектрометр) Shimadzu AA-6800 (или AA-6300) с электротермическим атомизатором GFA EX-7, зарегистрированным в Государственном реестре средств измерений под № 19381-04, на базе аналитической лаборатории научно-исследовательского института сельского хозяйства.

Математическую обработку данных осуществляли с помощью общепринятых методов вариационной статистики с использованием пакета программ Microsoft Excel.

Результаты (Results)

Мышьяк. Анализ содержания мышьяка в исследуемых растениях показал, что в надземных органах нарцисса и камассии его концентрация варьирует от 0,24 мг/кг (Actaea) до 1,08 (Cassata), в подземных – от 0,27 мг/кг (Calgary) до 1,70 (White Lady). Среднее содержание элемента в надземных частях составляет 0,76 мг/кг, в подземных – 0,70 мг/кг. У сортов Actaea, Sir Winston Churchill, White Lady наибольшее количество мышьяка содержится в подземных органах; у Pink Parasol соотношение содержания элемента в изученных частях растения обнаружено в равном количестве; у остальных – в надземных (рис. 1).

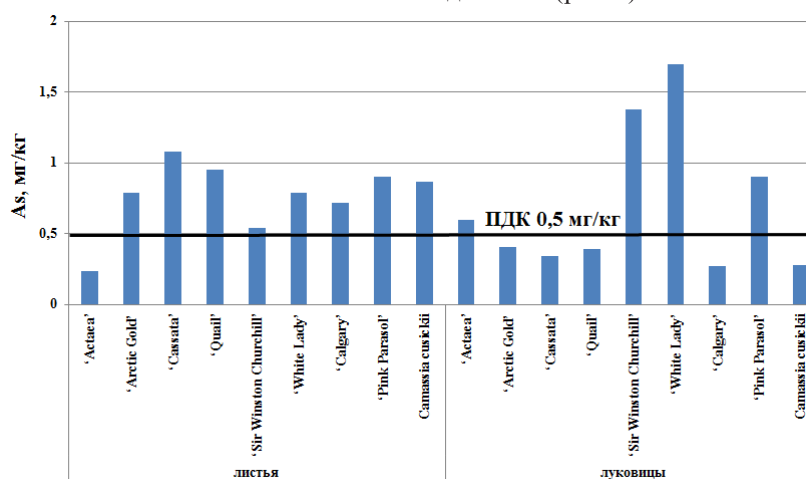


Рис. 1. Содержание мышьяка в надземных и подземных органах *Narcissus* и *Camassia*

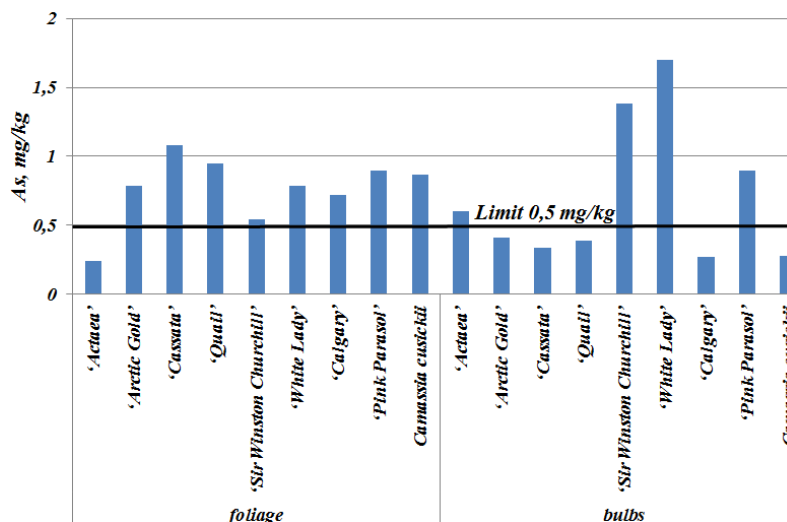
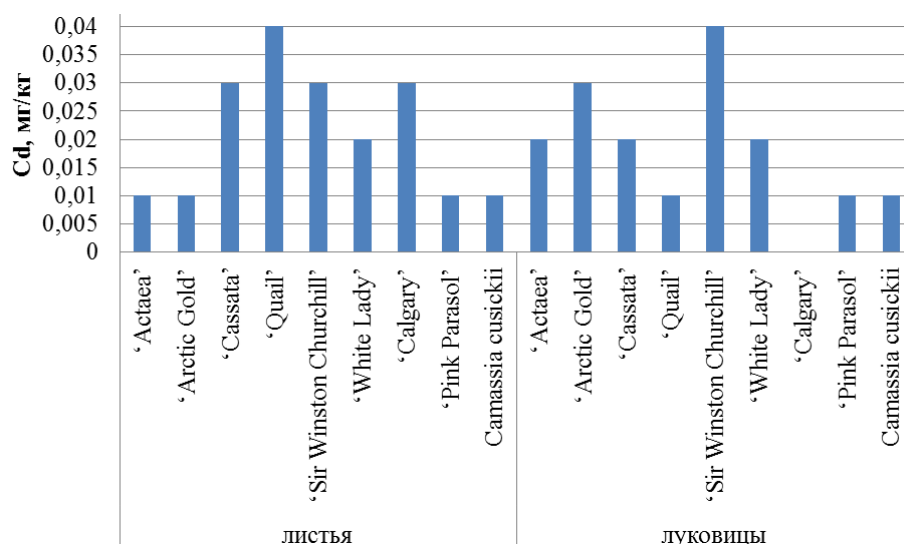
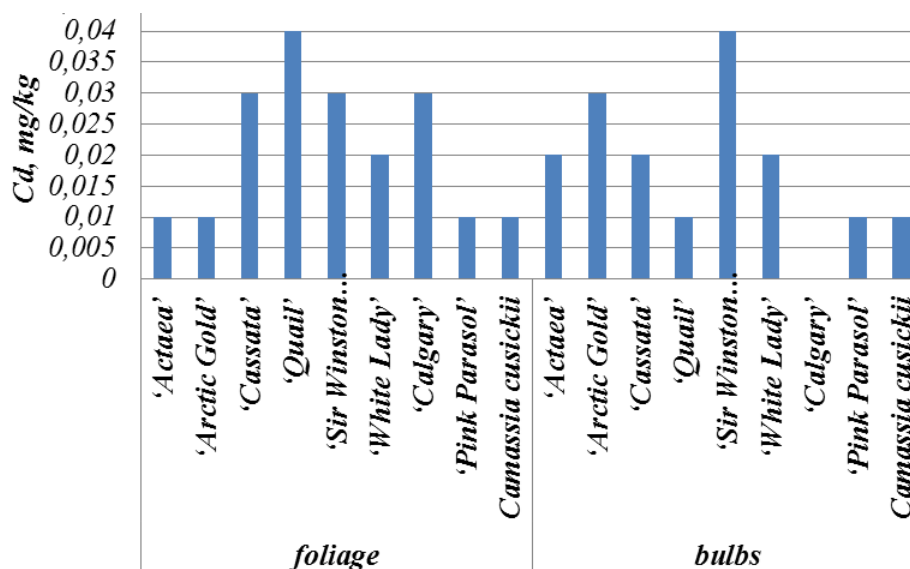


Fig. 1. Content of arsenic in the aboveground and underground organs of *Narcissus* and *Camassia*

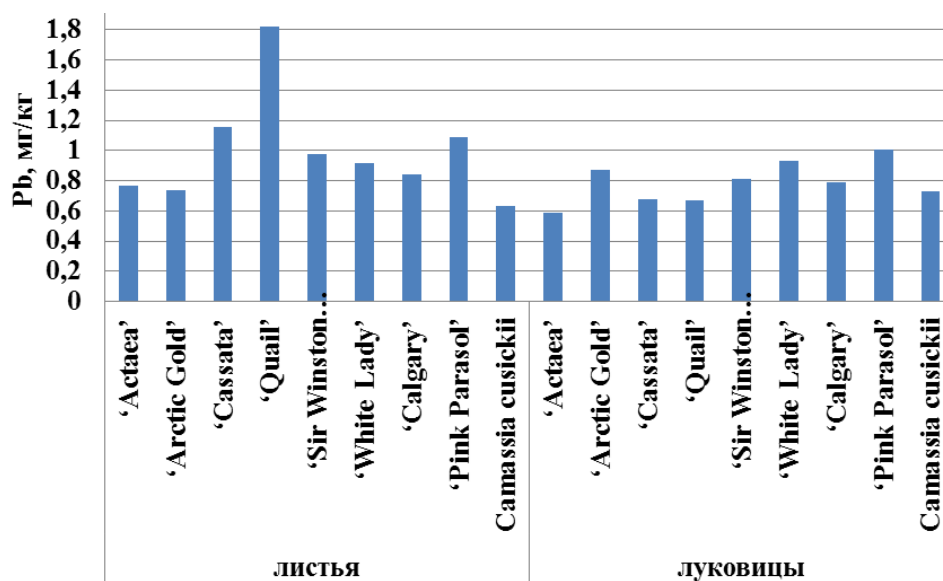
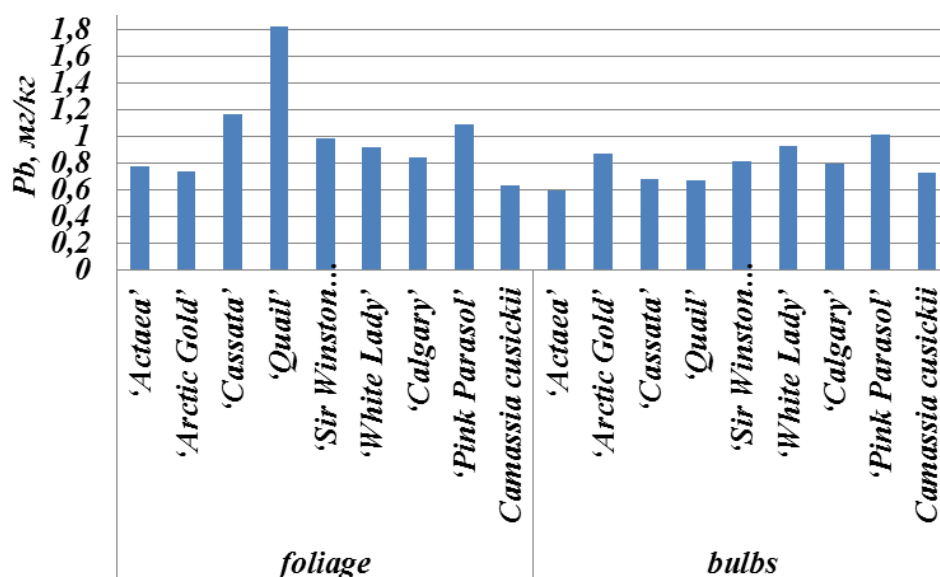
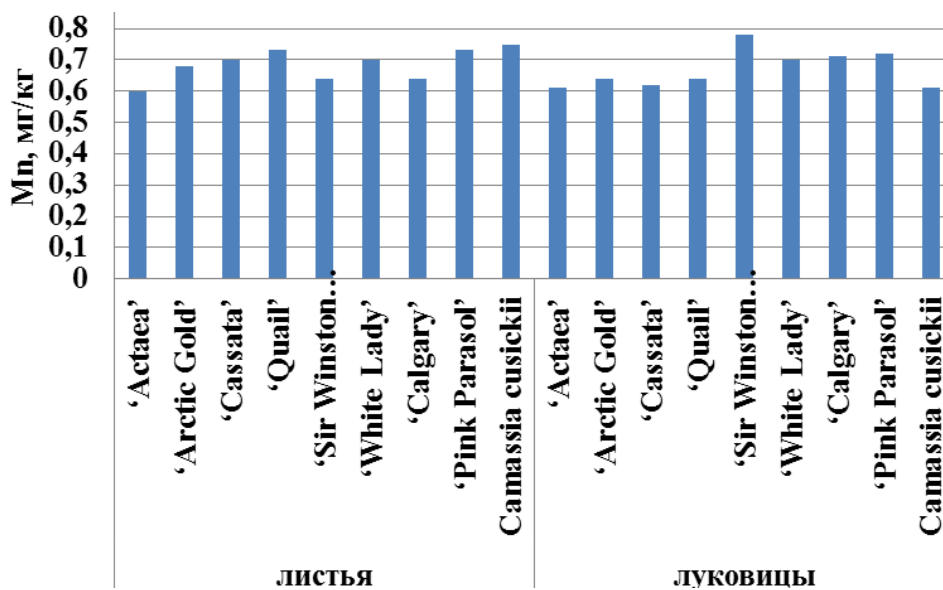
Рис. 2. Содержание кадмия в надземных и подземных органах *Narcissus* и *Camassia*Fig. 2. Content of cadmium in the aboveground and underground organs of *Narcissus* and *Camassia*

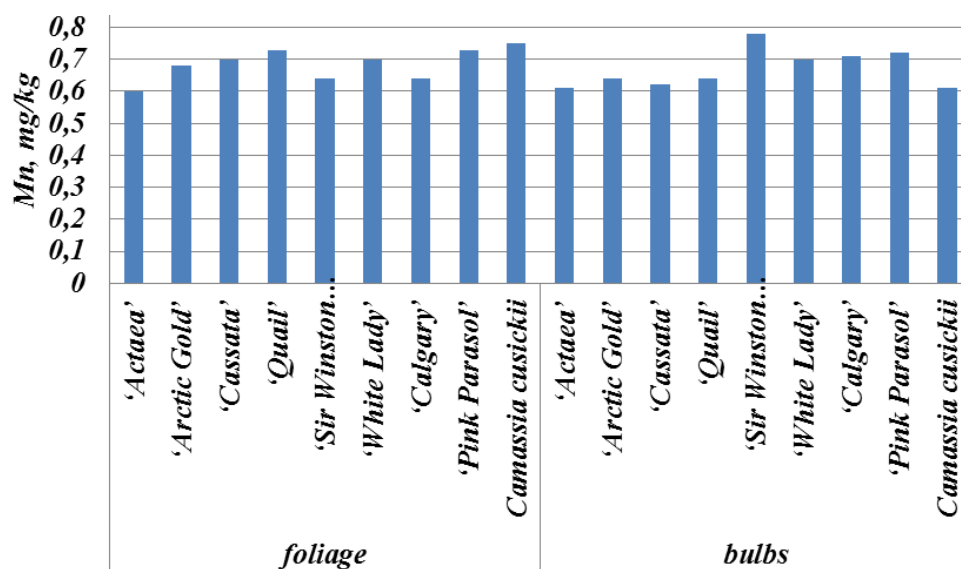
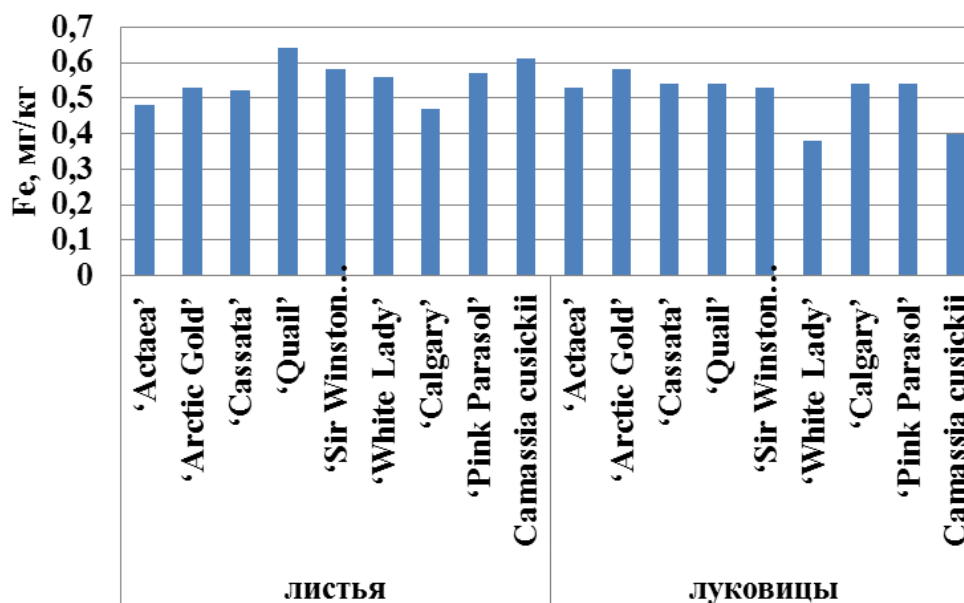
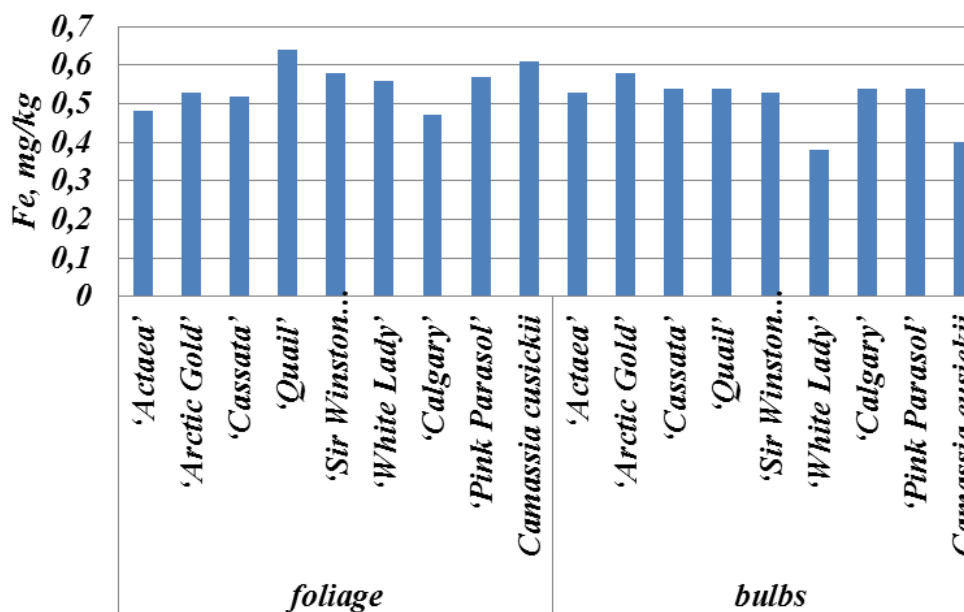
Выявлено, что содержание мышьяка превышает нормы, указанные в отечественной фармакопее (0,50 мг/кг) [12]. Повышенная концентрация мышьяка обнаружена в листьях у большинства изученных сортов нарцисса в 2,2 раза, за исключением *Actaea* и вида *Camassia cusickii*. У сортов *Actaea*, *Sir Winston Churchill*, *White Lady*, *Pink Parasol* содержание мышьяка в луковицах также превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) в 3,4 раза. Предположительно, изученные культивары обладают способностью к накоплению заметного количества мышьяка в листьях и луковицах.

Кадмий. В соответствии с Государственной фармакопеей Российской Федерации (ГФ РФ) норма содержания кадмия составляет 1 мг/кг [12]. Выявлено, что концентрация кадмия у изученных таксонов не превышает ПДК: в надземных органах содержится от 0,01 мг/кг (*Actaea*, *Arctic Gold*, *Pink Parasol*, *Camassia cusickii*) до 0,04 (*Quail*); в подземных – от 0,00 мг/кг у сорта *Calgary* до 0,04 (*Sir*

Winston Churchill). Среднее содержание кадмия в надземных и подземных органах составляет 0,02 мг/кг. У сортов *Cassata*, *Quail*, *Calgary* наибольшее количество кадмия содержится в надземных органах; у *Actaea*, *Arctic Gold*, *Sir Winston Churchill* – в подземных; у остальных таксонов содержание элемента находится в равных количествах (рис. 2).

Свинец. В соответствии с ГФ РФ ПДК свинца в лекарственном растительном сырье составляет 6 мг/кг. Содержание свинца в надземных органах изученных растений варьирует от 0,63 мг/кг (*Camassia cusickii*) до 1,82 (*Quail*); в луковицах – от 0,59 мг/кг (*Actaea*) до 1,01 (*Pink Parasol*). Среднее содержание элемента в надземных органах составляет 0,99 мг/кг, в подземных – 0,78 мг/кг, т. е. содержание свинца не превышает ПДК [12]. У *Camassia cusickii* и сорта *Arctic Gold* наибольшее количество свинца содержится в подземных органах, у остальных – в надземных (рис. 3).

Рис. 3. Содержание свинца в надземных и подземных органах *Narcissus* и *Camassia*Fig. 3. Content of lead in the aboveground and underground organs of *Narcissus* and *Camassia*Рис. 4. Содержание магния в надземных и подземных органах *Narcissus* и *Camassia*

Fig. 4. Content of magnesium in the aboveground and underground organs of *Narcissus* and *Camassia*Рис. 5. Содержание железа в надземных и подземных органах *Narcissus* и *Camassia*Fig. 5. Content of iron in the aboveground and underground organs of *Narcissus* and *Camassia*

Марганец. Анализ содержания марганца в растениях показал, что в надземных частях его концентрация составляет от 0,60 мг/кг (*Actaea*) до 0,75 (*Camassia cusickii*), а в подземных – от 0,61 мг/кг (*Camassia cusickii*, *Actaea*) до 0,78 (*Sir Winston Churchill*). Среднее содержание элемента в надземных органах составляет 0,69 мг/кг, в подземных – 0,67 мг/кг, т. е. отмечается дефицит марганца (ПДК – 25 мг/кг) [13, с. 44], [14, с. 125]. У сортов *Actaea*, *Sir Winston Churchill*, *Calgary* наибольшее количество марганца содержится в подземных органах; у *White Lady* содержание элемента и в подземных, и в надземных органах находится в равном количестве; у остальных преобладает в надземных (рис. 4).

Железо. Анализ содержания железа в растениях показал, что в надземных частях его концентрация варьирует от 0,47 мг/кг (*Calgary*) до 0,64 (*Quail*), а в подземных – от 0,38 мг/кг (*White Lady*) до 0,58 (*Arctic Gold*). Среднее содержание элемента в надземных органах составляет

0,55 мг/кг, в подземных – 0,51 мг/кг, т. е. отмечается дефицит железа (ПДК – 5–15 мг/кг) [15]. У сортов *Actaea*, *Arctic Gold*, *Cassata*, *Calgary* наибольшее количество железа содержится в подземных органах, у остальных – в надземных (рис. 5).

Никель. Анализ содержания никеля в растениях показал, что в надземных частях концентрация составляет от 0,37 мг/кг (*Actaea*) до 0,84 (*Quail*), а в подземных – от 0,29 мг/кг (*Camassia cusickii*) до 1,06 (*Sir Winston Churchill*). Среднее содержание элемента в надземных и подземных органах составляет 0,67 мг/кг. Выявлено, что концентрация никеля у изученных таксонов не превышает временный максимально-допустимый уровень (МДУ) в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках (1–3 мг/кг) [16]. У сортов *Actaea*, *Sir Winston Churchill*, *White Lady*, *Calgary* наибольшее количество никеля содержится в подземных органах, у остальных – в надземных (рис. 6).

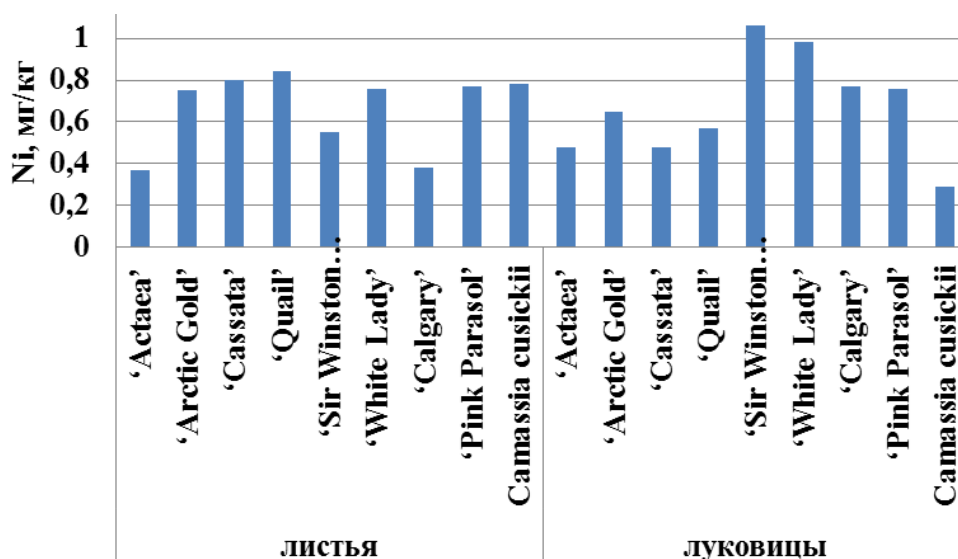


Рис. 6. Содержание никеля в надземных и подземных органах *Narcissus* и *Camassia*

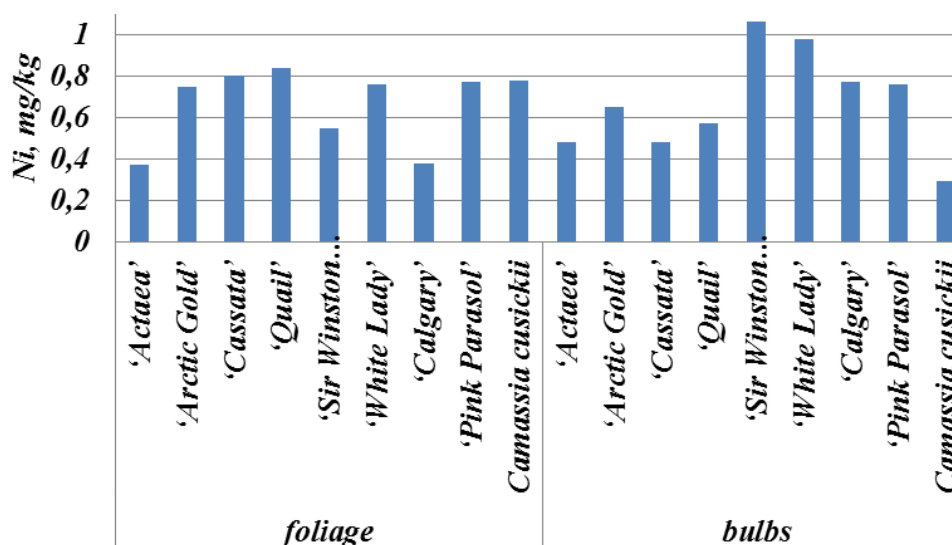
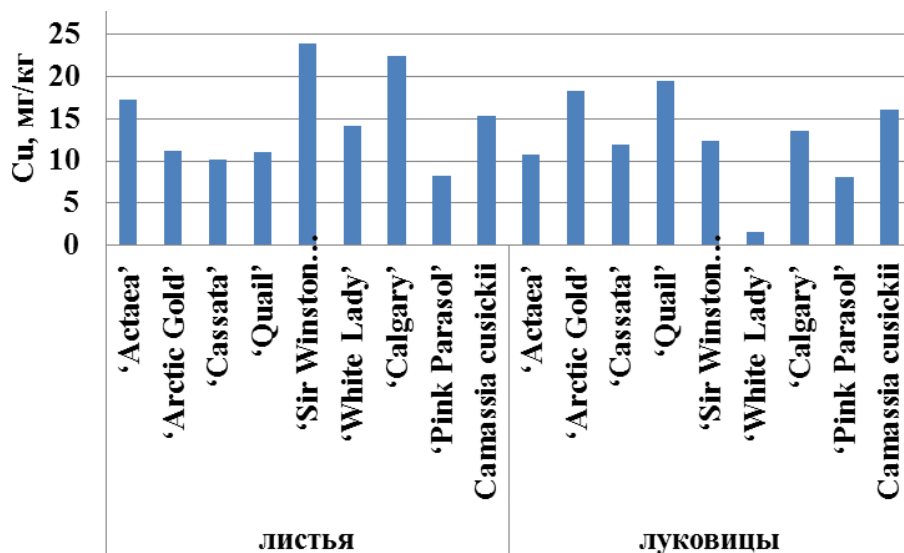
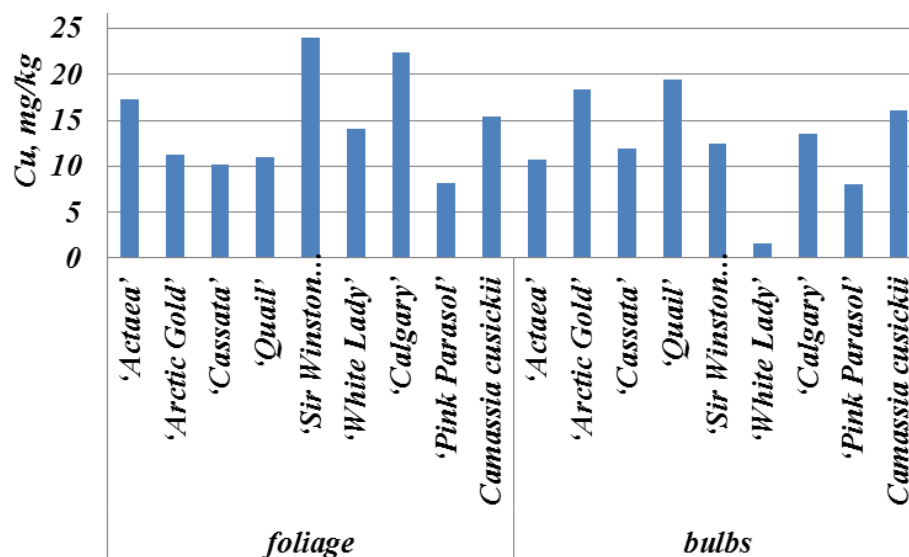


Fig. 6. Content of nickel in the aboveground and underground organs of *Narcissus* and *Camassia*

Рис. 7. Содержание меди в надземных и подземных органах *Narcissus* и *Camassia*Fig. 7. Content of copper in the aboveground and underground organs of *Narcissus* and *Camassia*

Медь. Анализ содержания меди в растениях показал, что в надземных частях концентрация варьирует от 8,28 мг/кг (Pink Parasol) до 24,02 (Sir Winston Churchill), а в подземных – от 1,60 мг/кг (White Lady) до 19,48 (Quail). Среднее содержание элемента в надземных органах составляет 14,86 мг/кг, в подземных – 12,48 мг/кг. Выявлено, что концентрация меди у изученных таксонов не превышает МДУ (20–30 мг/кг) [16] и ПДК СанПиН (25 мг/кг) [15]. У сортов Arctic Gold, Cassata, Quail и у *Camassia cusickii* наибольшее количество меди содержится в подземных органах, у остальных – в надземных (рис. 7).

Хром. Анализ содержания хрома в растениях показал, что в надземных частях концентрация варьирует от 0,04 мг/кг (Actaea) до 0,25 (Quail), в подземных – от 0,05 мг/кг (White Lady) до 0,22 (Sir Winston Churchill). Среднее содержание элемента в надземных и подземных органах составляет 0,13 мг/кг, что не превышает МДУ (0,5–1 мг/кг). У сортов White Lady, Quail и у вида *Camassia cusickii* наибольшее количество хрома содержится в надземных органах, у остальных – в подземных (рис. 8).

Результаты исследований показали следующую закономерность в изменении содержания элементов в растительных пробах. Во всех изученных образцах преобладает медь, за исключением луковиц сорта White Lady, в которых в большем количестве содержится мышьяк. Вторым по содержанию является свинец, за исключением подземных органов Actaea, где найдено больше марганца, а также луковиц Sir Winston Churchill и листьев Arctic Gold и *Camassia cusickii*, где больше мышьяка. Выявлено, что концентрация хрома и кадмия всегда минимальна.

Показано, что растения по-разному аккумулируют элементы в подземных и надземных органах. По количественному содержанию в надземных органах у сортов Cassata, Quail, White Lady, Pink Parasol, Calgary элементы располагаются в следующем порядке: Cu > Pb > As > Ni > Mn > Fe > Cr > Cd. Исключение составляет Calgary, где никель накапливается меньше, чем марганец и железо (таблица 1).

По величине содержания в подземных органах у сортов 'Arctic Gold', 'Calgary' элементы располагаются в следующем порядке: Cu > Pb > Ni > Mn > Fe > As > Cr > Cd (таблица 1).

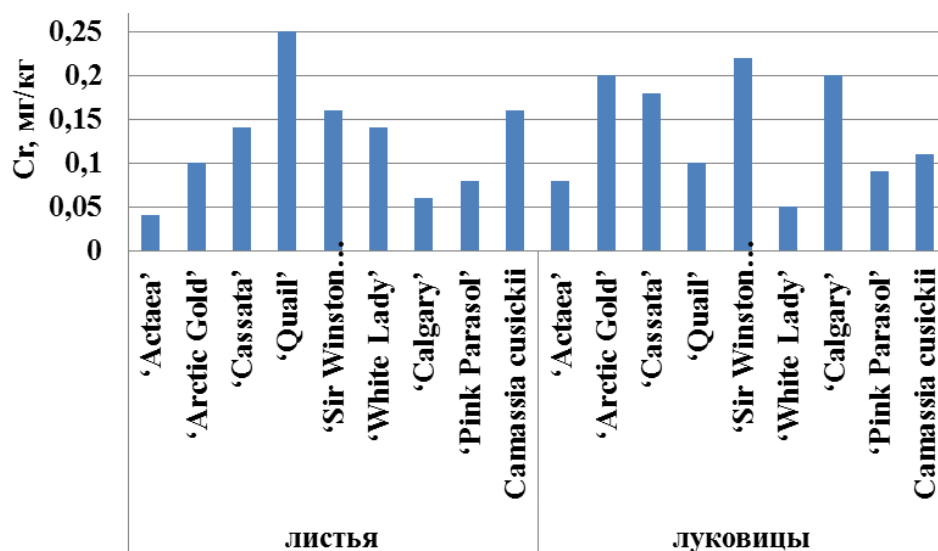
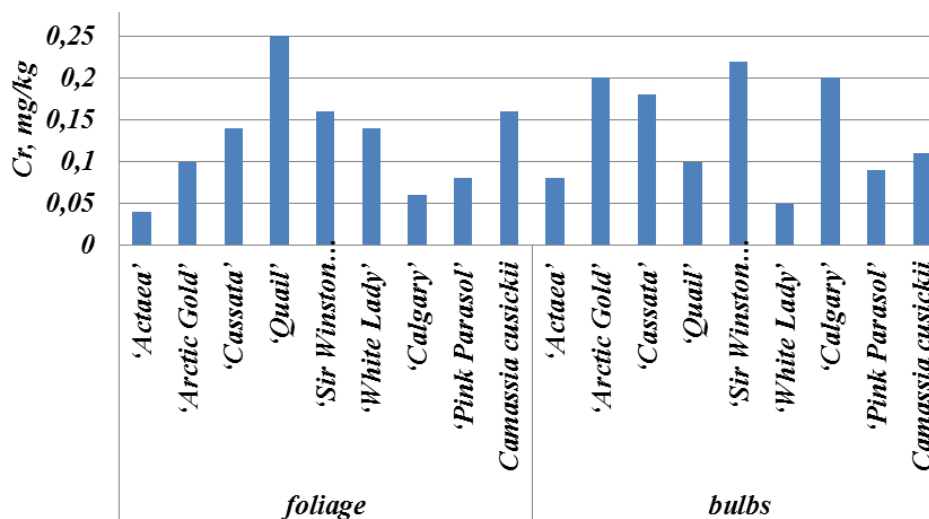
Рис. 8. Содержание хрома в надземных и подземных органах *Narcissus* и *Camassia*Fig. 8. Content of chromium in the aboveground and underground organs of *Narcissus* and *Camassia*

Таблица 1

Ряды накопления элементов в надземных и подземных органах *Narcissus* и *Camassia*

Таксоны	Сырье	Ряды накопления
Actaea	Листья	Cu > Pb > Mn > Fe > Ni > As > Cr > Cd
	Луковица	Cu > Mn > As > Pb > Fe > Ni > Cr > Cd
Arctic Gold	Листья	Cu > As > Ni > Pb > Mn > Fe > Cr > Cd
	Луковица	Cu > Pb > Ni > Mn > Fe > As > Cr > Cd
Cassata	Листья	Cu > Pb > As > Ni > Mn > Fe > Cr > Cd
	Луковица	Cu > Pb > Mn > Fe > Ni > As > Cr > Cd
Quail	Листья	Cu > Pb > As > Ni > Mn > Fe > Cr > Cd
	Луковица	Cu > Pb > Mn > Ni > Fe > As > Cr > Cd
Sir Winston Churchill	Листья	Cu > Pb > Mn > Fe > Ni > As > Cr > Cd
	Луковица	Cu > As > Ni > Pb > Mn > Fe > Cr > Cd
White Lady	Листья	Cu > Pb > As > Ni > Mn > Fe > Cr > Cd
	Луковица	As > Cu > Ni > Pb > Mn > Fe > Cr > Cd
Calgary	Листья	Cu > Pb > As > Mn > Fe > Ni > Cr > Cd
	Луковица	Cu > Pb > Ni > Mn > Fe > As > Cr > Cd
Pink Parasol	Листья	Cu > Pb > As > Ni > Mn > Fe > Cr > Cd
	Луковица	Cu > Pb > As > Ni > Mn > Fe > Cr > Cd
Camassia cusickii	Листья	Cu > As > Ni > Mn > Pb > Fe > Cr > Cd
	Луковица	Cu > Pb > Mn > Fe > Ni > As > Cr > Cd

Table 1

Series of accumulation of elements in aboveground and underground organs of *Narcissus* and *Camassia*

Taxons	Material	The ranks of the accumulation
<i>Actaea</i>	<i>Foliage</i>	$Cu > Pb > Mn > Fe > Ni > As > Cr > Cd$
	<i>Bulbs</i>	$Cu > Mn > As > Pb > Fe > Ni > Cr > Cd$
<i>Arctic Gold</i>	<i>Foliage</i>	$Cu > As > Ni > Pb > Mn > Fe > Cr > Cd$
	<i>Bulbs</i>	$Cu > Pb > Ni > Mn > Fe > As > Cr > Cd$
<i>Cassata</i>	<i>Foliage</i>	$Cu > Pb > As > Ni > Mn > Fe > Cr > Cd$
	<i>Bulbs</i>	$Cu > Pb > Mn > Fe > Ni > As > Cr > Cd$
<i>Quail</i>	<i>Foliage</i>	$Cu > Pb > As > Ni > Mn > Fe > Cr > Cd$
	<i>Bulbs</i>	$Cu > Pb > Mn > Ni > Fe > As > Cr > Cd$
<i>Sir Winston Churchill</i>	<i>Foliage</i>	$Cu > Pb > Mn > Fe > Ni > As > Cr > Cd$
	<i>Bulbs</i>	$Cu > As > Ni > Pb > Mn > Fe > Cr > Cd$
<i>White Lady</i>	<i>Foliage</i>	$Cu > Pb > As > Ni > Mn > Fe > Cr > Cd$
	<i>Bulbs</i>	$As > Cu > Ni > Pb > Mn > Fe > Cr > Cd$
<i>Calgary</i>	<i>Foliage</i>	$Cu > Pb > As > Mn > Fe > Ni > Cr > Cd$
	<i>Bulbs</i>	$Cu > Pb > Ni > Mn > Fe > As > Cr > Cd$
<i>Pink Parasol</i>	<i>Foliage</i>	$Cu > Pb > As > Ni > Mn > Fe > Cr > Cd$
	<i>Bulbs</i>	$Cu > Pb > As > Ni > Mn > Fe > Cr > Cd$
<i>Camassia cusickii</i>	<i>Foliage</i>	$Cu > As > Ni > Mn > Pb > Fe > Cr > Cd$
	<i>Bulbs</i>	$Cu > Pb > Mn > Fe > Ni > As > Cr > Cd$

Рассматривая накопление тяжелых металлов по органам растений, можно отметить, что среднее содержание As, Cu, Pb, Mn, Fe больше в надземных частях. Соотношение среднего содержания Ni, Cr, Cd в надземных и подземных органах совпадает. Таким образом, аккумуляционная способность надземных органов выше, чем луковиц тех же таксонов, или равна им. По литературным данным установлено, что на незагрязненных почвах наименьшее количество тяжелых металлов свойственно органам запаса [14, с. 129].

Анализ визуальных наблюдений показал, что каких-либо нарушений в развитии растений не наблюдается (нет признаков угнетения или аномального увеличения роста). Установлено, что по содержанию элементов, в частности никеля, меди, кадмия, свинца, магния, железа, хрома, исследуемые образцы сырья *Narcissus* и *Camassia* соответствуют предельно допустимым концентрациям. Содержание мышьяка превышает ПДК для лекарственного растительного сырья (0,50 мг/кг) в 3,4 раза. Тем не менее изученные таксоны обладают высокой устойчивостью к накоплению токсического элемента (As) в больших количествах без заметного влияния на внешний вид и метаболизм. Отмечена сортоспецифичность в содержании элементов в луковицах и листьях.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате проведенного анализа выявлено, что содержание никеля, меди, кадмия, свинца, магния, железа, хрома во всех исследованных образцах не превышает норм, установленных в Государственной фармакопее Российской Федерации.

Рассматривая накопление ТМ по органам растений, можно отметить, что базипетальными элементами для большинства растений по усредненным данным являются As, Cu, Pb, Mn, Fe.

Выявлено, что во всех видах сырья преобладает медь, за исключением луковиц сорта *White Lady*. Концентрация хрома и кадмия всегда минимальна.

Результаты исследований позволяют отнести изученные сорта *Narcissus* и *Camassia cusickii* к гипераккумулятору мышьяка и использовать данные таксоны в фиторе-медиационных технологиях на городских территориях.

Полученные результаты могут представлять интерес в области контроля экологической обстановки в зоне культивирования изучаемых растений.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России» и в рамках государственного задания ЮУБСИ УФИЦ РАН по теме АААА-А18-118011990151-7.

Библиографический список

1. Седельникова Л. Л., Чанкина О. В. Содержание тяжелых металлов в вегетативных органах красодневы гибридного (*Heimerocallis hybrida*) в урбанизированной среде // Вестник КрасГу. 2016. № 2. С. 34–43.
2. Седельникова Л. Л., Чанкина О. В. Изменчивость коэффициента биологического поглощения тяжелых металлов вегетативными органами *Heimerocallis hybrida* // Ученые записки ЗабГУ. 2017. Т. 12. № 1. С. 45–51.
3. Щукин В. М., Кузьмина Н. Е., Швецова Ю. Н., Лутцева А. И. Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов и мышьяка в различных лекарственных формах растительных препаратов российского фармацевтического рынка // Ведомости научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2020. Т. 10. № 1. С. 41–50. DOI: 10.30895/1991-2919-2020-10-1-41-50.

4. Базарнова Н. Г., Тихомирова Л. И., Сеницына А. А., Афанасенкова И. В. Сравнительный анализ химического состава сырья *Iris sibirica* L. // Химия растительного сырья. 2017. № 4. С. 137–144. DOI: 10.14258/jcprm.2017042741.
5. Яцюк В. Я., Елецкая О. А. Элементный состав некоторых видов сырья *Aesculus hippocastanum* L. // Научные ведомости БелГУ. Серия: Медицина. Фармация. 2017. № 26 (275). Вып. 40. С. 158–167.
6. Кенжебаева А. В. Содержание тяжелых металлов в растениях прибрежной зоны восточного Прииссыккуля // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 1. С. 115–119.
7. Елагина Д. С., Архипова Н. С., Сибгатуллина М. Ш. Изучение особенностей накопления тяжелых металлов растениями *Amaranthus retroflexus* L. // Молодые ученые и фармация XXI века: сборник научных трудов Четвертой научно-практической конференции с международным участием. Москва, 2016. С. 189–195.
8. Мажайский Ю. А., Гальченко С. В., Гусева Т. М., Чердакова А. С. Накопление тяжелых металлов декоративными цветочными культурами // Успехи современной науки и образования. 2016. № 9. Т. 3. С. 203–205.
9. Биглова А. Р., Реут А. А. Оценка декоративных признаков представителей рода *Narcissus* L. в Южно-Уральском ботаническом саду-институте УФИЦ РАН // Плодоводство и ягодоводство России. 2020. Т. 62. С. 142–151. DOI: 10.31676/2073-4948-2020-62-142-151.
10. Воронин А. А., Сафонова О. Н. Разнообразие травянистых декоративных интродуцентов в коллекционном фонде Ботанического сада Воронежского госуниверситета // Прошлое, настоящее ботанического сада и его роль в науке и образовании. Воронеж, 2016. С. 66–71.
11. Симонова О. А., Симонов М. В., Товстик Е. В. Сортные особенности биоаккумуляции железа в растениях ячменя // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3 (23). С. 142–150. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-142-151.
12. Государственная фармакопея Российской Федерации: в 3 томах [Электронный ресурс]. URL: <http://femb.ru/feml> (дата обращения: 01.11.2020).
13. Побилат А. Е., Волошин Е. И. Марганец в почвах и растениях южной части средней Сибири // Микроэлементы в медицине. 2017. № 18 (2). С. 43–47. DOI: 10.19112/2413-6174-2017-18-2-43-47.
14. Байкалова Т. В., Байкалов П. С., Коротченко И. С. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове, листьях березы под воздействием промышленности г. Красноярска // Вестник КрасГАУ. 2017. № 5. С. 123–130.
15. ПДК тяжелых металлов в продовольственном сырье и пищевых продуктах. Сан ПиН 42-123-4089-86 от 31.03.86 [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=259784> (дата обращения: 16.11.2020).
16. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293725/4293725464.htm> (дата обращения: 16.11.2020).

Об авторах:

Антонина Анатольевна Реут¹, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-4809-6449, AuthorID 625318; +7 917 465-18-89, cvetok.79@mail.ru

Айгуль Радиковна Биглова¹, младший научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений ORCID 0000-0002-5729-8261, AuthorID 961279; +7 987 146-81-86, ajgul.biglova@mail.ru

Ирина Нагимовна Аллаярова¹, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений, ORCID 0000-0002-4575-7301, AuthorID 908455; +7 937 317-86-78, allayarowairina@yandex.ru

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

Comparative analysis of the chemical composition of plant materials of some representatives of the genera *Narcissus* L. and *Camassia* Lindl.

A. A. Reut¹✉, A. R. Biglova¹, I. N. Allayarova¹

¹ 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

Abstract. Purpose. Heavy metals can have a negative effect on plants, animals and humans if their concentration exceeds certain limits. Therefore, it is important to establish the characteristics of the accumulation of heavy metals and to determine the elemental composition of aboveground (leaves) and underground (bulbs) organs in plant samples of 8 varieties of *Narcissus*

hybridus hort. (Actaea, Arctic Gold, Cassata, Quail, Sir Winston Churchill, White Lady, Calgary, Pink Parasol) and *Camassia cusickii* S. Wats. in the urbanized environment of the city of Ufa (Republic of Bashkortostan). **Methods.** The study of the elemental composition of the samples was carried out according to the method of quantitative chemical analysis “Determination of As, Pb, Cd, Sn, Cr, Cu, Fe, Mn and Ni in laboratory samples of food products and food raw materials by the atomic absorption method with electrothermal atomization No. M-02-1009-08”. **Scientific novelty.** This work is the first to analyze the results of the content of individual elements in aboveground and underground organs in samples of cultivated floral and ornamental plants in the forest-steppe zone of the Bashkir Cis-Urals. **Results.** It was found that the content of nickel, copper, cadmium, lead, magnesium, iron, chromium in all the samples studied does not exceed the standards specified in the State Pharmacopoeia of the Russian Federation (SP RF). The arsenic content exceeds the standards specified in the SP RF by 3.4 times. Revealed a high intensity of biological absorption of copper. The peculiarity of the accumulation of individual elements by different taxa of the studied plants is noted. It has been established that the concentrations of As, Cu, Pb, Mn, Fe in the aboveground organs are higher than in the underground part of plants; the ratio of the content of Ni, Cr, Cd in aboveground and underground organs is the same. As a result of these studies, it was recommended to use the studied cultivars as a phytoremediator of arsenic.

Keywords: biology, introduction, *Narcissus*, *Camassia*, heavy metals, elemental composition.

For citation: Reut A. A., Biglova A. R., Allayarova I. N. Sravnitel'nyy analiz khimicheskogo sostava rastitel'nogo syr'ya nekotorykh predstaviteley rodov *Narcissus* L. i *Camassia* Lindl. [Comparative analysis of the chemical composition of plant materials of some representatives of the genera *Narcissus* L. and *Camassia* Lindl.] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 02 (205). Pp. 79–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-79-90. (In Russian.)

Paper submitted: 19.01.2021.

References

1. Sedel'nikova L. L., Chankina O. V. Soderzhanie tyazhelykh metallov v vegetativnykh organakh krasodnava gibridnogo (*Hemerocallis hybrida*) v urbanizirovannoy srede [The content of heavy metals in the vegetative organs of *Hemerocallis hybrida* in urban environment] // Bulletin of KrasSAU. 2016. No. 2. Pp. 34–43. (In Russian.)
2. Sedel'nikova L. L., Chankina O. V. Izmenchivost' koeffitsienta biologicheskogo pogloshcheniya tyazhelykh metallov vegetativnymi organami *Hemerocallis hybrida* [Variability in the coefficient of biological absorption of heavy metals in *Hemerocallis hybrida* vegetative organs] // Scholarly Notes of Transbaikalian State University. 2017. Vol. 12. No. 1. Pp. 45–51. (In Russian.)
3. Shchukin V. M., Kuz'mina N. E., Shvetsova Yu. N., Luttseva A. I. Sravnitel'nyy analiz soderzhaniya tyazhelykh metallov i mysh'yaka v razlichnykh lekarstvennykh formakh rastitel'nykh preparatov rossiyskogo farmatsevticheskogo rynka [Comparative analysis of heavy metal and arsenic content in various herbal dosage forms marketed in Russia] // The Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products. 2020. Vol. 10. No. 1. Pp. 41–50. DOI: 10.30895/1991-2919-2020-10-1-41-50. (In Russian.)
4. Bazarnova N. G., Tikhomirova L. I., Sinitsyna A. A., Afanasenkova I. V. Sravnitel'nyy analiz khimicheskogo sostava syr'ya *Iris sibirica* L. [Comparative analysis of the chemical composition of plant raw material *Iris sibirica* L.] // Chemistry of plant raw material. 2017. No. 4. Pp. 137–144. DOI: 10.14258/jcprm.2017042741. (In Russian.)
5. Yatsyuk V. Ya., Eletskaya O. A. Elementnyy sostav nekotorykh vidov syr'ya *Aesculus hippocastanum* L. [Element composition of some types raw materials of *Aesculus hippocastanum* L.] // Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya: Meditsina. Farmatsiya. 2017. No. 26 (275). Iss. 40. Pp. 158–167. (In Russian.)
6. Kenzhebaeva A. V. Soderzhanie tyazhelykh metallov v rasteniyakh pribrezhnoy zony vostochnogo Priisyykul'ya [The content of heavy metals in plants of the coastal zone of the eastern Issyk-Kul region] // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2019. No. 1. Pp. 115–119. (In Russian.)
7. Elagina D. S., Arkhipova N. S., Sibgatullina M. Sh. Izuchenie osobennostey nakopleniya tyazhelykh metallov rasteniyami *Amaranthus retroflexus* L. [The research characteristics of accumulation of heavy metals in *Amaranthus retroflexus* L.] // Molodye uchenye i farmatsiya XXI veka: sbornik nauchnykh trudov Chetvertoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Moscow, 2016. Pp. 189–195. (In Russian.)
8. Mazhayskiy Yu. A., Gal'chenko S. V., Guseva T. M., Cherdakova A. S. Nakoplenie tyazhelykh metallov dekorativnymi tsvetochnymi kul'turami [Accumulation of heavy metals decorative floral cultures] // Success of modern science and education. 2016. No. 9. Vol. 3. Pp. 203–205. (In Russian.)
9. Biglova A. R., Reut A. A. Otsenka dekorativnykh priznakov predstaviteley roda *Narcissus* L. v Yuzhno-Ural'skom botanicheskom sadu-institute UFITS RAN [Assessment of decorative features of representatives of the genus *Narcissus* L. in the South-Ural Botanical Garden-Institute of the UFRS RAS] // Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2020. Vol. 62. Pp. 142–151. DOI: 10.31676/2073-4948-2020-62-142-151. (In Russian.)
10. Voronin A. A., Safonova O. N. Raznoobrazie travyanistykh dekorativnykh introdutsentov v kollektsionnom fonde Botanicheskogo sada Voronezhskogo gosuniversiteta [Variety of herbaceous ornamental introduced species in the collection fund of the Botanical Garden of Voronezh State University] // Proshloe, nastoyashchee botanicheskogo sada i ego rol' v nauke i obrazovanii. Voronezh, 2016. Pp. 66–71. (In Russian.)

11. Simonova O. A., Simonov M. V., Tovstik E. V. Sortovye osobennosti bioakkumulyatsii zheleza v rasteniyakh yachmenya [Varietal features of iron bioaccumulation in barley plants] // Taurida herald of the agrarian sciences. 2020. No. 3 (23). Pp. 142–150. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-142-151. (In Russian.)
12. Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii: v 3 tomakh [State Pharmacopoeia of the Russian Federation: in 3 volumes] [e-resource] // XIII ed. Moscow, 2015. URL: <http://femb.ru/feml> (date of reference: 01.11.2020). (In Russian.)
13. Pobilat A. E., Voloshin E. I. Marganets v pochvakh i rasteniyakh yuzhnoy chasti sredney Sibiri [Manganese in soils and plants of the southern part of central Siberia] // Trace elements in medicine. 2017. No. 18 (2). Pp. 43–47. DOI: 10.19112/2413-6174-2017-18-2-43-47 (In Russian.)
14. Baykalova T. V., Baykalov P. S., Korotchenko I. S. Soderzhanie tyazhelykh metallov v pochvennom pokrove, list'yakh berezy pod vozdeystviem promyshlennosti g. Krasnoyarska [The content of heavy metals in the soil cover, birch leaves under the influence of the industry of Krasnoyarsk] // Bulletin of KrasSAU. 2017. No. 5. Pp. 123–130. (In Russian.)
15. PDK tyazhelykh metallov v prodovol'stvennom syr'e i pishchevykh produktakh. San PiN 42-123-4089-86 ot 31.03.86 [MPC of heavy metals in food raw materials and food products. Sanitary and epidemiological rules and regulations, 42-123-4089-86 of 31.03.86] [e-resource]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=259784> (date of reference: 16.11.2020). (In Russian.)
16. Vremennyy maksimal'no dopustimyy uroven' (MDU) nekotorykh khimicheskikh elementov i gossipola v kormakh dlya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh [Temporary maximum permissible level of some chemical elements and gossypol in feed for farm animals] [e-resource]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293725/4293725464.htm> (date of reference: 16.11.2020). (In Russian.)

Authors' information:

Antonina A. Reut¹, candidate of biological sciences, leading researcher of the laboratory for the introduction and selection of floral plants, ORCID 0000-0002-4809-6449, AuthorID 625318; +7 917 465-18-89, cvetok.79@mail.ru

Aygul R. Biglova¹, junior researcher of the laboratory for the introduction and selection of floral plants, ORCID 0000-0002-5729-8261, AuthorID 961279; +7 987 146-81-86, ajgul.biglova@mail.ru

Irina N. Allayarova¹, candidate of biological sciences, junior researcher of the laboratory for the introduction and selection of floral plants, ORCID 0000-0002-4575-7301, AuthorID 908455; +7 937 317-86-78, allayarowairina@yandex.ru

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

Морфо-этологическая характеристика медоносных пчел *Apis mellifera* L. Пермского края

М. К. Симанков¹✉, Л. М. Колбина²

¹ Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия

² Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск, Россия

✉ E-mail: simmix@yandex.ru

Аннотация. Занимая широкий ареал и обитая в разных климатических зонах, среднерусские медоносные пчелы (*Apis mellifera mellifera* L.) разделились на множество популяций. Исследование морфологических признаков всех стаз пчелиной семьи и описание их этологических особенностей дает возможность более полно характеризовать и выделять ту или иную группу пчел. **Цель работы** заключалась в описании основных морфологических и некоторых этологических признаков пчелиных маток искусственной репродукции, трутней и рабочих особей среднерусских медоносных пчел Пермского края. **Методы.** Исследования проведены на разведенческой пасеке Пермского края, на пчелиных семьях среднерусской породы. Морфометрические исследования выполнены по общепринятой методике с использованием компьютерных технологий. **Научная новизна.** Впервые наиболее полно описаны морфологические и этологические признаки медоносных пчел Пермского края, также проведены экспериментальные работы по использованию новой технологии репродукции неплодных пчелиных маток. **Результаты исследований и их практическая значимость.** В многолетней динамике показано, что по основным пороодоопределяющим морфометрическим и этологическим признакам исследованные особи всех стаз пчелиной семьи принадлежат к среднерусской породе. Полученные результаты можно будет использовать в процессе идентификации пчел пермской популяции и осуществлении селекционного процесса на пасеках региона. Новый способ искусственного вывода неплодных маток позволил получить маток соответствующих стандарту среднерусской породы и может быть применен в практическом матководстве. Проведены наблюдения за летной активностью трутней и хронометраж полетов неплодных пчелиных маток, результаты которых могут быть использованы на практике в процессе получения плодных маток.

Ключевые слова: медоносная пчела, среднерусская порода, рабочие пчелы, неплодные матки, трутни, морфометрия, репродукция маток, летная активность.

Для цитирования: Симанков М. К. Колбина, Л. М. Морфо-этологическая характеристика медоносных пчел *Apis mellifera* L. Пермского края // Аграрный вестник Урала. 2021. № 02 (205). С. 91–100. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-91-100.

Дата поступления статьи: 30.10.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

В процессе адаптации медоносные пчелы (*Apis mellifera* L.), обитавшие в разных климатических условиях, приобрели соответствующие морфо-этологические характеристики, которые позволяли им выживать в условиях локальных местообитаний. На территории Европейской территории Российской Федерации с разнообразными природно-климатическими условиями распространены среднерусские (*Apis mellifera mellifera* L.), серые горные кавказские (*Apis mellifera caucasica* Poll.) и карпатские (*Apis mellifera carpathica* Fotietal., 1965) породы медоносных пчел [1, с. 62]. Аборигенными для большей территории РФ являются среднерусские пчелы. Благодаря хорошей зимостойкости, устойчивости к ряду заболеваний, высокой яйценоскости маток, эффективно-му использованию позднелетнего сильного медосбора, эти пчелы районированы в 52 регионах Центрального,

Северо-Западного, Приволжского, Уральского, Сибирского федеральных округов и составляют 60 % от общего количества пчелиных семей в стране [2, с. 41]. Занимая широкий ареал и обитая в разных климатических зонах, они разделились на множество популяций. В России по территориальной принадлежности выделяют башкирскую, бурзянскую, вологодскую, верхнекамскую, горно-алтайскую, красноярскую, татарскую, уральскую популяции [3, с. 86]. Описаны местные среднерусские пчелы Чувашской Республики [4, с. 84]. Для определения различных групп пчел наиболее часто применяют сравнительно-морфологический метод и молекулярно-генетический анализ [5, с. 64], [6, с. 933]. Существует автоматизированный геометрический анализ крыла, позволяющий идентифицировать известные породы пчел [7, с. 179]. Как правило, подобные исследования проводят на рабочих особях. В последние десятилетия эта работа ос-

ложняется процессом бессистемной метизации местных пчел более миролюбивыми породами, в результате чего во многих регионах страны место чистопородных пчел заняли помеси [8, с. 21]. Аборигенные популяции наиболее приспособлены к местным природно-климатическим условиям. Их исчезновение приведет к потере уникальных признаков, сформированных в результате естественного отбора, и может привести к потере устойчивости развития пчеловодства. Исследование и мониторинг морфологических признаков всех стаз пчелиной семьи, описание их этологических особенностей дает возможность более полно характеризовать, выделять и сохранять ту или иную популяцию пчел.

Среднерусские пчелы самые крупные по сравнению с пчелами любых других пород, отличаются самым коротким хоботком, самым высоким кубитальным индексом. Фенотипическая оценка предусматривает изучение окраски кутикулы брюшка (тергитов), существенно изменяющейся у разных пород медоносных пчел. Например, у чистопородных среднерусских пчел окрас кутикулы темный, у помесных пчел часто присутствуют элементы желтизны на первых тергитах брюшка. Учитывая, что ген желтой окраски является доминирующим, желтизна на тергитах подтверждает наличие у исследуемых особей генов итальянской, желтой кавказской пород медоносных пчел [9, с. 20].

Для среднерусских пчел характерна высокая склонность к роению. При этом они закладывают незначительное количество маточников, в среднем 10 [10, с. 25]. Среднерусские пчелы башкирской популяции закладывают до 15 маточников [9, с. 12]. По ГОСТ Р 55487-2013¹ окраска тела неплодных среднерусских пчелиных маток темно-серая, масса должна быть не менее 195 мг, ширина третьего тергита – не менее 5,7 мм. Неплодная матка спаривается один раз в жизни с 10–12 трутнями одновременно [11, с. 42]. Перед брачным полетом матка осуществляет несколько ориентировочных облетов, во время которых запоминает месторасположение улья, его окраску и форму, расположение летка. Брачный вылет она совершает в теплую солнечную погоду, обычно между 12:00 и 17:00 часами, во время которого спаривается с трутнями [12, с. 16].

Для трутней среднерусской породы характерна темная окраска хитинового покрова, масса – $258,7 \pm 1,42$ мг, ширина третьего тергита – $6,9 \pm 0,07$ мм [3, с. 89], [13, с. 66]. Трутни из трех стаз медоносной пчелы выделяются высокой изменчивостью массы тела и морфометрических признаков. В значительной мере это связано с возможностью их развития в ячейках сотов, различающихся по размеру [14, с. 12]. Полеты трутней происходят обычно в то время дня, когда температура достигает наибольшей величины, а относительная влажность воздуха – наименьшей, при безоблачном небе и небольшой скорости ветра. Массовый вылет трутней на спаривание отмечается с 13:00 до 14:00, достигая максимума в 16:00–17:00 [12, с. 16].

Цель настоящей работы заключалась в описании основных морфологических и некоторых этологических признаков пчелиных маток искусственной репродукции, трутней и рабочих особей среднерусских медоносных пчел Пермского края.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили на северо-восточной границе естественного ареала обитания медоносных пчел, на одной из разведенческих пасек Пермского края (хозяйство «Покровское», Осинский район). На пасеке длительное время проводили селекцию в направлении сохранения и размножения более продуктивных и зимостойких семей местных пчел, по морфологическим признакам соответствующим среднерусской породе. Соответствие было подтверждено результатами генетических и морфометрических исследований [6, с. 937], [15, с. 15].

Для морфометрических исследований в сентябре отбирали по 24 рабочих пчелы от 10 % пчелиных семей пасеки. Трутней отбирали из разных зон внутриульевого пространства от 10 пчелиных семей – по 10 особей в августе. Исследованию подвергали также 50 неплодных маток, полученных в результате искусственной репродукции в семьях-воспитательницах, содержавших 9–10 рамок разновозрастного расплода и не менее 25–35 тысяч рабочих пчел. Пять семей-воспитательниц подготавливали в июне. За сутки до интродукции личинок в семье-воспитательнице отбирали матку, гнездо сокращали до 7–8 рамок, из них 4–5 рамок с запечатанным расплодом (стадия куколки), между которыми размещали 1 рамку с открытым расплодом (стадия личинки). В репродукции маток в 1999 г. применяли пластмассовый «джентерский» сот немецкого производства по традиционной технологии с размещением пластмассовых мисочек на прививочной рамке. В 2020 г. использовали новый способ искусственного вывода маток² с применением разработанных нами пластмассовых мисочек с клиновым держателем³ (рис. 1).

Предварительно окунаем на поверхность мисочек наносили слой воска. На боковой и нижней частях сота одной из сторон рамки с открытым расплодом закрепляли по 15 пластмассовых мисочек, внедряя клиновые держатели в восковую сот (рис. 2).

Рамку с мисочками возвращали в семью-воспитательницу для обработки их пчелами, через сутки извлекали и переносили в помещение с температурой 25–35 °С и относительной влажностью воздуха 70–80 %. Однодневных пчелиных личинок из ячеек сота материнской семьи шпателем переносили в пластиковые маточные мисочки с клиновым держателем. Затем рамку с мисочками и перенесенными в них личинками возвращали на прежнее место в семью-воспитательницу. После отстройки и запечатывания маточников, их извлекали из сота заключали в маточные клеточки и помещали в инкубатор с температурой $34,5 \pm 0,5$ °С и относительной влажностью воздуха 50–70 %. Для определения основных размеров исследуемых особей пчелиных семей использовали морфометрический метод [5,

¹ ГОСТ Р 55487-2013 «Матка пчелиная. Технические условия».

² Свидетельство о государственной регистрации заявки на изобретение РФ № 2020124062. Симанков М. К. Способ искусственного вывода неплодных пчелиных маток. ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ. Заяв. 13.07.2020.

³ Патент РФ № 2319376. Верещагин А. Н., Симанков М. К., Коровов Н. В. Способ изготовления восковой мисочки. ФГБОУ ВПО ПГГПУ. Заяв. № 2006101002, 10.01.2006. Опубл. 20.03.2008.

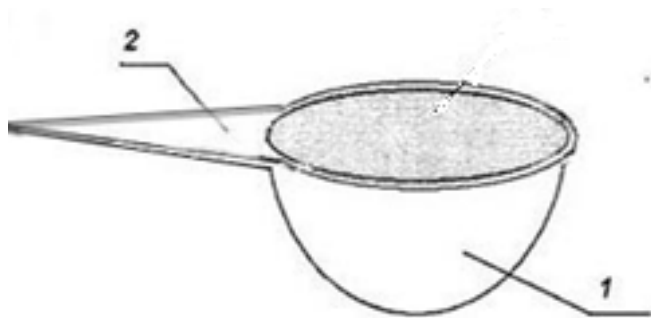


Рис. 1. Пластмассовая маточная мисочка с клиновым держателем (1 – мисочка Ø 9мм, 2 – клиновой держатель)
Fig. 1. Plastic queen bowl with wedge holder (1 – bowl 9mm, 2 – wedge holder)

с. 64]. Он основан на измерении препарированных частей тела насекомых линейкой окуляр-микрометра бинокулярного микроскопа с последующим переводом полученных значений в миллиметры. В результате появления новых компьютерных технологий и программ в классическую методику морфометрических исследований были внесены некоторые изменения, ускоряющие и облегчающие работу [16, с. 44]. В частности, в морфометрических исследованиях измеряли не реальные препарированные части тела, а их оцифрованные изображения. Зафиксированные между двумя лентами прозрачного скотча хоботок, правое переднее крыло и третий тергит сканировали на планшетном сканере и выводили на монитор в программе просмотра изображений. Измерения производили экранной (мониторной) линейкой mySize [17], увеличивая реальные размеры в десять раз. Перед измерением производили калибровку экранной линейки. После этого численные значения экранной линейки в сантиметрах соответствовали значениям в миллиметрах, полученным линейкой окуляр-микрометра бинокулярного микроскопа МБС-10. Данные заносили в электронные таблицы Microsoft Excel для статистической обработки. Для изучения кубитального индекса использовали метод геометрической морфометрии [7, с. 179]. Отсканированные изображения крыльев обрабатывали в координаторе Cybis CooRecorder. Полученный

массив координат точек отправляли в программу «Порода по крыльям» для вычисления кубитального индекса [18, с. 14].

В первые 1–3 часа после выхода маток из маточников производили их взвешивание на торсионных весах типа WT (предел измерений – 500 мг, погрешность измерения – 1 мг). Массу тела трутней определяли непосредственно после отбора из улья. Летную активность трутней регистрировали в период с 12:00 до 20:00, подсчитывая количество прилетающих особей в начале каждого часа в течение 10 минут с дальнейшим переводом на час. Летную активность неплодных маток записывали на автомобильный видеорегиистратор, размещая его вблизи леткового отверстия с последующим просмотром и фиксированием времени и длительности их полетов. Хронометраж полетов пчелиных маток проводили в июне, июле и августе на трех особях возрастом 7–10 дней после выхода из маточника, которых вечером подсаживали в нуклеусы. На следующий день с 13:00 до 18:00 проводили видеосъемку. Морфометрические исследования выполнены в лаборатории учебно-научного Центра «Экологии и морфофизиологии медоносной пчелы» Пермского государственного аграрно-технологического университета.

Результаты (Results)

По результатам исследований установлено, что окрас хитинового покрова пчел на обследуемой пасеке – темно-серый. В отдельные годы в некоторых семьях (1–2 % семей пасеки) встречались особи с желтыми пятнами на краях первого тергита брюшка или с желтыми 1–2 тергитами. Поведение пчел соответствует среднерусским: при вскрытии улья беспокойно бегают по соту, вынутому из гнезда, и повисают на нем гроздью. Выявлено, что в роевое состояние без принятия противоречивых мероприятий приходят до 100 % семей. При этом они отстраивают 8–14 маточников. Период роевания начинается в конце мая и продолжается до первых чисел июля. Пик приходится на вторую-третью декаду июня. Этому способствует отсутствие достаточного количества цветущих медоносов, обеспечивающих продуктивный медосбор в июне. С началом цветения лугового разнотравья, кипрея узколист-



Рис. 2. Расположение пластмассовых мисочек на соте
Fig. 2. The location plastic bowls on comb

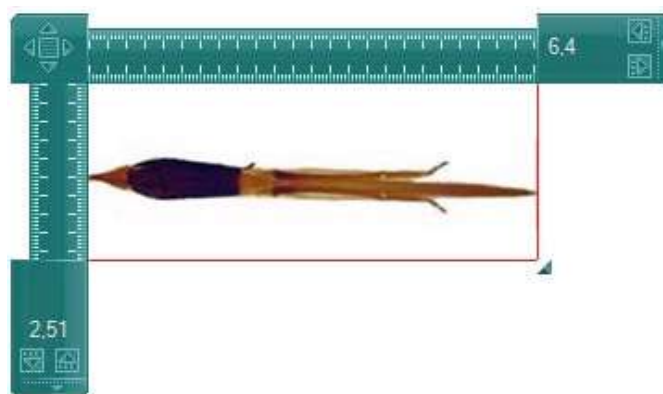


Рис. 3. Измерение длины хоботка мониторной линейкой mySize
Fig. 3. The measurement the length of proboscis with the monitor ruler "mySize"

Таблица 1
Морфометрические признаки пчел

Признак	Год (количество особей)						Стандарт средне- русских пчел [9, с. 7]
	1995 (n = 600)	2000 (n = 408)	2005 (n = 504)	2010 (n = 288)	2015 (n = 240)	2017 (n = 216)	
Длина хоботка $M \pm m$ (мм) Lim (мм) Cv (%)	$6,09 \pm 0,006$ 5,60–6,55 2,5	$5,98 \pm 0,004$ 5,75–6,30 1,5	$6,15 \pm 0,005$ 5,60–6,50 2,0	$6,04 \pm 0,007$ 5,60–6,35 1,4	$5,90 \pm 0,009$ 5,50–6,50 2,5	$6,05 \pm 0,008$ 5,70–6,40 2,5	5,9–6,4
Длина 3-го тергита $M \pm m$ (мм) Lim (мм) Cv (%)	$2,39 \pm 0,004$ 2,00–2,60 4,2	$2,23 \pm 0,005$ 2,10–2,35 3,1	$2,31 \pm 0,004$ 2,00–2,55 3,9	$2,27 \pm 0,005$ 1,90–2,50 3,3	$2,30 \pm 0,005$ 2,10–2,60 3,0	$2,41 \pm 0,004$ 2,3–2,6 2,5	2,35
Ширина 3-го тергита $M \pm m$ (мм) Lim (мм) Cv (%)	$4,97 \pm 0,006$ 4,45–5,50 3,0	$4,97 \pm 0,005$ 4,50–5,50 2,0	$5,06 \pm 0,006$ 4,70–5,60 2,7	$5,02 \pm 0,007$ 4,70–5,50 2,9	$4,90 \pm 0,006$ 4,70–5,10 1,9	$5,00 \pm 0,008$ 4,70–5,60 2,3	5,0
Кубитальный индекс $M \pm m$ (%) Lim (%) Cv (%)	$55,7 \pm 0,31$ 36–81 13,6	$59,6 \pm 0,64$ 40–87 14,9	$56,2 \pm 0,30$ 40–82 11,0	$56,8 \pm 0,35$ 47–69 12,3	$63,7 \pm 0,63$ 32–92 15,4	$64,1 \pm 0,65$ 42–92 14,9	60–65

Table 1
Morphometric characteristics of bees

The feature	Year (number of individuals)						The stan- dard of European dark bees [9, p. 7]
	1995 (n = 600)	2000 (n = 408)	2005 (n = 504)	2010 (n = 288)	2015 (n = 240)	2017 (n = 216)	
Length of pro- boscis $M \pm m$ (mm) Lim (mm) Cv (%)	6.09 ± 0.006 5.60–6.55 2.5	5.98 ± 0.004 5.75–6.30 1.5	6.15 ± 0.005 5.60–6.50 2.0	6.04 ± 0.007 5.60–6.35 1.4	5.90 ± 0.009 5.50–6.50 2.5	6.05 ± 0.008 5.70–6.40 2.5	5.9–6.4
Length of 3 rd tergite $M \pm m$ (mm) Lim (mm) Cv (%)	2.39 ± 0.004 2.00–2.60 4.2	2.23 ± 0.005 2.10–2.35 3.1	2.31 ± 0.004 2.00–2.55 3.9	2.27 ± 0.005 1.90–2.50 3.3	2.30 ± 0.005 2.10–2.60 3.0	2.41 ± 0.004 2.3–2.6 2.5	2.35
Width of 3 rd ter- gite $M \pm m$ (mm) Lim (mm) Cv (%)	4.97 ± 0.006 4.45–5.50 3.0	4.97 ± 0.005 4.50–5.50 2.0	5.06 ± 0.006 4.70–5.60 2.7	5.02 ± 0.007 4.70–5.50 2.9	4.90 ± 0.006 4.70–5.10 1.9	5.00 ± 0.008 4.70–5.60 2.3	5.0
Cubital index $M \pm m$ (%) Lim (%) Cv (%)	55.7 ± 0.31 36–81 13.6	59.6 ± 0.64 40–87 14.9	56.2 ± 0.30 40–82 11.0	56.8 ± 0.35 47–69 12.3	63.7 ± 0.63 32–92 15.4	64.1 ± 0.65 42–92 14.9	60–65

ного и липы мелколистной роение прекращается (конец июня – начало июля). Ячейки с медом пчелы запечатывают с прослойкой воздуха – белой «сухой» печаткой. Основные линейные мерные признаки, полученные в разные годы, подтверждают их незначительную изменчивость ($C_v = 1,4...4,2\%$) в пределах значений характерных для среднерусских пчел (таблица 1). Наиболее изменчив кубитальный индекс ($C_v = 11,0...15,4\%$), при этом к 2017 г. он достоверно ($t = 11,7$) больше на 8,4 %, чем в 1995 г., и соответствует стандарту среднерусских пчел. Относительно низкое значение кубитального индекса в отдельные годы, а также встречающаяся «желтизна» на первых тергитах брюшка может свидетельствовать о незначительной метизации «южными» породами пчел.

В условиях Пермского края первые трутни появляются в начале мая и в течение августа пчелы изгоняют их из ульев. Исследованные трутни, имеют темную и однородную окраску хитина без желтизны. Опушение на груди коричневого цвета. Сравнивая основные морфологические признаки трутней отобранных в августе в разные годы можно отметить, что признаки отличаются большей вариабельностью, чем у рабочих особей (таблица 2). При этом масса тела и линейные признаки трутней 2020 года недостоверно отличаются в меньшую сторону от соответствующих показателей 1999 года. Кубитальный индекс наиболее изменчив ($C_v = 16,5...20,6\%$), и в 2020 г. он достоверно ($t = 2,6$) больше на 5,4 %.

Летную активность трутней регистрировали 20–28 июля в период с 12:00 до 20:00 (рис. 4).

Установлено, что лет трутней начинался с 13 часов, увеличивался к 17 часам и заканчивался после 20 часов. Максимальное количество трутней, вылетевших на облет, зарегистрировано в период 16:00–17:00. Такую же закономерность наблюдали Е. К. Еськов, М. Д. Еськова [12, с. 16].

Матки из семей пасеки при извлечении рамки из гнезда прекращают откладывание яиц, активно передвигаются по соту и прячутся от света. Имеют темно-коричневую или темно-вишневую окраску тергитов брюшка, стерниты немного светлее, коричневее. Откладывание яиц некоторые матки (около 10 %) заканчивают в первой половине августа, в основном – в первой половине сентября. Установлено, что количество принятых личинок в 2020 г. в пластмассовых мисочках с клиновым держателем находилось в пределах от 3 до 16 шт. (в среднем $8,4 \pm 1,53$). При этом пчелы на соте отстраивали от 5 до 11 шт. (в среднем $7,6 \pm 0,88$) свищевых маточников. Всего в среднем одна семья отстраивала по $16,0 \pm 0,92$ шт. (lim – 14–21) маточников. Вероятно, для увеличения процента приема личинок на маточное воспитание необходимо прививать их на маточное молочко, применять семьи-воспитательницы с «полным осиротением», осуществлять стимулирующую подкормку сахарным сиропом. Морфометрическим исследо-

Таблица 2
Морфологические признаки трутней ($n = 100$)

Признак	Год		<i>t</i>
	1999	2020	
Масса $M \pm m$ (мг) <i>Lim</i> (мг) <i>Cv</i> (%)	$246,5 \pm 2,57$ 199–337 11,9	$245,2 \pm 1,33$ 200–339 12,5	0,5
Длина 3-го тергита $M \pm m$ (мм) <i>Lim</i> (мм) <i>Cv</i> (%)	$3,04 \pm 0,018$ 2,75–3,40 5,9	$3,00 \pm 0,016$ 2,62–3,33 5,3	1,7
Ширина 3-го тергита $M \pm m$ (мм) <i>Lim</i> (мм) <i>Cv</i> (%)	$6,67 \pm 0,030$ 6,00–7,40 4,5	$6,60 \pm 0,036$ 5,93–7,43 5,5	1,5
Кубитальный индекс $M \pm m$ (%) <i>Lim</i> (%) <i>Cv</i> (%)	$74,1 \pm 1,22$ 40–116 16,5	$79,5 \pm 1,64$ 49–135 20,6	2,6

Table 2
The morphological features of the drones ($n = 100$)

The feature	Year		<i>t</i>
	1999	2020	
Weight $M \pm m$ (mg) <i>Lim</i> (mg) <i>Cv</i> %	246.5 ± 2.57 199–337 11.9	245.2 ± 1.33 200–339 12.5	0.5
Length of 3 rd tergite $M \pm m$ (mm) <i>Lim</i> (mm) <i>Cv</i> %	3.04 ± 0.018 2.75–3.40 5.9	3.00 ± 0.016 2.62–3.33 5.3	1.7
Width of 3 rd tergite $M \pm m$ (mm) <i>Lim</i> (mm) <i>Cv</i> %	6.67 ± 0.030 6.00–7.40 4.5	6.60 ± 0.036 5.93–7.43 5.5	1.5
Cubital index $M \pm m$ (%) <i>Lim</i> (%) <i>Cv</i> %	74.1 ± 1.22 40–116 16.5	79.5 ± 1.64 49–135 20.6	2.6

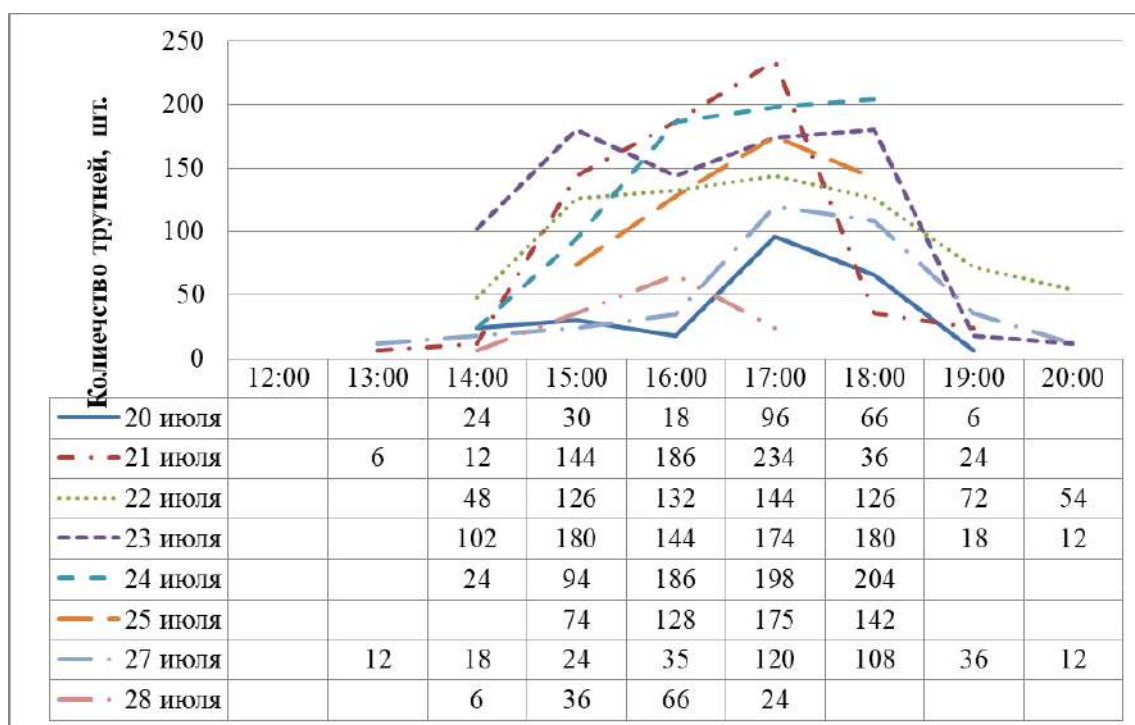


Рис 4. Интенсивность лета трутней

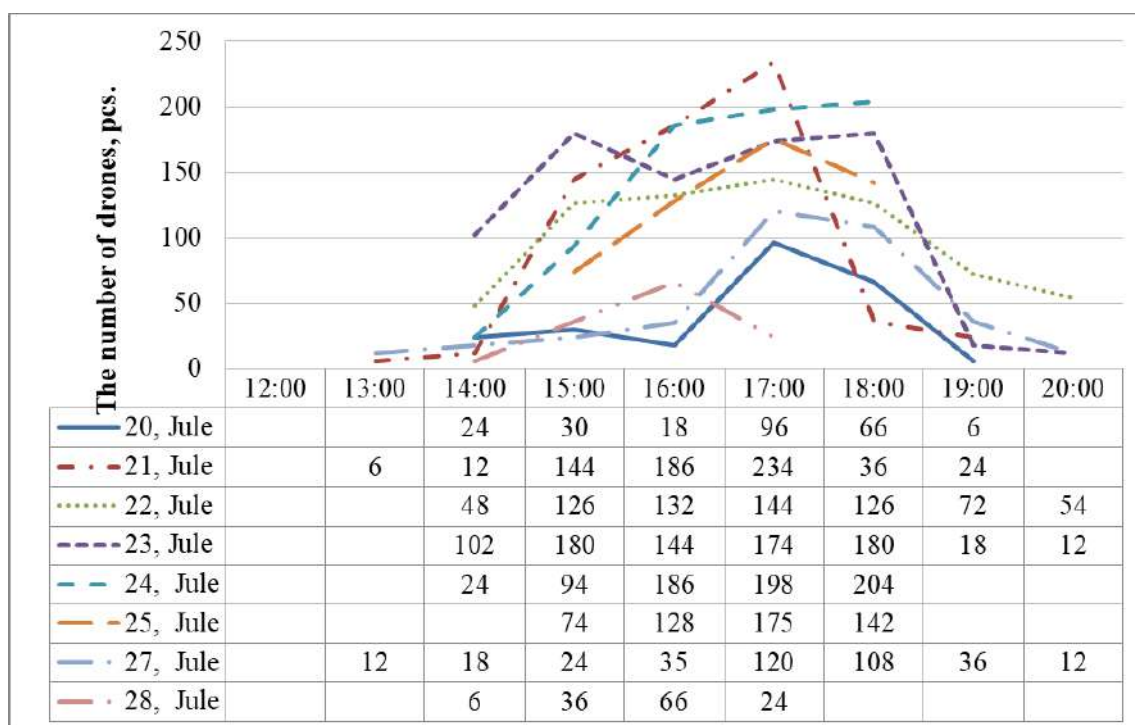


Fig. 4. The intensity of flight drones

ванием маток установлено достоверное отличие средних значений признаков в разные годы (таблица 3). Признаки характеризуются, так же как и у трутней, большой вариабельностью. Это может происходить в результате разного трофического обеспечения личинок и разными микроклиматическими условиями содержания развивающихся маток в семьях-воспитательницах или инкубаторе. Так же как у рабочих пчел и трутней, значительной изменчивостью ($C_v = 14,5...19,2\%$) и увеличением на 3,8 % к 2020 г., отличается кубитальный индекс. Большая масса получен-

ных маток и достоверно большие размеры третьего тергита в 2020 г. могут быть следствием более благоприятных для развития маток расположением на соте маточников по периферии, как это происходит при роении или «тихой смене» маток. Таким образом, матки 2020 г., полученные новым способом искусственной репродукции с использованием пластмассовых мисочек с клиновым держателем, по основным пороодоопределяющим признакам соответствуют ГОСТ Р 55487-2013.

Наблюдениями за летной активностью маток установлено, что на следующий день после подсадки маток в нуклеус ориентировочный облет сделала одна и вылетала в течение четырех дней, две остальные – только на второй день и летали три дня. После четырех дней наблюдений за матками вылеты больше не зафиксированы, и на 6–8-й день отмечено начало яйцекладки. За весь период наблюдений матки совершили по 5, 7 и 9 вылетов из улья. Ориентировочные короткие облеты составляли от 15 секунд до 7 минут 39 секунд. Средняя продолжительность их составила $182 \pm 32,2$ секунды. Две матки совершили по одному брачному полету на четвертый и третий день вылетов, длительностью 27 минут 16 секунд и 21 минут 32 секунд, соответственно, в период между 16:00 и 17:00 часами. Одна матка произвела два брачных полета на третий и четвертый день по 19 минут 57 секунд и 27 минут 27 секунд соответственно. При этом второй полет был ею совершен после 17:00. Таким образом, время вылетов маток совпадает с периодом летной активности трутней. Брачные полеты совершаются во время пика летной активности трутней – в период между 16:00 и 18:00. Половозрелые матки производили 1–2 брачных вылета на 3–4-й день полетов.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По комплексу морфо-этологических, породоопределяющих признаков исследованная группа пчел принадлежит к среднерусской породе. С помощью многолетнего мониторинга основных морфометрических признаков рабочих

пчел установлена их незначительная вариабельность в пределах значений, характерных для среднерусских пчел. Наибольшей изменчивости подвержены признаки трутней, средние значения которых также соответствуют среднерусской породе. Среди исследованных морфометрических признаков значительной вариабельностью отличался кубитальный индекс, который к концу периода наблюдений достоверно увеличился в сторону большего соответствия среднерусским пчелам у всех исследованных представителей трех стаз пчелиной семьи. Результаты исследований позволяют рекомендовать использовать племенной материал пасеки (пчелиные семьи, пчелопакеты, матки, трутни) для восстановления и сохранения среднерусских пчел Пермского края и соседних регионов.

При искусственной репродукции маток семьи-воспитательницы закладывали незначительное количество маточников – $16,0 \pm 0,92$ шт., что характерно для среднерусских пчел. Использованный новый способ искусственного вывода неплодных маток с применением пластмассовых мисочек с клиновым держателем позволил получить среднерусских маток, соответствующих ГОСТ Р 55487-2013, и может быть рекомендован к использованию.

Вылет трутней из ульев отмечен с 13 часов, достигает максимума к 17 часам и заканчивается в 20:00. Время вылетов пчелиных маток совпадает с периодом летной активности трутней. Брачные полеты матки совершают во время пика летной активности трутней – 16:00–18:00, производя 1–2 брачных вылета, и приступают к яйцекладке

Таблица 3
Морфометрические признаки маток ($n = 50$)

Признак	Год		<i>t</i>
	1999	2020	
Масса $M \pm m$ (мг) <i>Lim</i> (мг) <i>Cv</i> (%)	$198,9 \pm 2,47$ 182–223 8,8	$209,6 \pm 1,91$ 187–239 6,4	3,2
Длина 3-го тергита $M \pm m$ (мм) <i>Lim</i> (мм) <i>Cv</i> (%)	$3,23 \pm 0,018$ 2,95–3,45 4,0	$3,42 \pm 0,026$ 3,07–3,72 5,4	5,3
Ширина 3-го тергита $M \pm m$ (мм) <i>Lim</i> (мм) <i>Cv</i> (%)	$5,63 \pm 0,031$ 5,15–6,00 3,9	$5,71 \pm 0,026$ 5,32–6,16 3,2	1,9
Кубитальный индекс $M \pm m$ (%) <i>Lim</i> (%) <i>Cv</i> (%)	$45,8 \pm 1,12$ 33–72 14,5	$49,6 \pm 1,53$ 30–69 19,2	2,0

Table 3
The morphometric features of the queens ($n = 50$)

The feature	Year		<i>t</i>
	1999	2020	
Weight $M \pm m$ (mg) <i>Lim</i> (mg) <i>Cv</i> (%)	198.9 ± 2.47 182–223 8.8	209.6 ± 1.91 187–239 6.4	3.2
Length of 3 rd tergite $M \pm m$ (mm) <i>Lim</i> (mm) <i>Cv</i> (%)	3.23 ± 0.018 2.95–3.45 4.0	3.42 ± 0.026 3.07–3.72 5.4	5.3
Width of 3 rd tergite $M \pm m$ (mm) <i>Lim</i> (mm) <i>Cv</i> (%)	5.63 ± 0.031 5.15–6.00 3.9	5.71 ± 0.026 5.32–6.16 3.2	1.9
Cubital index $M \pm m$ (%) <i>Lim</i> (%) <i>Cv</i> (%)	45.8 ± 1.12 33–72 14.5	49.6 ± 1.53 30–69 19.2	2.0

на 6–8-й день пребывания в нуклеусах. Можно рекомендовать время пребывания неплодных маток, посаженных в 7–10-дневном возрасте в нуклеусы, ограничить 5–6 днями, тем самым увеличить пропускную способность нуклеусов и получать большее количество плодных пчелиных маток.

Библиографический список

1. Конусова О. Л., Островерхова Н. В., Кучер А. Н., Курбатский Д. В., Киреева Т. Н. Характеристика морфометрической изменчивости медоносных пчел *Apis mellifera* L., отличающихся вариантами локуса COI-COII мтДНК // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2016. № 1 (33). С. 62–81. DOI: 10.17223/19988591/33/5.
2. Бородачев А. В., Савушкина Л. Н., Бородачев В. А. Результаты и направления селекционной работы в пчеловодстве // Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству. Рыбное: НИИ пчеловодства, 2015. С. 41–47.
3. Бородачев А. В., Савушкина Л. Н., Бородачев В. А. Состояние генофонда среднерусских пчел // Роль генетического ресурса медоносных пчел среднерусской породы в продовольственной и экологической безопасности России: коллективная монография. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2016. С. 85–90.
4. Скворцов А. И., Саттаров В. Н., Семенов В. Г., Фадеев А. А. Морфометрические исследования рабочих особей медоносных пчел в Чувашской Республике // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 64. № 3. С. 81–86. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.64.3.81-86.
5. Методы проведения научно-исследовательских работ в пчеловодстве / А. В. Бородачев, А. Н. Бурмистров, А. И. Касьянов [и др.]. Рыбное: НИИ пчеловодства, 2006. 156 с.
6. Ильясов Р. А., Поскряков А. В., Петухов А. В., Николенко А. Г. Молекулярно-генетический анализ пяти сохранившихся резерватов темной лесной пчелы *Apis mellifera mellifera* Урала и Поволжья // Генетика. 2016. Т. 52. № 8. С. 931–942. DOI: 10.7868/S0016675816060059.
7. Березин А. С. Методы морфометрии в определении породной принадлежности медоносных пчел // Биомика. 2019. Т. 11 (2). С. 167–189. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-16.
8. Ильясов Р. А., Поскряков А. В., Петухов А. В., Николенко А. Г. Генетические особенности островков популяции темной лесной пчелы на Урале // Пчеловодство. 2015. № 2. С. 20–22.
9. Брандорф А. З., Ивойлова М. М. Методическое руководство по проведению селекционно-племенной оценки медоносных пчел среднерусской породы. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2015. 40 с.
10. Кривцов Н. И. Особенности среднерусских пчел // Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству. Рыбное: НИИ пчеловодства, 2015. С. 23–28.
11. Ильясов Р. А., Поскряков А. В., Николенко А. Г. Современные методы оценки таксономической принадлежности семей пчел // Экологическая генетика. 2017. Т. 15. № 4. С. 41–51. DOI: 10.17816/ecogen15441-51.
12. Еськов Е. К., Еськова М. Д. Полеты рабочих пчел, маток и трутней // Пчеловодство. 2017. № 6. С. 16–20.
13. Газизова Н. Р., Туктаров В. Р., Галиева Ч. Р. Комплексная морфологическая оценка трутней *Apis mellifera* на территории Южного Урала // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. № 2. С. 65–72. DOI: 10.31563/1684-7628-2019-50-2-65-72.
14. Еськов Е. К., Еськова М. Д. Изменчивость массы тела и морфометрических признаков трутней // Пчеловодство. 2018. № 3. С. 11–13.
15. Симанков М. К. Морфологическая характеристика медоносных пчел Пермского края // Пчеловодство. 2020. № 3. С. 14–16.
16. Симанков М. К. Экранная линейка в морфометрии // Пчеловодство. 2017. № 2. С. 44.
17. Сайт бесплатных программ Windows [Электронный ресурс]. URL: <https://fresoft.ru/windows/mysize> (дата обращения: 23.06.2020).
18. Карташев А. Б. Получение элитной матки среднерусской породы // Пчеловодство. 2013. № 7. С. 13–16.

Об авторах:

Михаил Кимович Симанков¹, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии,

ORCID 0000-0002-2593-4323, AuthorID 435506; +7 902 807-48-05, simmix@yandex.ru

Лидия Михайловна Колбина², доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник,

ORCID 0000-0002-6954-559X, AuthorID 182386; +7 912 765-30-08, lidakolbina@yandex.ru

¹ Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия

² Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск, Россия

The morpho-ethological characteristics of honey bees *Apis mellifera* L. of Perm region

M. K. Simankov¹✉, L. M. Kolbina²

¹ Perm State Agrarian and Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia

² Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

✉ E-mail: simmix@yandex.ru

Abstract. The European dark bees (*Apis mellifera mellifera* L.) divided into many populations occupying a wide range and living in different climatic zones. The research of morphological features of all castes of bee colony, and the description of their ethological features makes it possible to more fully characterize and distinguish a particular group of bees. **The aim** of the research was to describe the main morphological and some ethological features of queen artificial reproduction, drones, and worker of the European dark bees of the Perm region. **Methods.** The research was carried out on one of the breeding apiaries of the Perm region on colony of the European dark bees. Morphometric studies were performed according to the standard technique with the use of computer technology. **Scientific novelty.** For the first time, the morphological and ethological characteristics of honeybees of the Perm region are described most fully. Also experimental study was carried out on the use of a new technology for reproduction of virgin queen bees. **Research results and practical significance.** In the long-term dynamics, it is shown that the main breed-defining morphometric and ethological characteristics of the studied individuals of all castes of the colony of bee belong to the European dark breed. The results obtained can be used in the identification of bees in the Permian population and the implementation of the selection process in apiaries in the region. New method of artificial breeding of virgin queens allowed to obtain queens corresponding to the standard of the European dark bees and can be applied in practical breeding. Observations were made on the flight activity of drones and flight timing of virgin queen bees, the results of which can be used in practice in the process of obtaining mated queens.

Keywords: honeybee, the European dark bees, worker bees, virgin queens, drones, morphometry, reproduction of queens, flight activity.

For citation: Simankov M. K. Kolbina, L. M. Morfo-etologicheskaya kharakteristika medonosnykh pchel *Apis mellifera* L. Permskogo kraya [The morpho-ethological characteristics of honey bees *Apis mellifera* L. of Perm region] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 02 (205). Pp. 91–100. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-91-100. (In Russian.)

Paper submitted: 30.10.2020.

References

1. Konusova O. L., Ostroverkhova N. V., Kucher A. N., Kurbatskiy D.V., Kireeva T.N. Kharakteristika morfometricheskoy izmenchivosti medonosnykh pchel *Apis mellifera* L., otlichayushchikhsya variantami lokusa COI-COII mtDNA [Morphometric variability of honeybees *Apis mellifera* L., differing in variants of the COI-COII mtDNA locus] // Tomsk State University Journal of Biology. 2016. No. 1 (33). Pp. 62–81. DOI: 10.17223/19988591/33/5. (In Russian.)
2. Borodachev A. V. Savushkina L. N., Borodachev V. A. Rezul'taty i napravleniya selektsionnoy raboty v pchelovodstve [The results and directions of selection work in the beekeeping] // Sbornik nauchno-issledovatel'skikh rabot po pchelovodstvu. Rybnoye: NII pchelovodstva, 2015. Pp. 41–47. (In Russian.)
3. Borodachev A. V. Savushkina L. N., Borodachev V. A. Sostoyanie genofonda srednerusskikh pchel [The state of the gene pool of the European dark bees] // Rol' geneticheskogo resursa medonosnykh pchel srednerusskoy porody v prodovo'stvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti Rossii: kollektivnaya monografiya. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2016. Pp. 85–90. (In Russian.)
4. Skvortsov A. I., Sattarov V. N., Semenov V. G., Fadeev A. A. Morfometricheskie issledovaniya rabochikh osobey medonosnykh pchel v Chuvashskoy Respublike [The morphometric research of worker honey bees in the republic of Chuvashia] // Agricultural Science Euro-North-East. 2018. Vol. 64. No. 3. Pp. 81–86. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.64.3.81-86. (In Russian.)
5. Metody provedeniya nauchno-issledovatel'skikh rabot v pchelovodstve / A. V. Borodachev, A. N. Burmistrov, A. I. Kas'yanov, et al. Rybnoye: NII pchelovodstva, 2006. 156 p. (In Russian.)
6. Il'yasov R. A., Poskryakov A. V., Petukhov A. V., Nikolenko A. G. Molekulyarno-geneticheskiy analiz pyati sokhranivshikhsya rezervatov temnoy lesnoy pchely *Apis mellifera mellifera* Urala i Povolzh'ya [The molecular genetic analysis of five extant reserves of black honeybee *Apis mellifera mellifera* in the Urals and the Volga region] // Russian Journal of Genetics. 2016. Vol. 52. No. 8. Pp. 931–942. DOI: 10.7868/S0016675816060059. (In Russian.)
7. Berezin A. S. Metody morfometrii v opredelenii porodnoy prinadlezhnosti medonosnykh pchel [The methods of morphometry in determining the breed of honey bees] // Biomix. 2019. Vol. 11 (2). Pp. 167–189. DOI: 10.31301/2221-6197.bmix.2019-16. (In Russian.)

8. Il'yasov R. A., Poskryakov A. V., Petukhov A. V., Nikolenko A. G. Geneticheskie osobennosti ostrovkov populyatsii temnoy lesnoy pchely na Urale [Genetic features of the islands of the dark forest bee population in the Urals] // Pchelovodstvo. 2015. No. 2. Pp. 20–22. (In Russian.)
9. Brandorf A. Z., Ivoylova M. M. Metodicheskoe rukovodstvo po provedeniyu selektsionno-plemennoy otsenki medonosnykh pchel srednerusskoy porody [The methodological guide to the selection and breeding evaluation of honeybees of the European dark bees]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2015. 40 p. (In Russian.)
10. Krivtsov N. I. Osobennosti srednerusskikh pchel [Features of the European dark bees] // Sbornik nauchno-issledovatel'skikh rabot po pchelovodstvu. Rybnoye: NII pchelovodstva, 2015. Pp. 23–28. (In Russian.)
11. Ilyasov R. A., Poskryakov A. V., Nikolenko A. G.. Sovremennye metody otsenki taksonomicheskoy prinadlezhnosti semey pchel [Modern methods of assessing the taxonomic affiliation of honeybee colonies] // Ecological genetics. 2017. Vol. 15. No. 8. Pp. 41–51. DOI: 10.17816/ecogen15441-51.
12. Es'kov E. K., Es'kova M. D. Polety rabochih pchel, matok i trutney [Flights of working bees, queen bees and drones] // Pchelovodstvo. 2017. No. 6. Pp. 16–20. (In Russian.)
13. Gazizova N. R., Tuktarov V. R., Galieva Ch. R. Kompleksnaya morfologicheskaya otsenka trutney Apis mellifera na territorii Yuzhnogo Urala [The comprehensive morphological assessment of drones Apis mellifera on the territory of the Southern Urals] // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. No. 2. Pp. 65–72. DOI: 10.31563/1684-7628-2019-50-2-65-72. (In Russian.)
14. Es'kov E. K., Es'kova M. D. Izmenchivost' massy tela i morfometricheskikh priznakov trutney [The drone body mass and morphometric features variability] // Pchelovodstvo. 2018. No. 3. Pp. 11–13. (In Russian.)
15. Simankov M. K. Morfologicheskaya kharakteristika medonosnykh pchel Permskogo kraia [The morphological characteristics of honeybees of the Perm region] // Pchelovodstvo. 2020. No. 3. Pp. 14–16. (In Russian.)
16. Simankov M. K. Ekrannaya lineyka v morfometrii [The screen ruler in morphometry] // Pchelovodstvo. 2017. No. 2. Pp. 44. (In Russian.)
17. Sayt besplatnykh programm Windows [Free Windows software site] [e-resource]. URL: <https://fresoft.ru/windows/my-size> (date of reference: 23.06.2020). (In Russian.)
18. Kartashev A. B. Poluchenie elitnoy matki srednerusskoy porody [The getting of elite queen of the European dark bees] // Pchelovodstvo. 2013. No. 7. Pp. 13–16. (In Russian.)

Authors' information:

Mikhail K. Simankov¹, candidate of biological sciences, associate professor, associate professor of the department of ecology, ORCID 0000-0002-2593-4323, AuthorID 435506; +7 902 807-48-05, simmix@yandex.ru

Lidiya M. Kolbina², doctor of agricultural sciences, chief researcher, ORCID 0000-0002-6954-559X, AuthorID 182386; +7 912 765-30-08, lidakolbina@yandex.ru

¹ Perm State Agrarian and Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia

² Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

Учредитель и издатель:

Уральский государственный аграрный университет

Адрес учредителя, издателя и редакции:

620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42



Founder and publisher:

Ural State Agrarian University

Address of founder, publisher and editorial board:

620075, Russia, Ekaterinburg, 42 K. Liebknecht str.

Подписной индекс 16356 в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакция журнала:

А. В. Ручкин – кандидат социологических наук, шеф-редактор

О. А. Багрецова – ответственный редактор

А. В. Ерофеева – редактор

Н. А. 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 (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 Универсальная типография «Альфа Принт».

620049, г. Екатеринбург, пер. Автоматики, д. 2Ж.

Подписано в печать: 10.02.2021 г. Усл. печ. л. 11,8. Авт. л. 10,5.

Тираж: 2000 экз. Цена: в розницу свободная.

